

## **ВВЕДЕНИЕ**

Важное место в решении задач по экономии топливно-энергетических ресурсов занимает сокращение расхода теплоты на отопление зданий. Теплотери зданий существенно зависят от сопротивления теплопередачи наружных ограждающих конструкций. Для Республики Беларусь, которая должна расходовать значительную часть национального дохода на приобретение топливно-энергетических ресурсов, эта проблема весьма актуальна.

Введенный в действие технический кодекс установившейся практики Республики Беларусь ТКП 45-2.04-43–2006 (02250) «Строительная теплотехника» направлен на решение вышеуказанной проблемы и устанавливает в сравнении с ранее действующими нормами значительно более высокие требования к уровню теплозащиты здания.

Настоящие методические указания разработаны для облегчения пользования строительными нормами Республики Беларусь, содержат материалы по теплотехническому расчету и конструированию ограждающих конструкций жилых зданий, даны примеры расчетов.

Методические указания предназначены для студентов мелиоративно-строительного факультета специальности 1-74 04 01 Сельское строительство и обустройство территорий очной и заочной форм обучения при изучении дисциплины «Гражданские и сельскохозяйственные здания и сооружения» и «Теплоснабжение».

## **1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Ограждающие конструкции совместно с системой инженерного оборудования должны обеспечивать нормируемые параметры микроклимата помещений при минимальном энергопотреблении.

Наружные ограждающие конструкции с целью значительного повышения их теплозащитных качеств следует конструировать, как правило, многослойными, разделяя между составляющими их слоями прочностные и теплофизические функции. При этом отдельные слои конструкции могут частично совмещать вышеуказанные функции.

При расположении слоев в многослойной наружной ограждающей конструкции следует соблюдать следующее: материалы с более высокими коэффициентами теплопроводности и теплоусвоения и более низкими коэффициентами паропроницаемости целесообразно располагать в конструкции со стороны помещения, а материалы с более низкими коэффициентами теплопроводности и теплоусвоения и более высокими коэффициентами паропроницаемости – с наружной стороны, что обеспечивает более высокую температуру внутренней поверхности в местах теплопроводных включений и узлах сопряжения ограждающих конструкций. Это повышает теплоустойчивость ограждающих конструкций и помещений при колебаниях температуры наружного воздуха и теплоотдачи отопительных приборов в системах отопления периодического действия, а также улучшает влажностный режим материалов в конструкции. При этом наружный слой должен отвечать требованиям действующих нормативных документов по огнестойкости и морозостойкости.

При выполнении наружного слоя ограждающей конструкции из материала с более высоким коэффициентом теплопроводности и более низким коэффициентом паропроницаемости, чем у материала внутреннего слоя конструкции, целесообразно предусматривать устройство воздушной прослойки, вентилируемой наружным воздухом и располагаемой между наружным слоем конструкции и основными ее слоями.

Толщина вентилируемой воздушной прослойки в наружных стенах – 50–100 мм.

При конструировании наружных ограждающих конструкций с замкнутыми воздушными прослойками следует иметь в виду следующее:

- располагать воздушные прослойки рекомендуется ближе к наружной стороне ограждающей конструкции;

- замкнутые воздушные прослойки должны иметь высоту не более высоты этажа или не более 3,6 м;
- толщину замкнутой воздушной прослойки рекомендуется предусматривать в пределах 15–30 мм;
- в наружных стенах зданий с мокрым и влажным режимом утраивать замкнутые воздушные прослойки не следует.

Для увеличения сопротивления теплопередаче наружных стен жилых зданий следует использовать следующие системы утепления:

- 1) легкие штукатурные;
- 2) тяжелые штукатурные;
- 3) вентилируемые;
- 4) облицовочные (комплексные);
- 5) системы внутреннего утепления ниш радиаторов.

Системы утепления должны проектироваться с наружной (холодной) поверхности стены. Внутреннее утепление наружных стен допускается проектировать в отдельных зданиях, являющихся объектами историко-культурного наследия.

Тип утеплителя и других конструктивных элементов для систем утепления стен в зависимости от их горючести следует принимать в соответствии с противопожарными требованиями.

Наиболее распространенными системами утепления наружных стен являются легкие штукатурные и облицовочные (комплексные).

В легких штукатурных системах утепления теплоизоляционный слой приклеивается к подоснове, армированный и декоративно-защитный слои располагаются непосредственно на утеплителе. Несущими элементами конструкции являются теплоизоляционные плиты и анкерные устройства. Суммарная толщина армированного и декоративно-защитного слоев не должна превышать 15 мм.

В облицовочных системах утепления наружных стен теплоизоляционный слой крепится к несущему слою ограждающей конструкции. С наружной стороны теплоизоляционного материала предусматривается облицовка, как правило, из материала с более высоким коэффициентом теплопроводности и теплоусвоения и более низким коэффициентом паропроницаемости (кирпич керамический лицевой).

## 2. РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ

Расчетные параметры воздуха в помещениях для расчета наружных ограждающих конструкций жилых зданий следует принимать по табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Расчетные параметры внутреннего воздуха жилых зданий

Здания	Расчетная температура воздуха $t_v$ , °C	Относительная влажность воздуха $\phi_v$ , %
Жилые здания	18	55

Влажностный режим помещений и условия эксплуатации ограждающих конструкций зданий и сооружений в зимний период следует принимать по табл. 2 в зависимости от температуры и относительной влажности внутреннего воздуха [1].

Т а б л и ц а 2. Влажностный режим помещений и условия эксплуатации ограждающих конструкций

Относительная влажность внутреннего воздуха (%) при температуре $t_v$			Режим помещений	Условия эксплуатации ограждающих конструкций
до 12 °C включ.	св. 12 °C до 24 °C включ.	св. 24 °C		
До 60 включ.	До 50 включ.	До 40 включ.	Сухой	А
Св. 60 до 75	Св. 50 до 60	Св. 40 до 50	Нормальный	Б
Св. 75	Св. 60 до 75	Св. 50 до 60	Влажный	Б
	Св. 75	Св. 60	Мокрый	Б

Среднюю температуру наружного воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98 и 0,92 и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 для определенного района строительства следует принимать по табл. 3.

Среднюю температуру наиболее холодных трех суток следует определять как среднее арифметическое значений температуры наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [1].

Т а б л и ц а 3. Средняя температура наружного воздуха

Расчетный период	Средняя температура наружного воздуха по областям $t_n$ , °С					
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
$t_n^1 - 0,98$	-31	-37	-32	-31	-33	-34
$t_n^1 - 0,92$	-25	-31	-28	-26	-28	-29
$t_n^5 - 0,92$	-21	-25	-24	-22	-24	-25

Средние параметры наружного воздуха за отопительный период и его продолжительность следует принимать по табл. 4.

Продолжительность отопительного периода соответствует периоду года со среднесуточной температурой воздуха, равной и ниже 8 °С.

Т а б л и ц а 4. Параметры наружного воздуха за отопительный период

Область	Средняя температура наружного воздуха $t_n$ , °С	Средняя относительная влажность наружного воздуха $\varphi_n$ , %	Среднее парциальное давление водяного пара $e_n$ , Па	Продолжительность отопительного периода $z_{от}$ , сут
Брестская	0,2	84	521	187
Витебская	-2,0	82	424	207
Гомельская	-1,6	83	444	194
Гродненская	-0,5	85	499	194
Минская	-1,6	85	455	202
Могилевская	-1,9	84	439	204

Максимальную из средних скоростей ветра по румбам с повторяемостью 16 % и более по месяцам зимнего периода следует принимать по табл. 5.

Т а б л и ц а 5. Максимальная скорость ветра по месяцам зимнего периода

Месяц зимнего периода	Максимальная из средних скоростей ветра ( $v_{ср}$ , м/с) по румбам с повторяемостью 16 % и более по областям					
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Декабрь	3,4	5,1	4,1	5,4	4,1	4,8
Январь	3,7	5,4	4,1	5,2	4,0	4,9
Февраль	3,6	5,5	4,6	6,1	4,0	5,1

Расчетную зимнюю температуру наружного воздуха предварительно принимают по табл. 3, с учетом тепловой инерции ограждающей конструкции по табл. 6. При этом величину тепловой инерции рассчитывают по формуле (1), исходя из значения нормативного сопротивления теплопередаче соответствующей конструкции, табл. 7.

Таблица 6. Значение тепловой инерции

Тепловая инерция ограждающей конструкции $D$	Расчетная зимняя температура наружного воздуха $t_n$ , °C
До 1,5 включ.	Средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98
Св. 1,5 до 4,0 включ.	Средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92
Св. 4,0 до 7,0 включ.	Средняя температура наиболее холодных трех суток
Св. 7,0	Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92

$$D = R_1 \cdot s_1 + R_2 \cdot s_2 + \dots + R_n \cdot s_n, \quad (1)$$

где  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – термические сопротивления отдельных слоев конструкции, определяемые по формуле (6), ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ );

$s_1, s_2, \dots, s_n$  – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала слоев конструкции в условиях эксплуатации, (табл. 2), принимаемые по прил. А [1].

После расчета сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции уточняют ее тепловую инерцию и при необходимости уточняют значение расчетной зимней температуры наружного воздуха и сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции.

### 3. СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций ( $R_T$ ), за исключением заполнений проемов, следует принимать равным экономически целесообразному ( $R_{T,эк}$ ), определяемому по формуле (2), но не менее требуемого сопротивления теплопередаче ( $R_{T,тр}$ ), определяемого по формуле (3), и не менее нормативного сопротивления теплопередаче ( $R_{T,норм}$ ), приведенного в табл. 7.

Т а б л и ц а 7. Значение нормативного сопротивления теплопередаче

Ограждающие конструкции	Нормативное сопротивление теплопередаче $R_{т.норм.}$ ( $м^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт
Наружные стены зданий	3,2
Чердачные перекрытия	6
Перекрытия над подвалами и подпольями	2,5
Заполнение световых проемов	1

Экономически целесообразное сопротивление теплопередаче ( $R_{т.эк}$ ), ( $м^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт, следует определять на основе выбора толщины теплоизоляционного слоя по формуле

$$R_{т.эк} = 0,5 \cdot R_{т.тр} + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} \cdot C_{т.э} \cdot z_{0.т} \cdot (t_{в} - t_{н.от})}{C_{м} \cdot \lambda \cdot R_{т.тр}}, \quad (2)$$

где  $R_{т.тр}$  – требуемое сопротивление теплопередаче, ( $м^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт, определяемое по формуле

$$R_{т.тр} = \frac{n \cdot (t_{в} - t_{н})}{\alpha_{в} \cdot \Delta t_{в}}, \quad (3)$$

где  $t_{в}$  – расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая по табл. 1,  $^\circ C$ ;

$t_{н}$  – расчетная зимняя температура наружного воздуха, принимаемая по табл. 3 с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций  $D$  – по табл. 6,  $^\circ C$ ;

$n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, принимаемый по табл. 8;

Т а б л и ц а 8. Значение коэффициента  $n$

Ограждающие конструкции	Коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, $n$
Наружные стены	1
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами	0,6
Чердачные перекрытия с кровлей из штучных материалов	1

$\alpha_v$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 9, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);

Т а б л и ц а 9. Значение коэффициента  $\alpha_v$

Ограждающие конструкции	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности $\alpha_v$ , Вт/(м <sup>2</sup> · °С)
Стены, полы, гладкие потолки	8,7

$\Delta t_v$  – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 10, °С;

Т а б л и ц а 10. Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции

Здания и помещения	Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности $\Delta t_v$ , °С		
	наружных стен	чердачных перекрытий	перекрытий над подпольями
Здания жилые	6	4	2

$C_{т.э}$  – стоимость тепловой энергии, принимаемая по действующим ценам, руб/ГДж;

$z_{о.т}$  – продолжительность отопительного периода, принимаемая по табл. 4, сут;

$t_{н.от}$  – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, принимаемая по табл. 4, °С;

$C_m$  – стоимость материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции, принимаемая по действующим ценам, руб/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации (табл. 2), принимаемый по прил. А [1], Вт/(м · °С).

При наличии в теплоизоляционном слое ограждающей конструкции сквозных включений из материалов с другим, чем у материала этого слоя, коэффициентом теплопроводности для определения экономически целесообразного сопротивления теплопередаче принимают приведенный коэффициент теплопроводности слоя, определяемый по формуле (4):

$$\lambda_{\text{пр}} = \frac{\lambda_1 \cdot F_1 + \lambda_2 \cdot F_2}{F_1 + F_2}, \quad (4)$$

где  $\lambda_1$  и  $F_1$  – коэффициент теплопроводности и площадь участка, занимаемая теплоизоляционным материалом;

$\lambda_2$  и  $F_2$  – коэффициент теплопроводности и площадь участка, занимаемая материалом включений.

Сопротивление теплопередаче наружных дверей ( $R_T$ ) должно быть не менее 0,6 значения требуемого сопротивления теплопередаче наружных стен ( $R_{T, \text{тр}}$ ), определяемого по формуле (3) при расчетной зимней температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Сопротивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов ( $R_T$ ) должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче ( $R_{T, \text{норм}}$ ), приведенного в табл. 7.

В случае когда  $R_{T, \text{тр}} < R_{T, \text{норм}}$  и  $R_{T, \text{эк}} < R_{T, \text{норм}}$  сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции ( $R_T$ ) следует определять по формуле (5), ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт:

$$R_T = \frac{1}{\alpha_n} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (5)$$

где  $\alpha_n$  – то же, что в формуле (3);

$R_k$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции, определяемое по формуле (6), для однородной однослойной конструкции, ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт:

$$R_k = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (6)$$

где  $\delta$  – толщина слоя, м;

$\lambda$  – то же, что в формуле (2).

Для многослойной конструкции.

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (7)$$

где  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – термическое сопротивление отдельных слоев конструкции, определяемое по формуле (6) ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт, и замкнутых воздушных прослоек, принимаемое по прил. Б [1];

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, принимаемый по табл. 11, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

Т а б л и ц а 11. Значение коэффициента  $\alpha_n$

Ограждающие конструкции	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности $\alpha_n$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
Наружные стены	23
Перекрытия чердачные	12
Перекрытия над неотапливаемыми подпольями	6

Термическое сопротивление неоднородной ограждающей конструкции (например, каменной стены колодцевой кладки с теплоизоляционными вкладышами) определяют в приведенной ниже последовательности.

1. Плоскостями, параллельными направлению теплового потока, ограждающую конструкцию условно разрезают на участки, из которых одни могут быть однородными – из одного материала, а другие – неоднородными – из слоев различных материалов, и определяют термическое сопротивление ( $R_{ка}$ , (м<sup>2</sup>·°C)/Вт) по формуле (8):

$$R_{ка} = \frac{F_1 + F_1 + \dots + F_n}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \dots + \frac{F_n}{R_n}}, \quad (8)$$

где  $F_1, F_2, \dots, F_n$  – площади отдельных участков конструкции (или части конструкции), м<sup>2</sup>;

$R_1, R_2, \dots, R_n$  – термические сопротивления указанных отдельных участков конструкции определяются по формуле (6) для однородных участков и по формуле (7) – для неоднородных участков.

2. Плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, ограждающую конструкцию условно разрезают на слои, из которых одни слои могут быть однородными – из одного материала, а другие – неоднородными – из однослойных участков разных материалов.

Определяют термическое сопротивление однородных слоев по формуле (6), неоднородных слоев – по формуле (8) и термическое сопротивление ( $R_{к0}$ ) ограждающей конструкции – как сумму значений термического сопротивления отдельных однородных и неоднородных слоев – по формуле (9):

$$R_k = \frac{R_{ка} + 2 \cdot R_{кб}}{3}. \quad (9)$$

3. Если  $R_{ка}$  превышает  $R_{кб}$  более чем на 25 % или ограждающая конструкция не является плоской, то термическое сопротивление такой конструкции необходимо определять на основании расчета температурного поля [1].

По результатам расчета температурного поля при расчетных значениях температуры внутреннего ( $t_v$ ) и наружного ( $t_n$ ) воздуха определить среднюю температуру внутренней ( $t_{в.п}$ ) и наружной ( $t_{н.п}$ ) поверхностей ограждающей конструкции и вычислить значение теплового потока ( $q$ , Вт/м<sup>2</sup>), по формуле (10):

$$q = \alpha_v \cdot (t_v - t_{в.п}) = \alpha_n \cdot (t_{н.п} - t_n), \quad (10)$$

где  $\alpha_v$ ,  $t_v$  и  $t_n$  – то же, что в формуле (3);

$\alpha_n$  – то же, что в формуле (5).

4. Термическое сопротивление конструкции определяют по формуле (11):

$$R_k = \frac{t_{в.п} - t_{н.п}}{q}, \quad (11)$$

где  $t_{в.п}$ ,  $t_{н.п}$  и  $q$  – то же, что в формуле (10).

Термическое сопротивление теплопередаче при использовании легкой штукатурной системы утепления ( $R_T$ , (м<sup>2</sup> · °С)/Вт) с учетом влияния анкеров допускается определять по формуле (12):

$$R_T = r^n \cdot R_0, \quad (12)$$

где  $r$  – расчетный коэффициент термической однородности, принимаемый по табл. 12 (табл. 2 [2]);

Т а б л и ц а 12. Расчетный коэффициент термической однородности

Тип сердечника анкеров	Расчетный коэффициент термической однородности $r$
Металлический, Ø 6 мм	0,973
Металлический, Ø 5,5 мм	0,978
Металлический, Ø 5 мм	0,982
Пластмассовый или стеклопластиковый	1

$n$  – количество анкеров, устанавливаемых на  $1 \text{ м}^2$  системы. Рекомендуется устанавливать не менее 3 анкерных устройств на  $1 \text{ м}^2$  системы. На расстоянии  $1,0 \text{ м}$  от углов здания и от парапетов – не менее 5 анкерных устройств на  $1 \text{ м}^2$  системы [3];

$R_0$  – сопротивление теплопередаче утепленной ограждающей конструкции без учета теплопроводных включений,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ , определяется по вышеизложенной методике.

**Пример 1.** Требуется определить сопротивление теплопередаче и толщину теплоизоляционного слоя наружной стены жилого дома из мелкогазобетонных элементов для климатических условий Могилевской области.

Конструктивное решение стены приведено на рис. 1.

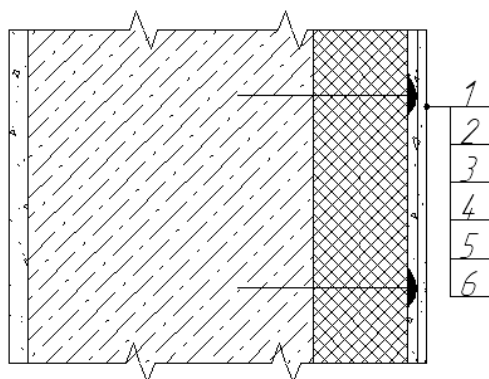


Рис. 1. Конструкция наружной стены жилого дома

### Исходные данные.

Конструктивное решение стены по слоям (от внутренней поверхности):

1. Цементно-песчаная штукатурка толщиной  $20 \text{ мм}$ .
2. Кладка из ячеистобетонных блоков плотностью  $700 \text{ кг/м}^3$  толщиной  $300 \text{ мм}$ .
3. Утеплитель – теплоизоляционные плиты из экструдированного пенополистирола URSA XPS.
4. Армированный слой из полимерминерального клея толщиной  $5 \text{ мм}$ .

5. Армированный слой из полимерминеральной штукатурки толщиной 5 мм.

6. Краска.

Согласно табл. 1 расчетная температура внутреннего воздуха,  $t_{в} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность  $\varphi_{в} = 55 \text{ \%}$ .

Влажностный режим – нормальный, условие эксплуатации ограждающих конструкций – Б (см. табл. 2).

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности ( $\lambda$ ) и теплоусвоения материалов  $S$  принимаем по прил. А [1] для условий эксплуатации ограждений (Б). Значения сводим в табл. 13.

Т а б л и ц а 13. Характеристики материала слоев наружной стены

№ слоя	Наименование материала слоя	Плотность $\rho$ , г/м <sup>3</sup>	Толщина слоя $\delta$ , м	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м · °С)	Коэффициент теплоусвоения $S$ , Вт/(м <sup>2</sup> · °С)
1	Цементно-песчаная штукатурка	1800	0,02	0,93	11,09
2	Блок из ячеистого бетона	700	0,3	0,24	3,67
3	Экструдированный пенополистирол URSA XPS	35	–	0,033	0,48
4	Полимерминеральный клей	1800	0,005	0,6	11,09
5	Полимерминеральная штукатурка	1800	0,005	0,5	11,09
6	Краска	–	0,001	–	–

Так как толщина краски очень мала, она считается за слой, но в расчетах по определению сопротивления теплопередаче не учитывается.

Нормативное сопротивление теплопередаче для наружных стен из мелкогазонаполненных элементов согласно табл. 7 равно 3,2 (м<sup>2</sup> · °С)/Вт.

#### Расчет.

Для определения тепловой инерции стены находим термическое сопротивление отдельных слоев конструкции по формуле (6):

$$R_1 = \frac{0,02}{0,93} = 0,022 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт};$$

$$R_2 = \frac{0,3}{0,24} = 1,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт};$$

$$R_4 = \frac{0,005}{0,6} = 0,008 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт};$$

$$R_5 = \frac{0,005}{0,5} = 0,01 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Термическое сопротивление теплоизоляционного слоя определим по формуле (5), приравняв  $R_k$  к  $R_{т.норм.}$

$$R_3 = 3,2 - (0,115 + 0,022 + 1,25 + 0,008 + 0,01 + 0,043) = 1,752 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт},$$

где

$$\frac{1}{\alpha_B} = \frac{1}{8,7} = 0,115 \left( \text{м}^2 \cdot \frac{\text{°C}}{\text{Вт}} \right), (\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)} \text{ по табл. 9});$$

$$\frac{1}{\alpha_H} = \frac{1}{23} = 0,043 \left( \text{м}^2 \cdot \frac{\text{°C}}{\text{Вт}} \right), (\alpha_H = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)} \text{ по табл. 10}).$$

Определяем тепловую инерцию стены по формуле (1).

$$D = 0,022 \cdot 11,09 + 1,25 \cdot 3,67 + 1,752 \cdot 0,48 + 0,008 \cdot 11,09 + 0,01 \times \\ \times 11,09 = 5,87.$$

Согласно табл. 6 для ограждающей конструкции с тепловой инерцией в пределах от 4 до 7 за расчетную зимнюю температуру наружного воздуха следует принимать среднюю температуру наиболее холодных трех суток, которая для Могилевской области определяется как среднее значение между средней температурой наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 и средней температурой наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (табл. 3).

$$t_H^3 = \frac{(-29) + (-25)}{2} = -27 \text{ °C}.$$

Определяем требуемое сопротивление теплопередаче стены по формуле (3):

$$R_{т.тр} = \frac{1 \cdot (18 + 27)}{8,7 \cdot 6} = 0,862 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт},$$

где  $n = 1$  (табл. 8);

$\alpha_B = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$  (табл. 9);  
 $\Delta t_B = 6 \text{ °С}$  (табл. 10).

Определяем экономически целесообразное сопротивление теплопередаче по формуле (2).

$$R_{\text{т.эк}} = 0,5 \cdot 0,862 + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} \cdot 23045,9 \cdot 204 \cdot (18 + 1,9)}{1360000 \cdot 0,033 \cdot 0,862} = 1,737 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт},$$

где  $C_{\text{тд}} = 96424 \text{ руб/Гкал} = 23045,9 \text{ руб/ГДж}$  (по состоянию на 1 марта 2015 года);

$Z_{\text{от}} = 204 \text{ сут}$  (табл. 4);

$t_{\text{н.от.}} = -1,9 \text{ °С}$  (табл. 4);

$C_{\text{м}} = 1360000 \text{ руб/м}^3$  (стоимость  $1 \text{ м}^3$  экструдированного пенополистирола URSA XPS на рынках Могилевской области по состоянию на 1 марта 2015 года);

$\lambda_3 = 0,033 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$ .

Так как  $R_{\text{т.тр}} = 0,862 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт} < R_{\text{т.норм}} = 3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$  и  $R_{\text{т.эк}} = 1,737 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт} < R_{\text{т.норм}} = 3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$ , сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции ( $R_{\text{т}}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$ ) определяем по формуле (5).

Общее сопротивление теплопередаче конструкции ( $R_{\text{т}}$ ) приравниваем ( $R_{\text{т.норм}}$ ):

$$\begin{aligned} R_{\text{т}} = R_{\text{т.норм}} &= \frac{1}{\alpha_B} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + \frac{1}{\alpha_H} = \\ &= \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{X}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_H}. \end{aligned}$$

Определяем толщину теплоизоляционного слоя из полученного равенства:

$$\begin{aligned} X &= \left( R_{\text{т.норм}} - \left( \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{1}{\alpha_H} \right) \right) \cdot \lambda_3 = \\ &= \left( 3,2 - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,3}{0,24} + \frac{0,008}{0,6} + \frac{0,01}{0,5} + \frac{1}{23} \right) \right) \cdot 0,033; \end{aligned}$$

$$X = 0,058 \text{ м}.$$

Полученное значение  $X$  округляем до большей ближайшей толщины теплоизоляционного материала, выпускаемого заводом-изготовителем.

В данном примере принимаем толщину теплоизоляционного слоя из экструдированного пенополистирола URSA XPS –  $\delta_3 = 0,06$  м.

Уточняем термические сопротивления теплоизоляционного слоя:

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,06}{0,033} = 1,82. (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Определим требуемое сопротивление конструкции:

$$R_T = 0,115 + 0,022 + 1,25 + 1,82 + 0,008 + 0,01 + 0,043;$$

$$R_T = 3,268 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

В данном примере для утепления наружной стены жилого дома используется легкая штукатурная система утепления. Исходя из этого  $R_T$  необходимо определять с учетом влияния анкеров по формуле (12):

$$R_T = 3,268 \cdot 1^3 = 3,268 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт},$$

где  $r = 1$  (табл. 11);

$n$  – количество анкеров, устанавливаемых на  $1 \text{ м}^2$  систем утепления;

$R_0$  – требуемое сопротивление теплопередаче конструкции без учета теплопроводных включений определено по вышеизложенной методике,  $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ .

Таким образом, в соответствии с пунктом 5.1 [1] сопротивление теплопередаче рассчитываемой конструкции наружной стены жилого дома должно быть не менее нормативного, равного  $3,2 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ :

$$R_T = 3,268 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} > R_{T,\text{норм}} = 3,2 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Условие выполнено.

Толщина теплоизоляционного слоя из экструдированного пенополистирола URSA XPS должна быть равна  $0,06$  м.

#### 4. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПАРПРОНИЦАНИЮ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Для обеспечения расчетных значений сопротивления теплопередаче при эксплуатации ограждающих конструкций последние должны находиться в соответствующих температурно-влажностных условиях, что определяется параметрами воздушной среды внутри и снаружи помещения и сопротивлением паропроницанию ограждающей конструкции.

Сопротивление паропроницанию слоя многослойной ограждающей конструкции ( $R_{п}$ , (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг) следует определять по формуле (13):

$$R_{п} = \frac{\delta}{\mu}, \quad (13)$$

где  $\delta$  – то же, что в формуле (6);

$\mu$  – расчетный коэффициент паропроницаемости материала слоя ограждающей конструкции, принимаемый по прил. А [1], мг/(м·ч·Па).

Сопротивление паропроницанию нескольких слоев следует определять как сумму сопротивлений паропроницанию отдельных слоев.

Плоскость возможной конденсации – сечение ограждающей конструкции, перпендикулярное направлению теплового и влажностного потоков, в котором при расчетных значениях температуры и относительной влажности внутреннего и наружного воздуха имеет место наибольшее превышение расчетного давления водяного пара над максимальным парциальным давлением, соответствующим температуре ограждения в данном сечении.

Для расчета требуемого сопротивления паропроницанию ограждающей конструкции принимают, что плоскость возможной конденсации однородной (однослойной) конструкции располагается на расстоянии 0,66 толщины конструкции от ее внутренней поверхности, а в многослойной конструкции совпадает с поверхностью теплоизоляционного слоя, ближайшей к наружной поверхности ограждающей конструкции.

Сопротивление паропроницанию воздушных прослоек в ограждающих конструкциях принимают равным нулю независимо от толщины и расположения этих прослоек.

Сопротивление паропроницанию ( $R_{п}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/ $\text{мг}$ ) части многослойной ограждающей конструкции с теплоизоляционным слоем (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) должно быть не менее требуемого сопротивления паропроницанию.

1. Требуемое сопротивление паропроницанию ( $R_{п.тр}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/ $\text{мг}$ ), определяется по формуле (14) (из условия недопущения накопления влаги в ограждающей конструкции за отопительный период):

$$R_{п.тр} = R_{п.н} \cdot \frac{e_{в} - E_{к}}{E_{к} - e_{н.от}}, \quad (14)$$

где  $R_{п.н}$  – сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности ограждающей конструкции ( $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$ ), определяемое по формуле (13);

$e_{в}$  – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха (Па) при расчетных температуре и влажности воздуха, определяемое по формуле (15) или по табл. 14:

$$e_{в} = 0,01 \varphi_{в} E_{в}, \quad (15)$$

где  $\varphi_{в}$  – расчетная относительная влажность внутреннего воздуха (%), принимаемая по табл. 1;

$E_{в}$  – максимальное парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха (Па) при расчетной температуре воздуха, принимаемое по прил. Е [1] или по табл. 14;

Т а б л и ц а 14. Расчетные параметры внутреннего воздуха жилых зданий

Здания, помещения	Расчетные значения			
	Температура внутреннего воздуха $t_{в}$ , °С	Относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_{в}$ , %	Упругость насыщенного водяного пара внутреннего воздуха $E_{в}$ , Па	Упругость водяного пара внутреннего воздуха $e_{в}$ , Па
Жилые здания	18	55	2064	1135

$E_{к}$  – максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации (Па), принимаемое по прил. Е [1]

при температуре в плоскости возможной конденсации ( $t_k$ , °C), определяемой по формуле (16).

$$t_k = t_b - \frac{t_b - t_{н.от}}{R_T} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_b} + \sum R_{Ti} \right), \quad (16)$$

где  $t_b$  и  $\alpha_b$  – то же, что в формуле (3);

$t_{н.от}$  – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, принимаемая по табл. 4, °C;

$R_T$  – то же, что в формулах (2), (3), (5), (12);

$R_{Ti}$  – термическое сопротивление слоев ограждающей конструкции от внутренней поверхности конструкции до плоскости возможной конденсации, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт, определяемое по формуле (6) и прил. Б [1];

$e_{н.от}$  – парциальное давление водяного пара наружного воздуха (Па) при средней температуре наружного воздуха за отопительный период ( $t_{н.от}$ ), определяемое по формуле (17) или по табл. 4:

$$e_{н.от} = 0,01 \varphi_{н.от} E_{н.от}, \quad (17)$$

где  $\varphi_{н.от}$  – средняя относительная влажность наружного воздуха за отопительный период (%), принимаемая по табл. 4;

$E_{н.от}$  – максимальное парциальное давление водяного пара наружного воздуха (Па) при средней температуре за отопительный период ( $t_{н.от}$ , °C), принимаемое по прил. Е [1].

2. Требуемое сопротивление паропроницанию ( $R_{т.тр}^{год}$ , (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг) (из условия недопущения накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации) определяется по формуле (18):

$$R_{т.тр}^{год} = R_{п.н} \cdot \frac{e_b - E}{E - e_n^{год}}, \quad (18)$$

где  $e_b$  – то же, что в формуле (14) (по табл. 12);

$e_n^{год}$  – средняя упругость водяного пара наружного воздуха (Па) за годовой период, определяемая по прил. Б1 [2] или по табл. 15;

Т а б л и ц а 15. Средние значения параметров внутренней среды жилых зданий за годовой период и период со среднемесячной температурой ниже 0 °С

Населенный пункт	За год		За период с температурами ниже 0 °С		
	Температура $t_n, ^\circ\text{C}$	Упругость водяного пара $e_n^{\text{год}}, \text{Па}$	Температура $t_{n,\text{ср}}^0, ^\circ\text{C}$	Упругость водяного пара $e_{n,\text{ср}}^0, \text{Па}$	Продолжительность $Z_0, \text{сут}$
1	2	3	4	5	6
<b>Витебская область</b>					
Езерище	4,7	628	-4,9	340	151
Верхнедвинск	5,1	707	-5,3	331	121
Полоцк	5,2	720	-5,3	329	121
Шарковщина	5,3	719	-5,1	340	121
Витебск	5,1	695	-4,6	350	151
Лынтупы	5,2	716	-4,9	350	121
Докшицы	5,0	694	-5,4	323	121
Лепель	5,3	709	-5,2	333	121
Сенно	5,2	703	-4,4	356	151
Орша	5,1	701	-4,7	352	151
<b>Минская область</b>					
Вилейка	5,7	724	-4,5	354	121
Борисов	5,6	718	-4,9	344	121
Воложин	5,5	720	-4,7	353	121
Минск	5,5	712	-4,9	344	121
Березино	5,7	724	-4,8	344	121
Столбцы	5,8	731	-4,4	360	121
Марьина Горка	5,7	736	-4,7	354	121
Слуцк	6,0	742	-4,2	364	121
<b>Гродненская область</b>					
Ошмяны	5,4	721	-4,6	356	121
Лида	6,1	755	-3,9	374	121
Гродно	6,5	777	-3,2	402	121
Новогрудок	5,5	730	-4,5	365	121
Волковыск	6,7	766	-3,1	397	121
<b>Могилевская область</b>					
Горки	4,8	694	-5,1	345	151
Могилев	5,4	712	-4,4	363	151
Кричев	5,7	725	-4,9	339	121
Славгород	5,5	714	-4,4	360	151
Костюковичи	5,3	707	-4,7	348	151
Бобруйск	5,9	735	-4,7	350	121
<b>Брестская область</b>					
Барановичи	6,1	751	-4,1	371	121
Ганцевичи	6,3	764	-3,7	377	121
Ивацевичи	6,6	771	-3,4	389	121
Пружаны	6,7	791	-3,1	404	121

1	2	3	4	5	6
Высокое	7,0	793	-2,8	413	121
Полесский	6,5	773	-3,5	382	121
<b>Брестская область</b>					
Брест	7,3	800	-3,3	397	90
Пинск	6,9	786	-3,2	395	121
<b>Гомельская область</b>					
Жлобин	6,1	738	-4,8	346	121
Чечерск	5,8	728	-5,1	335	121
Октябрь	6,1	744	-4,4	357	121
Гомель	6,2	730	-4,7	343	121
Василевичи	6,4	747	-4,2	357	121
Житковичи	6,0	728	-3,7	368	121
Мозырь	6,6	749	-4,0	366	121
Лельчицы	6,7	759	-3,6	374	121
Брагин	6,3	759	-4,3	360	121

$E$  – средняя упругость насыщенного водяного пара (Па) за годовой период эксплуатации в плоскости возможной конденсации определяется по формуле (19):

$$E = \frac{E_1 \cdot z_1 + E_2 \cdot z_2 + E_3 \cdot z_3}{12}, \quad (19)$$

где  $E_1, E_2, E_3$  – упругости насыщенного водяного пара (Па), принимаемые в зависимости от температуры в плоскости возможной конденсации ( $t_k^1, t_k^2, t_k^3$ ) по прил. Б3, Б4 [2] или по табл. 16, 17;

Таблица 16. Температура от 0 до +30 °С при давлении 0,1МПа

$t, ^\circ\text{C}$	$E, \text{Па}$										$t, ^\circ\text{C}$
	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	0
1	657	661	667	671	676	681	687	691	696	701	1
2	705	711	716	721	727	732	737	743	748	753	2
3	759	764	769	775	780	785	791	796	803	808	3
4	813	819	825	831	836	843	848	855	860	867	4
5	872	879	885	891	897	904	909	916	923	929	5
6	935	941	948	956	961	968	975	981	988	995	6
7	1001	1009	1016	1023	1029	1037	1044	1051	1059	1065	7
8	1072	1080	1088	1095	1103	1109	1117	1125	1132	1140	8
9	1148	1156	1164	1172	1180	1188	1196	1204	1212	1220	9

t, °C	E, Па										t, °C
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
10	1228	1236	1244	1253	1261	1269	1279	1287	1285	1304	10
11	1312	1321	1331	1339	1348	1355	1365	1375	1384	1393	11
12	1403	1412	1421	1431	1440	1449	1459	1468	1479	1488	12
13	1497	1508	1517	1527	1537	1547	1557	1568	1577	1588	13
14	1599	1609	1619	1629	1640	1651	1661	1672	1683	1695	14
15	1705	1716	1727	1739	1749	1761	1772	1784	1795	1807	15
16	1817	1829	1841	1853	1865	1877	1889	1901	1913	1925	16
17	1937	1949	1962	1974	1986	2000	2012	2025	2037	2050	17
18	2064	2077	2089	2102	2115	2129	2142	2156	2169	2182	18
19	2197	2210	2225	2238	2252	2266	2281	2294	2309	2324	19
20	2338	2352	2366	2381	2396	2412	2426	2441	2456	2471	20
21	2488	2502	2517	2538	2542	2564	2580	2596	2612	2628	21
22	2644	2660	2667	2691	2709	2725	2742	2758	2776	2792	22
23	2809	2826	2842	2860	2877	2894	2913	2930	2948	2965	23
24	2984	3001	3020	3038	3056	3074	3093	3112	3130	3149	24
25	3168	3186	3205	3224	3244	3262	3282	3301	3321	3341	25
26	3363	3381	3401	3421	3441	3461	3481	3502	3523	3544	26
27	3567	3586	3608	3628	3649	3672	3692	3714	3736	3758	27
28	3782	3801	3824	3846	3869	3890	3913	3937	3960	3982	28
29	4005	4029	4052	4076	4100	4122	4146	4170	4194	4218	29
30	4246	4268	4292	4317	4341	4366	4390	4416	4441	4466	30

Таблица 17. Температура от 0 до -30 °C при давлении 0,1МПа

t, °C	E, Па										t, °C
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
0	611	606	601	597	592	587	581	577	573	545	0
-1	563	558	553	549	544	539	535	531	527	263	-1
-2	517	513	509	505	500	496	492	488	484	480	-2
-3	476	472	468	464	460	456	452	449	445	441	-3
-4	437	433	429	426	423	419	415	411	408	405	-4
-5	401	398	395	391	388	385	381	378	375	371	-5
-6	368	365	363	359	356	353	351	347	344	341	-6
-7	337	335	332	329	327	324	321	318	315	312	-7
-8	309	307	304	301	299	296	293	291	289	287	-8
-9	284	281	279	276	273	271	268	266	264	262	-9
-10	260	257	255	253	251	248	245	243	241	239	-10
-11	237	235	233	231	229	227	225	223	221	219	-11
-12	217	215	213	211	209	208	207	205	203	201	-12
-13	199	197	195	193	191	189	188	186	184	183	-13
-14	181	180	179	177	175	173	172	170	168	167	-14
-15	165	164	163	161	159	157	156	155	153	152	-15
-16	151	149	148	147	145	144	143	141	140	139	-16
-17	137	136	135	133	132	131	129	129	128	127	-17

t, °C	E, Па										t, °C
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
-18	125	124	123	121	120	119	117	117	116	115	-18
-19	113	112	111	110	109	108	107	106	105	104	-19
-20	103	102	101	100	99	99	98	97	95	94	-20
-21	93,3	92,5	91,7	90,9	90,1	89,3	88,5	87,7	86,9	86,1	-21
-22	85,3	84,5	83,7	82,9	82,1	81,3	80,5	79,7	78,9	78,1	-22
-23	77,3	76,5	75,7	74,9	74,1	73,3	72,5	71,7	70,9	70,1	-23
-24	69,3	68,5	67,7	66,9	66,1	65,3	64,8	64,3	63,7	63,2	-24
-25	62,7	62,1	61,6	61,1	60,5	60,0	59,2	58,4	57,6	56,8	-25
-26	56,0	55,5	54,9	54,4	53,9	53,3	52,8	52,3	51,7	51,2	-26
-27	50,7	50,1	49,6	49,1	48,5	48,0	47,5	46,9	46,4	45,9	-27
-28	45,3	44,9	44,5	44,1	43,7	43,3	42,9	42,5	42,1	41,7	-28
-29	41,3	40,9	40,5	40,1	39,7	39,3	38,9	38,5	38,1	37,7	-29
-30	37,3	37,0	36,6	36,2	35,8	35,5	35,1	34,7	34,3	34,0	-30

$z_1, z_2, z_3$  – продолжительность (мес) зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая по прил. Б2 [2] или по табл. 18;

$t_k^1, t_k^2, t_k^3$  – температуры в плоскости возможной конденсации (зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов), определяемые по формуле (16), в которую вместо средней температуры наружного воздуха за отопительный период ( $t_{н.от.}$ , °C) необходимо подставить температуру соответственно зимнего ( $t_{н.зим.}$ ), весенне-осеннего ( $t_{н.в-о.}$ ) и летнего ( $t_{н.лет.}$ ) периодов, определяемых по прил. Б2 [2] или по табл. 18.;

Таблица 18. Значение продолжительности и температуры расчетных периодов

Населенный пункт	Среднее значение за период					
	зимний		весенне-осенний		летний	
	Продолжительность $Z_1$ , мес	Температура $t_{н.зим.}$	Продолжительность $Z_2$ , мес	Температура $t_{н.в-о.}$	Продолжительность $Z_3$ , мес	Температура $t_{н.лет.}$
1	2	3	4	5	6	7
<b>Витебская область</b>						
Езерище	3	-6,9	3	0,3	6	12,8
Верхнедвинск	2	-7,1	4	-0,5	6	13,0
Полоцк	2	-7,1	4	-0,5	6	13,1
Шарковщина	2	-6,8	4	-0,4	6	13,2

Продолжение табл. 18

1	2	3	4	5	6	7
Витебск	3	-6,7	2	-1,5	7	12,0
Лынтупы	2	-6,5	4	-0,4	6	12,7
Докшицы	2	-7,1	4	-0,7	6	12,7
Лепель	2	-7,0	3	-2,3	7	12,1
Сенно	2	-7,3	3	-2,5	7	12,1
Орша	3	-6,8	3	0,6	6	13,2
<b>Минская область</b>						
Вилейка	2	-6,3	3	-1,7	7	12,2
Борисов	2	-6,6	3	-2,0	7	12,4
Воложин	2	-6,4	3	-1,8	7	12,1
Минск	2	-6,6	3	-2,0	7	12,2
Березино	2	-6,6	3	-2,0	7	12,5
Столбцы	2	-6,0	3	-1,6	7	12,4
Марьина Горка	2	-6,5	3	-1,8	7	12,3
Слуцк	2	-6,0	3	-1,4	7	12,6
<b>Гродненская область</b>						
Ошмяны	2	-6,3	3	-1,8	7	11,8
Лиды	2	-5,5	3	-1,1	7	12,4
Гродно	1	-5,1	4	-1,5	7	12,8
Новогрудок	2	-6,1	3	-1,8	7	12,0
Волковыск	0	-	5	-2,1	7	12,9
<b>Могилевская область</b>						
Горки	3	-7,2	3	0,3	6	13,0
Могилев	2	-7,3	3	-2,4	7	12,3
Кричев	2	-6,7	3	-2,0	7	12,5
Славгород	2	-7,3	3	-2,4	7	12,6
Костюковичи	2	-7,8	3	-2,7	7	12,5
Бобруйск	2	-6,4	3	-1,7	7	12,7
<b>Брестская область</b>						
Барановичи	2	-5,8	3	-1,3	7	12,7
Ганцевичи	1	-5,8	3	-0,9	7	12,7
Ивацевичи	1	-5,5	4	-1,7	7	13,0
Пружаны	1	-5,2	4	-1,4	7	13,0
Высокое	0	-	5	-1,8	7	13,2
Полесский	1	-5,6	4	-1,8	7	12,9
Брест	0	-	5	-1,3	7	13,5
Пинск	1	-5,3	4	-1,4	7	13,3
<b>Гомельская область</b>						
Жлобин	2	-6,6	3	-1,7	7	13,0
Чечерск	2	-7,0	3	-2,0	7	12,9
Октябрь	2	-6,2	3	-1,4	7	12,9
Гомель	2	-6,6	3	-1,6	7	13,2
Василевичи	2	-6,1	3	-1,2	7	13,2
Житковичи	1	-6,0	3	-0,8	7	13,3

1	2	3	4	5	6	7
Мозырь	2	-5,8	3	-1,0	7	13,3
Лельчицы	1	-5,9	4	-1,7	7	13,3
Брагин	2	-6,3	3	-1,3	7	13,2

$R_{п.н}$ , (м<sup>2</sup> · ч · Па)/мг – то же, что в формуле (14).

3. Требуемое сопротивление паропроницанию ( $R_{т.тр}^0$ , (м<sup>2</sup>·ч·Па)/мг) (из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции за период со среднемесячной температурой наружного воздуха не выше 0 °С) определяется по формуле (20).

$$R_{т.тр}^0 = \frac{0,0024 \cdot z_0 \cdot (e_b - E_0)}{\rho_{вт} \cdot \delta_{вт} \cdot \Delta w + \eta}, \quad (20)$$

где  $z_0$  – продолжительность периода влагонакопления (сут), принимаемая равной периоду со среднемесячной температурой воздуха не выше 0 °С по табл. 15;

$e_b$  – упругость водяного пара внутреннего воздуха (Па) при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, определяемая по табл. 14;

$E_0$  – упругость насыщенного водяного пара (Па) в плоскости возможной конденсации, принимаемая по табл. 16, 17 в зависимости от температуры воздуха в плоскости возможной конденсации ( $t_k^0$ , °С), определяемой по формуле (16), в которую вместо средней температуры наружного воздуха за отопительный период ( $t_{н.от}$ , °С) необходимо подставить температуру ( $t_{н.сп}^0$ , °С) наружного воздуха, принимаемую равной средней температуре воздуха периода со среднемесячной температурой воздуха не выше 0 °С по табл. 15;

$\rho_{вт}$  – расчетная плотность теплоизоляционного слоя, кг/м<sup>3</sup>;

$\delta_{вт}$  – толщина теплоизоляционного слоя, м;

$\Delta w$  – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги, принимаемое равным 1,5 %;

$\eta$  – коэффициент, определяемый по формуле (21):

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (E_0 - e_{н.сп}^0) \cdot z_0}{R_{п.н}}, \quad (21)$$

где  $R_{п.н}$  – то же, что в формуле (14);

$E_0$  – то же, что в формуле (20);

$z_0$  – то же, что в формуле (20);

$e_{н.ср}^0$  – средняя упругость водяного пара наружного воздуха (Па) периода со среднемесячной температурой не выше  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , определяемая по табл. 15.

В случае, если  $e_{н.ср}^0$  больше  $E_0$ , следует принимать  $\eta = 0$ .

Если сопротивление паропрооницанию ниже требуемого, рекомендуется увеличить толщину утеплителя.

Сопротивление паропрооницанию чердачного перекрытия холодного чердака или части конструкции вентилируемого покрытия, расположенного между внутренней поверхностью покрытия и воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, в зданиях со скатами кровли шириной до 24 м должно быть не менее требуемого сопротивления паропрооницанию ( $R_{п.тр}$ ,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$ ), которое определяется по формуле (22)

$$R_{п.тр} = 0,0012 \cdot (e_v - e_{н.от}), \quad (22)$$

где  $e_v$  и  $e_{н.от}$  – то же, что и в формуле (14).

Не требуется определять сопротивление паропрооницанию следующих наружных ограждающих конструкций помещений с сухим и нормальным режимом:

- однородных (однослойных);
- двухслойных при выполнении следующего условия:

$$\frac{\mu_v}{\lambda_v} \leq \frac{\mu_n}{\lambda_n}, \quad (23)$$

где  $\mu_v$  и  $\lambda_v$  – соответственно коэффициенты паропрооницаемости и теплопроводности материала внутреннего слоя ограждающей конструкции в условиях эксплуатации;

$\mu_n$  и  $\lambda_n$  – то же материала наружного слоя ограждающей конструкции.

Сопротивления паропрооницанию некоторых листовых материалов и тонких слоев пароизоляции можно принять по прил. Ж [1].

**Пример 2.** Определить требуемое сопротивление паропроницанию стены жилого дома с легкой штукатурной системой утепления для климатических условий Могилевской области.

Конструкция стены соответствует рис. 1.

**Исходные данные.**

Конструктивное решение стены по слоям (от внутренней поверхности):

1. Цементно-песчаная штукатурка,  $\mu_1 = 0,09$  мг/(м·ч·Па),  $\delta_1 = 0,02$  м.
2. Кладка из ячеистобетонных блоков плотностью  $700$  кг/м<sup>3</sup>,  $\delta_2 = 0,3$  м;  $\mu_2 = 0,16$  мг/(м·ч·Па).
3. Утеплитель – теплоизоляционные плиты из экструдированного пенополистирола URSA XPS,  $\delta_{\text{ут}} = 0,06$  м;  $\gamma_{\text{ут}} = 35$  кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta_w = 1,5$  %;  $\mu_3 = 0,004$  мг/(м·ч·Па).
4. Армированный слой из полимерминерального клея,  $\delta_4 = 0,005$  м;  $\mu_4 = 0,02$  мг/(м·ч·Па).
5. Армированный слой из полимерминеральной штукатурки,  $\delta_5 = 0,005$  м;  $\mu_5 = 0,02$  мг/(м·ч·Па).
6. Краска,  $\delta_6 = 0,001$  м;  $\mu_6 = 0,005$  мг/(м·ч·Па).

Расчетный коэффициент паропроницаемости ( $\mu$ , мг/(м·ч·Па)) определяем по прил. А, Ж [1].

**Расчет.** Плоскость возможной конденсации многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя.

Сопротивление теплопередаче

$$R_T = 3,268 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт (из предыдущего примера).$$

Термическое сопротивление слоев ограждающей конструкции от внутренней поверхности конструкции до плоскости возможной конденсации

$$R_{\text{тн}} = \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,3}{0,24} + \frac{0,06}{0,033} = 3,09 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Сопротивление паропрооницанию слоев, расположенных между внутренней поверхностью конструкции и плоскостью возможной конденсации,

$$R_{п} = \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,3}{0,16} + \frac{0,06}{0,004} = 17,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг.}$$

Сопротивление паропрооницанию слоев конструкции, расположенных между плоскостью возможной конденсации и наружной поверхностью конструкции,

$$R_{п.н} = \frac{0,005}{0,02} + \frac{0,005}{0,02} + \frac{0,001}{0,005} = 0,7 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг.}$$

По табл. 14:  $t_{в} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\phi_{в} = 55 \%$ ,  $E_{в} = 2064 \text{ Па}$ ,  $e_{в} = 1135 \text{ Па}$ .

*Проверка 1.* Из условия недопущения накопления влаги в ограждающей конструкции за отопительный период.

По табл. 4:  $t_{н.от} = -1,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $e_{н.от} = 439 \text{ Па}$ .

Температура в плоскости возможной конденсации (средняя за отапливаемый период) определяется по формуле (16):

$$t_{к} = 18 - \frac{18 + 1,9}{3,268} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 3,09 \right) = -1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации принимаем по прил. Е [1]:

$$E_{к} = 540 \text{ Па.}$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию вычисляем по формуле (14):

$$R_{п.тp} = 0,7 \cdot \frac{1135 - 540}{540 - 439} = 4,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг.}$$

Так как

$$R_{п.тp} = 4,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг} < R_{п} = 17,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг,}$$

условие выполнено.

*Проверка 2.* Из условия недопущения накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации.

По табл. 15:  $e_H^{\text{год}} = 712 \text{ Па}$ .

По табл. 18:  $t_H^{\text{зим}} = -7,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_H^{\text{в-о}} = -2,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_H^{\text{лет}} = 12,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  
 $z_1 = 2 \text{ мес}$ ,  $z_2 = 3 \text{ мес}$ ,  $z_3 = 7 \text{ мес}$ .

Температуру в плоскости возможной конденсации для зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов определяем по формуле (16):

$$t_k^1 = 18 - \frac{18 + 7,3}{3,268} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 3,09 \right) = -6,8 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$t_k^2 = 18 - \frac{18 + 2,4}{3,268} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 3,09 \right) = -2 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$t_k^3 = 18 - \frac{18 - 12,3}{3,268} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 3,09 \right) = 12,4 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Соответствующие упругости насыщенного водяного пара в плоскости возможной конденсации определяем по табл. 16 и 17:

$$E_1 = 344 \text{ Па}, E_2 = 517 \text{ Па}, E_3 = 1440 \text{ Па}.$$

Среднее значение упругости водяного пара в плоскости возможной конденсации вычисляем по формуле (19):

$$E = \frac{344 \cdot 2 + 517 \cdot 3 + 1440 \cdot 7}{12} = 1026,6 \text{ Па}.$$

Требуемое сопротивление паропроонианию из условия недопущения накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации определяем по формуле (18):

$$R_{\text{т.гр}}^{\text{год}} = 0,7 \cdot \frac{1135 - 1026,6}{1026,6 - 712} = 0,24 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг}.$$

Так как

$$R_{т.гр}^{год} = 0,24 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг} < R_{п} = 17,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг},$$

условие выполнено.

*Проверка 3.* Из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции за период со среднемесячной температурой наружного воздуха не выше 0 °С.

По табл. 15:

$$t_{н.ср}^0 = -4,4 \text{ °С}, e_{н.ср}^0 = 363 \text{ Па}, z_0 = 151 \text{ сут.}$$

Среднюю температуру в плоскости возможной конденсации при средней температуре воздуха периода со среднемесячной температурой воздуха не выше 0 °С определяем по формуле (16):

$$t_{к}^0 = 18 - \frac{18 + 4,4}{3,268} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + 3,09 \right) = -4 \text{ °С.}$$

По табл. 17 упругость насыщенного водяного пара в плоскости возможной конденсации  $E_0 = 437 \text{ Па}$ .

Коэффициент  $\eta$  определяем по формуле (21):

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (437 - 363) \cdot 151}{0,7} = 38,3.$$

Требуемое сопротивление паропроницанию из условия ограничения накопления влаги в ограждающей конструкции за период со среднесуточной температурой наружного воздуха не выше 0 °С определяем по формуле (20):

$$R_{т.гр}^0 = \frac{0,0024 \cdot 151 \cdot (1135 - 437)}{35 \cdot 0,06 \cdot 1,5 + 38,3} = 6,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг}.$$

Так как

$$R_{т.гр}^0 = 6,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг} < R_{п} = 17,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/мг},$$

условие выполнено.

Таким образом, в данной конструкции стены требуемое сопротивление паропроницанию обеспечено.

## 5. СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЮ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций зданий и сооружений ( $R_{в}$ ) за исключением заполнений световых проемов должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию ( $R_{в.тр}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/кг), определяемого по формуле (24).

$$R_{в.тр} = \frac{\Delta_p}{G_{норм}}, \quad (24)$$

где  $\Delta_p$  – расчетная разность давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций (Па), определяемая по формуле (25).

$$\Delta_p = H \cdot (\gamma_n - \gamma_v) + 0,5 \cdot \rho_n \cdot v_{ср}^2 \cdot (c_n - c_{п}) \cdot k_1, \quad (25)$$

где  $H$  – высота здания от поверхности земли до верха карниза, м;

$\gamma_n, \gamma_v$  – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха ( $\text{Н}/\text{м}^3$ ), определяемый по формуле (26) [1]

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}, \quad (26)$$

где  $t$  – температура воздуха, °С: внутреннего – согласно табл. 1, наружного – равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по табл. 3;

$v_{ср}$  – максимальная из средних скоростей ветра по румбам в январе (м/с), принимаемая по табл. 5. Для типовых проектов  $v_{ср}$  следует принимать равной 5 м/с;

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ), определяемая по формуле (27):

$$\rho_n = \frac{\gamma_n}{9,8}, \quad (27)$$

где  $c_n, c_{п}$  – аэродинамические коэффициенты соответственно наветренной и подветренной поверхностей ограждающих кон-

струкций здания, принимаемые по прил. 4 [4]. Для вертикальных поверхностей:  $c_{н} = +0,8$ ,  $c_{п} = -0,6$ ;

$k_i$  – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, принимаемый по табл. 19. Коэффициент ( $k$ ), учитывающий изменение ветрового давления по высоте ( $z$ ), определяется в зависимости от типа местности.

Принимаются следующие типы местности:

А – открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра;

В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м;

С – городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м;

Т а б л и ц а 19. Коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания

Высота $z$ , м	Коэффициент $k$ для типов местности		
	А	В	С
$\leq 5$	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
$\geq 60$	1,7	1,3	1,0

$G_{норм}$  – нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций ( $кг/(м^2 \cdot ч)$ ), принимаемая по табл. 20.

Т а б л и ц а 20. Нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции	Нормативная воздухопроницаемость $G_{норм}$ , $кг/(м^2 \cdot ч)$
1. Наружные стены	0,5
2. Входные двери в квартиры	1,5
3. Окна и балконные двери жилых зданий	10

Сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей жилых зданий должно быть равно требуемому сопротивлению воздухопроницанию ( $R_{в.тр}$ ), определяемому по формуле (28):

$$R_{в.тр} = \frac{0,216 \cdot \Delta_p^{2/3}}{G_{норм}}, \quad (28)$$

где  $G_{\text{норм}}$  – то же, что в формуле (24);

$\Delta p$  – то же, что в формуле (24), определяемое по формуле (25);

$H$  – расчетная высота от центра рассчитываемого заполнения светового проема до устья вытяжной шахты, м.

Допускается отклонение сопротивления воздухопроницанию заполнения светового проема от требуемого не более +20 %.

Сопротивление воздухопроницанию заполнений световых проемов следует принимать по прил. Д [1].

**Пример 3.** Требуется рассчитать сопротивление воздухопроницанию заполнения световых проемов жилого здания для климатических условий Могилевской области.

**Исходные данные.**

Здание – крупнопанельное, пятиэтажное. Заполнение световых проемов – тройное в раздельно спаренных переплетах. Размещение окон на фасаде здания и необходимые для расчета размеры приведены на рис. 2.

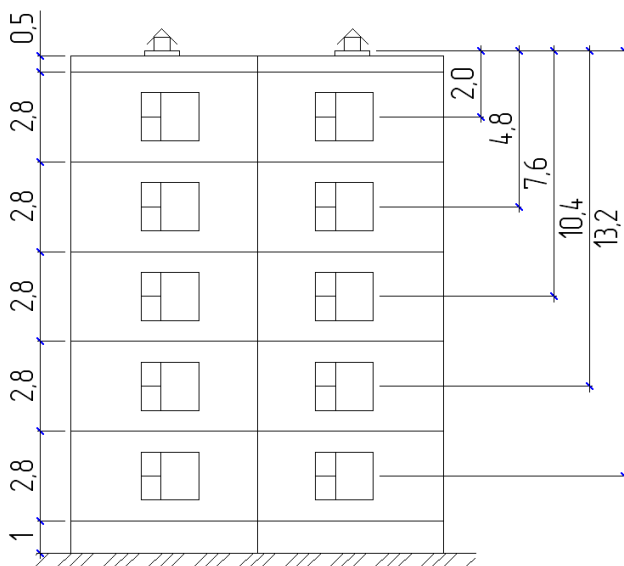


Рис. 2. Пятиэтажный крупнопанельный жилой дом

Расчетные температуры внутреннего воздуха ( $t_{в} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) принимаются по табл. 1, наружного ( $t_{н} = \text{минус } 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) – по табл. 3.

Максимальную среднюю скорость ветра по румбам в январе принимаем ( $v_{ср} = 4,9 \text{ м/с}$ ) по табл. 5.

Аэродинамические коэффициенты для вертикальных поверхностей:  $c_{н} = +0,8$ ,  $c_{п} = -0,6$ .

Коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания ( $k_i = 0,65$ ) принимается по табл. 19.

Нормативная воздухопроницаемость ( $G_{норм} = 10 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{ч)}$ ) принимается по табл. 20.

**Расчет.** Определяем удельный вес наружного и внутреннего воздуха ( $\text{Н/м}^3$ ) по формуле (26):

$$\gamma_{н} = \frac{3463}{273 - 25} = 16,3 \text{ Н/м}^3,$$

$$\gamma_{в} = \frac{3463}{273 + 18} = 11,9 \text{ Н/м}^3.$$

Определяем плотность наружного воздуха ( $\text{кг/м}^3$ ) по формуле (27):

$$\rho_{н} = \frac{16,3}{9,8} = 1,66 \text{ кг/м}^3.$$

Расчетная разность давления воздуха по формуле (27) составит:  
– для первого этажа

$$\Delta_{p1} = 13,2 \cdot (16,3 - 11,9) + 0,5 \cdot 1,66 \cdot 4,9^2 \times \\ \times (0,8 + 0,6) \cdot 0,65 = 76,2 \text{ Па};$$

– аналогично для второго и последующих этажей

$$\Delta_{p2} = 63,9 \text{ Па};$$

$$\Delta_{p3} = 51,57 \text{ Па};$$

$$\Delta_{p4} = 39,25 \text{ Па};$$

$$\Delta_{p5} = 26,9 \text{ Па}.$$

Требуемое сопротивление воздухопроницанию по формуле (28) составит:

– для первого этажа

$$R_{в.тр 1} = \frac{0,216 \cdot 76,2^{2/3}}{10} = 0,4 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг};$$

– аналогично для второго и последующих этажей

$$R_{в.тр 2} = 0,35 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг}; \quad R_{в.тр 3} = 0,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг};$$

$$R_{в.тр 4} = 0,25 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг}; \quad R_{в.тр 5} = 0,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг}.$$

С учетом допуска +20 % сопротивления воздухопроницанию заполнений световых проемов данного жилого дома должны быть в пределах:

$$R_{в.тр 1} = (0,4 \div 0,48) \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг}; \quad R_{в.тр 2} = (0,35 \div 0,42) \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг};$$

$$R_{в.тр 3} = (0,3 \div 0,36) \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг}; \quad R_{в.тр 4} = (0,25 \div 0,30) \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг};$$

$$R_{в.тр 5} = (0,2 \div 0,24) \text{ (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)/кг}.$$

Для обеспечения воздухопроницаемости зданий конструкции окон по прил. Д [1] принимаем:

– для первого, второго и третьего этажей – уплотнение двух притворов прокладками из пенополиуретана;

– для четвертого и пятого этажей – уплотнение одного притвора прокладками из пенополиуретана.

## 6. ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ ПОМЕЩЕНИЙ

Помещения, оборудованные системой отопления периодического действия, следует рассчитывать на теплоустойчивость в отопительный период года.

При расчете теплоустойчивости определяют амплитуду колебаний температуры внутреннего воздуха в течение суток и минимальную температуру внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций.

Амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха в течение суток ( $A_b$ ) не должна превышать  $\pm 3$  °С от расчетного значения.

Амплитуду колебаний температуры внутреннего воздуха ( $A_b$ , °С) следует определять по формуле (29):

$$A_B = \frac{0,7 \cdot Q \cdot m}{B_1 \cdot F_1 + B_2 \cdot F_2 + \dots + B_n \cdot F_n}, \quad (29)$$

где  $Q$  – теплотери помещения (Вт), определяемые по формуле (30):

$$Q = \frac{F \cdot (t_B - t_H) \cdot n}{R_T}, \quad (30)$$

здесь  $F$  – площадь ограждающей конструкции,  $m^2$ ;

$t_B, t_H$  – то же, что и в формуле (3);

$n$  – то же, что и в формуле (3);

$R_T$  – сопротивление теплопередачи соответствующей ограждающей конструкции (см. пример 1);

$B_1, B_2, \dots, B_n$  – коэффициент теплопоглощения внутренней поверхности ограждающих конструкций помещения (за исключением заполнений световых проемов) (Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ )), определяемый по формуле (31),

$$B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{Y_B}}, \quad (31)$$

здесь  $\alpha_B$  – то же, что в формуле (5);

$Y_B$  – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/( $m^2 \cdot ^\circ C$ ).

Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности однородной наружной ограждающей конструкции следует принимать равным коэффициенту теплоусвоения материала конструкции ( $s$ ), принимаемому по прил. А [1].

Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности многослойной наружной ограждающей конструкции необходимо определять в зависимости от тепловой инерции слоев конструкции следующим образом.

Если тепловая инерция первого слоя конструкции (считая от внутренней поверхности), определяемая по формуле (1),  $D_1 \geq 1$ , коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности конструкции следует принимать равным коэффициенту теплоусвоения материала первого слоя конструкции ( $s_1$ ), принимаемому по прил. А [1].

Если тепловая инерция первого слоя ограждающей конструкции  $D_1 < 1$ , а первого и второго слоев конструкции  $D_1 + D_2 \geq 1$ , коэффици-

ент теплоусвоения внутренней поверхности следует определять по формуле (32) [1]:

$$Y_B = \frac{R_1 \cdot s_1^2 + s_2}{1 + R_1 \cdot s_2}, \quad (32)$$

где  $R_1, s_1, s_2$  – то же, что в формуле (1).

Если тепловая инерция первых  $n$  слоев конструкции  $D_1 + D_2 + \dots + D_n < 1$ , а тепловая инерция  $n + 1$  слоев  $D_1 + D_2 + \dots + D_n + D_{n+1} \geq 1$ , коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности следует определять по формуле (33) [1]:

$$Y_B = \frac{R_1 \cdot s_1^2 + Y_2}{1 + R_1 \cdot Y_2}, \quad (33)$$

где  $R_1$  и  $s_1$  – то же, что в формуле (1);

$Y_2$  – коэффициент теплоусвоения второго слоя конструкции, определяемый по формуле (34) [1]:

$$Y_n = \frac{R_n \cdot s_n^2 + Y_{n+1}}{1 + R_n \cdot Y_{n+1}}, \quad (34)$$

здесь  $Y_n$  и  $Y_{n+1}$  – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности  $n$ -го и  $(n + 1)$ -го слоев конструкции соответственно.

Если какой-либо слой конструкции является неоднородным, следует определять средний коэффициент теплоусвоения материалов этого слоя ( $s_{cp}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°C)) по формуле (35) [1]:

$$s_{cp} = \frac{s_1 \cdot F_1 + s_2 \cdot F_2 + \dots + s_n \cdot F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}, \quad (35)$$

где  $s_1, s_2, \dots, s_n$  – коэффициент теплоусвоения отдельных материалов слоя, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$F_1, F_2, \dots, F_n$  – площади, занимаемые отдельными материалами по поверхности слоев.

Коэффициент теплоусвоения поверхности внутренних однородных (однослойных) ограждающих конструкций ( $Y_B$ ) следует определять по формуле (36) [1]:

$$Y_B = 0,5 \cdot R \cdot s^2, \quad (36)$$

где  $R$  – то же, что в формуле (6);

$s$  – то же, что в формуле (1).

Коэффициент теплоусвоения поверхности внутренней многослойной ограждающей конструкции определяют по формулам (33), (34), (35), приняв, что в условной середине конструкции  $s = 0$ .

Условная середина симметричной ограждающей конструкции находится в ее средней плоскости, а условная середина несимметричной конструкции находится в плоскости, для которой показатель тепловой инерции равен половине тепловой инерции всей конструкции.

$F_1, F_2, \dots, F_n$  – площади внутренних поверхностей ограждающих конструкций,  $\text{м}^2$ ;

$m$  – коэффициент неравномерности теплоотдачи системы отопления, принимаемый по табл. 21.

Т а б л и ц а 21. Коэффициент неравномерности теплоотдачи системы отопления

Система отопления	Коэффициент неравномерности теплоотдачи $m$
Центральное водяное	0,1
Поквартирное водяное (продолжительность топки – 6 ч)	1,5
Печное теплоемкими печами при топке их 1 раз в сутки: толщина стенок печи в 1/2 кирпича то же в 1/4 кирпича	От 0,4 до 0,9 От 0,7 до 1,4

Коэффициент теплопоглощения заполнений световых проемов ( $B$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ) следует определять по формуле (37) [1]:

$$B = \frac{1}{1,08 \cdot R_T}, \quad (37)$$

где  $R_T$  – сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов, принимаемое по прил. Г [1].

Минимальная температура внутренней поверхности наружной ограждающей конструкции ( $t_{\text{в.п min}}$ ,  $^\circ\text{C}$ ), определяемая по формуле (38) [1], не должна быть ниже точки росы при расчетных значениях температуры и относительной влажности внутреннего воздуха:

$$t_{\text{в.п min}} = t_{\text{в}} - \frac{\left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{m}{\gamma_{\text{в}}}\right) \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_T}, \quad (38)$$

где  $t_{\text{в}}$ ,  $t_{\text{н}}$ ,  $\alpha_{\text{в}}$  – то же, что в формуле (3);

$m$  – то же, что в формуле (29);

$Y_b$  – то же, что в формуле (31);

$R_t$  – то же, что в формуле (5).

После определения минимальной температуры внутренних поверхностей наружных ограждений их сравнивают с допустимой температурой – температурой точки росы, определяемой по табл. 22, зависящей от внутренней температуры и внутренней влажности воздуха помещения.

Т а б л и ц а 22. Температура точки росы

$t$ , °C	Точка росы при относительной влажности воздуха, %													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
-10	-23,2	-21,8	-20,4	-19,0	-17,8	-16,7	-15,8	-14,9	-14,1	-13,3	-12,6	-11,9	-10,6	-10,0
-5	-18,9	-17,2	-15,8	-14,5	-13,3	-11,9	-10,9	-10,2	-9,3	-8,8	-8,1	-7,7	-6,5	-5,8
0	-14,5	-12,8	-11,3	-9,9	-8,7	-7,5	-6,2	-5,3	-4,4	-3,5	-2,8	-2	-1,3	-0,7
+2	-12,8	-11,0	-9,5	-8,1	-6,8	-5,8	-4,7	-3,6	-2,6	-1,7	-1	-0,2	-0,6	+1,3
+4	-11,3	-9,5	-7,9	-6,5	-4,9	-4,0	-3,0	-1,9	-1,0	+0,0	+0,8	+1,6	+2,4	+3,2
+5	-10,5	-8,7	-7,3	-5,7	-4,3	-3,3	-2,2	-1,1	-0,1	+0,7	+1,6	+2,5	+3,3	+4,1
+6	-9,5	-7,7	-6,0	-4,5	-3,3	-2,3	-1,1	-0,1	+0,8	+1,8	+2,7	+3,6	+4,5	+5,3
+7	-9,0	-7,2	-5,5	-4,0	-2,8	-1,5	-0,5	+0,7	+1,6	+2,5	+3,4	+4,3	+5,2	+6,1
+8	-8,2	-6,3	-4,7	-3,3	-2,1	-0,9	+0,3	+1,3	+2,3	+3,4	+4,5	+5,4	+6,2	+7,1
+9	-7,5	-5,5	-3,9	-2,5	-1,2	+0,0	+1,2	+2,4	+3,4	+4,5	+5,5	+6,4	+7,3	+8,2
+10	-6,7	-5,2	-3,2	-1,7	-0,3	+0,8	+2,2	+3,2	+4,4	+5,5	+6,4	+7,3	+8,2	+9,1
+11	-6,0	-4,0	-2,4	-0,9	+0,5	+1,8	+3,0	+4,2	+5,3	+6,3	+7,4	+8,3	+9,2	+10,1
+12	-4,9	-3,3	-1,6	-0,1	+1,6	+2,8	+4,1	+5,2	+6,3	+7,5	+8,6	+9,5	+10,4	+11,7
+13	-4,3	-2,5	-0,7	+0,7	+2,2	+3,6	+5,2	+6,4	+7,5	+8,4	+9,5	+10,5	+11,5	+12,3
+14	-3,7	-1,7	-0,0	+1,5	+3,0	+4,5	+5,8	+7,0	+8,2	+9,3	+10,3	+11,2	+12,1	+13,1
+15	-2,9	-1,0	+0,8	+2,4	+4,0	+5,5	+6,7	+8,0	+9,2	+10,2	+11,2	+12,2	+13,1	+14,1
+16	-2,1	-0,1	+1,5	+3,2	+5,0	+6,3	+7,6	+9,0	+10,2	+11,3	+12,2	+13,2	+14,2	+15,1
+17	-1,3	+0,6	+2,5	+4,3	+5,9	+7,2	+8,8	+10,0	+11,2	+12,2	+13,5	+14,3	+15,2	+16,6
+18	-0,5	+1,5	+3,2	+5,3	+6,8	+8,2	+9,6	+11,0	+12,2	+13,2	+14,2	+15,3	+16,2	+17,1
+19	+0,3	+2,2	+4,2	+6,0	+7,7	+9,2	+10,5	+11,7	+13,0	+14,2	+15,2	+16,3	+17,2	+18,1
+20	+1,0	+3,1	+5,2	+7,0	+8,7	+10,2	+11,5	+12,8	+14,0	+15,2	+16,2	+17,2	+18,1	+19,1
+21	+1,8	+4,0	+6,0	+7,9	+9,5	+11,1	+12,4	+13,5	+15,0	+16,2	+17,2	+18,1	+19,1	+20,0
+22	+2,5	+5,0	+6,9	+8,8	+10,5	+11,9	+13,5	+14,8	+16,0	+17,0	+18,0	+19,0	+20,0	+21,0
+23	+3,5	+5,7	+7,8	+9,8	+11,5	+12,9	+14,3	+15,7	+16,9	+18,1	+19,1	+20,0	+21,0	+22,0
+24	+4,3	+6,7	+8,8	+10,8	+12,3	+13,8	+15,3	+16,5	+17,8	+19,0	+20,1	+21,1	+22,0	+23,0
+25	+5,2	+7,5	+9,7	+11,5	+13,1	+14,7	+16,2	+17,5	+18,8	+20,0	+21,1	+22,1	+23,0	+24,0
+26	+6,0	+8,5	+10,6	+12,4	+14,2	+15,8	+17,2	+18,5	+19,8	+21,0	+22,2	+23,1	+24,1	+25,1
+27	+6,9	+9,5	+11,4	+13,3	+15,2	+16,5	+18,1	+19,5	+20,7	+21,9	+23,1	+24,1	+25,0	+26,1
+28	+7,7	+10,2	+12,2	+14,2	+16,0	+17,5	+19,0	+20,5	+21,7	+22,8	+24,0	+25,1	+26,1	+27,0
+29	+8,7	+11,1	+13,1	+15,1	+16,8	+18,5	+19,9	+21,3	+22,5	+22,8	+25,0	+26,0	+27,0	+28,0
+30	+9,5	+11,8	+13,9	+16,0	+17,7	+19,7	+21,3	+22,5	+23,8	+25,0	+26,1	+27,1	+28,1	+29,0
+32	+11,2	+13,8	+16,0	+17,9	+19,7	+21,4	+22,8	+24,3	+25,6	+26,7	+28,0	+29,2	+30,2	+31,1
+34	+12,5	+15,2	+17,2	+19,2	+21,4	+22,8	+24,2	+25,7	+27,0	+28,3	+29,4	+31,1	+31,9	+33,0
+36	+14,6	+17,1	+19,4	+21,5	+23,2	+25,0	+26,3	+28,0	+29,3	+30,7	+31,8	+32,8	+34,0	+35,1

+38	+16,3	+18,8	+21,3	+23,4	+25,1	+26,7	+28,3	+29,9	+31,2	+32,3	+33,5	+34,6	+35,7	+36,9
+40	+17,9	+20,6	+22,6	+25,0	+26,9	+28,7	+30,3	+31,7	+33,0	+34,3	+35,6	+36,8	+38,0	+39,0

Теплопотери на вентиляцию ( $Q_{\text{вент}}$ , Вт) помещения определяют из расчета объема воздухообмена  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади помещения при расчетных температурах внутреннего и наружного воздуха для определения теплопотерь через наружные ограждающие конструкции по формуле (39):

$$Q_{\text{вент}} = \frac{3 \cdot F_{\text{п}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot C_{\text{в}} \cdot \gamma_{\text{в}}}{3,6}, \quad (39)$$

где  $F_{\text{п}}$  – площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;

$C_{\text{в}}$  – удельная теплоемкость воздуха,  $C_{\text{в}} = 1,008 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\gamma_{\text{в}}$  – плотность воздуха,  $\gamma_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

**Пример 3.** Требуется рассчитать теплоустойчивость ограждающих конструкций и помещений жилого дома с водяным отоплением периодического действия.

Для проверки теплоустойчивости произведем расчет углового помещения (кухни) как наиболее неблагоприятной из-за наличия большой площади наружных ограждающих конструкций.

План кухни приведен на рис. 3.

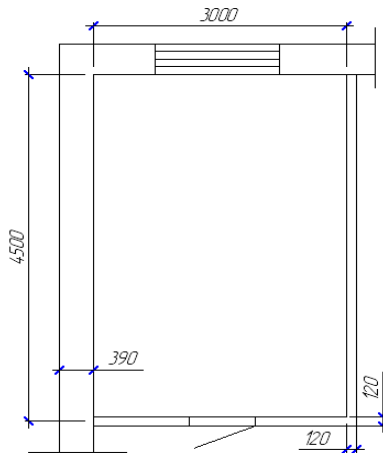


Рис. 3. План кухни

Исходные данные:

- расчетная температура наружного воздуха  $t_n = -25$  °С;
- расчетная температура внутреннего воздуха для расчета ограждающих конструкций  $t_{в1} = 18$  °С;
- расчетная температура внутреннего воздуха для расчета отопления  $t_{в2} = 20$  °С (для угловых помещений);
- высота комнаты – 2,5 м.

Наружные стены:

1. Цементно-песчаная штукатурка толщиной 20 мм.
2. Кладка из ячеистобетонных блоков плотностью 700 кг/м<sup>3</sup> толщиной 300 мм.
3. Утеплитель – теплоизоляционные плиты из экструдированного пенополистирола URSA XPS.
4. Армированный слой из полимерминерального клея толщиной 5 мм.
5. Армированный слой из полимерминеральной штукатурки толщиной 5 мм.
6. Краска.

Сопротивление теплопередаче стен – 3,268 (м<sup>2</sup> · °С)/Вт (см. пример 1).

Оконное заполнение – трехслойное остекление в деревянных раздельно-спаренных переплетах. Сопротивление теплопередаче – 1,0 (м<sup>2</sup> · °С)/Вт.

Внутренние стены. Кирпичные из керамического кирпича толщиной 120 мм.

Чердак – холодный. Чердачное перекрытие – железобетонная круглопустотная плита толщиной 220 мм с утеплителем из минераловатных плит толщиной 310 мм.

Цокольное перекрытие – железобетонная круглопустотная плита толщиной 220 мм, теплоизоляционный слой из пенополистирольных плит толщиной 110 мм, стяжка из цементно-песчаного раствора толщиной 50 мм, паркетная доска толщиной 15 мм.

Характеристики материалов ограждающих конструкций приведены в табл. 23.

Т а б л и ц а 23. Характеристики используемых материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С	Коэффициент теплоусвоения, Вт/м <sup>2</sup> ·°С
------------------------	---------------------------------	---	--

Цементно-песчаный раствор	1800	0,93	11,09
Бетон ячеистый	700	0,24	3,67
Пенополистирол URSA XPS	35	0,033	0,48
Кирпич керамический	1600	0,63	7,91
Железобетон	2500	2,04	19,7
Минераловатные плиты	125	0,054	0,67
Пенополистирольные плиты	50	0,052	0,55
Паркетная доска (дуб поперек волокон)	700	0,23	5,86

Примечание. Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов для определения коэффициента теплоусвоения поверхности внутренних ограждающих конструкций следует принимать для условий эксплуатации (А).

**Расчет.** Определяем коэффициенты теплоусвоения и теплопоглощения внутренних поверхностей ограждающих конструкций рассчитываемого помещения.

Наружные стены. Найдем расположение слоя конструкции, для которого тепловая инерция  $D \geq 1$ .

Для первого (считая со стороны помещения) слоя наружной стены тепловая инерция определяется по формуле (1):

$$D_1 = R_1 \cdot S_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot S_1 = \frac{0,02}{0,93} \cdot 11,09 = 0,24 < 1.$$

Для двух первых слоев наружной стены:

$$D_1 + D_2 = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 = 0,24 + \frac{0,3}{0,24} \cdot 3,67 = 4,8 > 1.$$

Тогда коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности наружных стен по формуле (32) будет равен:

$$Y_B = \frac{0,022 \cdot 11,09^2 + 3,67}{1 + 0,022 \cdot 3,67} = 5,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Коэффициент теплопоглощения внутренней поверхности наружной стены, определяемый по формуле (31), будет равен:

$$B_B = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{1}{5,9}} = 3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Чердачное перекрытие.

$$D_1 = \frac{0,22}{2,04} \cdot 19,7 = 2,12 > 1.$$

Так как для первого слоя  $D > 1$ , то коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности чердачного перекрытия будет равен коэффициенту теплоусвоения материала первого слоя – железобетона:

$$Y_{\text{вп}} = S_{\text{ж/б}} = 19,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Коэффициент теплопоглощения внутренней поверхности чердачного перекрытия (потолка помещения) будет равен:

$$B_{\text{вп}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{1}{19,7}} = 6,03 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Внутренние стены. Коэффициент теплоусвоения поверхности внутренней стены определяем по формуле (36):

$$Y_{\text{вв}} = 0,5 \cdot R \cdot s^2 = 0,5 \cdot \frac{0,12}{0,63} \cdot 7,91^2 = 5,96 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Коэффициент теплопоглощения поверхности внутренних стен:

$$B_{\text{вв}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{1}{5,96}} = 3,54 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Оконное заполнение. Коэффициент теплопоглощения окна определяем по формуле (37):

$$B_{\text{ок}} = \frac{1}{1,08 \cdot R_{\text{T}}} = \frac{1}{1,08 \cdot 1} = 0,93 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Цокольное перекрытие.

$$D_1 = \frac{0,015}{0,23} \cdot 5,86 = 0,38 < 1.$$

Для двух первых слоев цокольного перекрытия:

$$D_1 + D_2 = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 = 0,38 + \frac{0,05}{0,93} \cdot 11,09 = 0,98 < 1.$$

Для трех первых слоев цокольного перекрытия:

$$D_1 + D_2 + D_3 = 0,98 + \frac{0,11}{0,052} \cdot 0,55 = 2,14 < 1.$$

Определяем коэффициент теплоусвоения третьего слоя цокольного перекрытия по формуле (32):

$$Y_3 = \frac{0,054 \cdot 11,09^2 + 0,55}{1 + 0,054 \cdot 0,55} = 6,98 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Определяем коэффициент теплоусвоения второго слоя конструкции по формуле (34):

$$Y_B = \frac{0,054 \cdot 11,09^2 + 6,98}{1 + 0,054 \cdot 6,98} = 9,89 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Коэффициент теплопоглощения внутренней поверхности цокольного перекрытия, определяемый по формуле (31), будет равен:

$$B_{\text{вп}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{1}{9,89}} = 4,65 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Для определения амплитуды колебаний температуры внутреннего воздуха рассчитываем теплототери через все ограждающие конструкции по формуле (30), а также теплопоглощение поверхностей с учетом их площадей. Результаты расчета сводим в табл. 24.

Т а б л и ц а 24. Результаты расчета теплототерь и теплопоглощения ограждающих конструкций

Ограждающая конструкция	Расчет теплототерь				Расчет теплопоглощения			
	$R_i$ ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт	$F_{\text{вн}}$ м <sup>2</sup>	$t_{\text{вн2}} - t_{\text{вн1}}$ °C	$Q$ , Вт	$Y_B$ Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )	$B_i$ Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )	$F_B$ , м <sup>2</sup>	$B \cdot F_B$ Вт/°C
Наружная стена	3,268	18,76	45	258,3	5,9	3,5	16,5	57,75

Чердачное перекрытие	6,05	14,6	45	108,6	19,7	6,03	13,5	81,41
Окно	1	2,25	45	101,25	–	0,93	2,25	2,1
Внутренние стены	–	–	–	–	5,53	3,38	17,1	57,8
Цокольное перекрытие	2,615	14,6	45	150,74	9,89	4,65	13,5	62,8
Итого	618,89				261,86			

Теплопотери на вентиляцию данного помещения (при наличии вентиляционных каналов) из расчета  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади при расчетных температурах внутреннего и наружного воздуха определяем по формуле (39):

$$Q_{\text{вент}} = \frac{3 \cdot 13,5 \cdot (20 + 25) \cdot 1008 \cdot 1,2}{3600} = 612,36 \text{ Вт.}$$

Определяем амплитуду колебаний температуры внутреннего воздуха помещения при однократной топке котла по формуле (29):

$$A_{\text{в}} = \frac{0,7 \cdot (618,89 + 612,36) \cdot 1,5}{261,86} = 4,93 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Таким образом, при однократной топке котла амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха помещения при расчетной температуре наружного воздуха превышает допустимую равную  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Определим температуру наружного воздуха ( $t_{\text{н1}}$ ), до которой амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха помещения при однократной топке котла не будет превышать  $A_{\text{вн}} = 3 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$t_{\text{н1}} = t_{\text{в1}} - \frac{A_{\text{вн}} \cdot (t_{\text{в1}} - t_{\text{н}})}{A_{\text{в}}} = 20 - \frac{3 \cdot (20 + 25)}{4,93} = -7,4 \text{ }^\circ\text{C.}$$

При температуре наружного воздуха ниже минус  $7,4 \text{ }^\circ\text{C}$  следует либо увеличить продолжительность однократной топки котла либо производить топку котла два раза в сутки.

Определим минимальные температуры внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций по формуле (38).

Минимальная температура внутренней поверхности наружной стены

$$t_{в \min \text{ ст}} = 18 - \frac{\left(\frac{1}{8,7} + \frac{1,5}{5,9}\right) \cdot (20 + 25)}{3,268} = 12,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Минимальная температура внутренней поверхности чердачного перекрытия

$$t_{в \min \text{ ст}} = 18 - \frac{\left(\frac{1}{8,7} + \frac{1,5}{19,7}\right) \cdot (20 + 25)}{6,05} = 16,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Минимальная температура внутренней поверхности цокольного перекрытия

$$t_{в \min \text{ ст}} = 18 - \frac{\left(\frac{1}{8,7} + \frac{1,5}{9,89}\right) \cdot (20 + 25)}{2,615} = 13,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Таким образом, минимальные температуры внутренних поверхностей наружных ограждений значительно выше допустимой температуры – температуры точки росы, которая по табл. 22 при  $t_{в} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$  и  $\phi_{в} = 55 \text{ } \%$  равна  $+8,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

## 7. ТЕПЛОУСВОЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛОВ

Поверхность пола жилого здания должна иметь значения показателя теплоусвоения ( $Y_{п}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°C)) не более нормативного, приведенного в табл. 25.

Т а б л и ц а 25. Значения показателя теплоусвоения пола

Здания	$Y_{п}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C) (нормативное значение)
Здания жилые, больницы, школы	12

Показатель теплоусвоения поверхности пола ( $Y_{п}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°C)) следует определять следующим образом:

– если покрытие (первый слой покрытия пола) имеет тепловую инерцию  $D_1 = R_1 s_1 \geq 0,5$ , то показатель теплоусвоения поверхности пола следует определять по формуле (40):

$$Y_{п} = 2 \cdot s_1, \quad (40)$$

– если первые  $n$  слоев конструкции пола ( $n \geq 1$ ) имеют суммар-

ную тепловую инерцию  $D_1 + D_2 + \dots + D_n < 0,5$ , но тепловая инерция  $n + 1$  слоев  $D_1 + D_2 + \dots + D_{n+1} \geq 0,5$ , то показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_n$  следует определять последовательно расчетом показателя теплоусвоения поверхности слоев конструкции, начиная с  $n$ -го до 1-го:

– для  $n$ -го слоя – по формуле (41):

$$Y_n = \frac{2 \cdot R_n \cdot s_n^2 + s_{n+1}}{0,5 + R_n \cdot s_{n+1}}, \quad (41)$$

– для  $i$ -го слоя ( $i = n - 1, n - 2, \dots, 1$ ) – по формуле (42):

$$Y_i = \frac{4 \cdot R_i \cdot s_i^2 + s_{i+1}}{1 + R_i \cdot Y_{i+1}}. \quad (42)$$

Показатель теплоусвоения поверхности пола ( $Y_n$ ) принимается равным показателю теплоусвоения поверхности 1-го слоя ( $Y_1$ ).

В формулах (41), (42) и неравенствах:

$D_1, D_2, \dots, D_{n+1}$  – тепловая инерция соответственно 1, 2, ...,  $(n+1)$ -го слоев конструкции пола, определяемая по формуле (1);

$R_i, R_n$  – термическое сопротивление  $i$ -го и  $n$ -го слоев конструкции пола,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , определяемое по формуле (6);

$s_1, s_i, s_{i+1}, s_n, s_{n+1}$  – расчетный коэффициент теплоусвоения материала 1,  $i, i+1, n, (n + 1)$ -го слоев конструкции пола,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , принимаемый по прил. А [1], при этом для зданий, приведенных в табл. 21 – во всех случаях при условиях эксплуатации (А);

$Y_n, Y_i, Y_{i+1}$  – показатель теплоусвоения поверхности  $n, i$  и  $(i + 1)$ -го слоев конструкции пола,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

**Пример 4.** Требуется определить показатель теплоусвоения поверхности пола жилого помещения.

Конструктивное решение пола приведено на рис. 4.

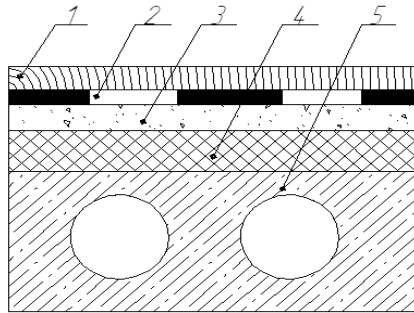


Рис. 4. Конструкция пола жилого помещения:

- 1 – паркет дубовый,  $\delta = 15$  мм; 2 – битум строительный,  $\delta = 2$  мм;  
 3 – цементно-песчаный раствор,  $\delta = 20$  мм; 4 – минераловатные плиты,  $\delta = 20$  мм;  
 5 – железобетонная круглопустотная плита,  $\delta = 220$  мм

Расчетные значения коэффициентов теплопроводности ( $\lambda$ ) и теплоусвоения ( $s$ ) используемых материалов принимаем по прил. А [1] для условий эксплуатации А:

1. Дуб (поперек волокон):  $\rho_1 = 700 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_1 = 0,18 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ,  
 $s_1 = 5,0 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ;

2. Битум строительный:  $\rho_2 = 1400 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_2 = 0,27 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ,  $s_2 = 6,80 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ;

3. Цементно-песчаный раствор:  $\rho_3 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_3 = 0,76 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ,  $s_3 = 9,60 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ;

4. Минераловатные плиты:  $\rho_4 = 250 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda_4 = 0,061 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ,  
 $s_4 = 0,98 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ .

Определяем тепловую инерцию первого (верхнего) слоя конструкции пола:

$$D_1 = \frac{0,015}{0,18} \cdot 5,0 = 0,416 < 0,5.$$

Определяем тепловую инерцию первого и второго слоев конструкции пола:

$$D_1 + D_2 = 0,416 + \frac{0,002}{0,27} \cdot 6,8 = 0,466 < 0,5.$$

Определяем тепловую инерцию первого, второго и третьего слоев конструкции пола:

$$D_1 + D_2 + D_3 = 0,466 + \frac{0,02}{0,76} \cdot 9,6 = 0,718 > 0,5.$$

Расчет начинаем с определения показателя теплоусвоения поверхности второго слоя конструкции пола по формуле (41):

$$Y_2 = \frac{2 \cdot 0,0074 \cdot 6,8^2 + 9,6}{0,5 + 0,0074 \cdot 9,6} = 18,01 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Затем определяем показатель теплоусвоения поверхности пола по формуле (42):

$$Y_n = \frac{4 \cdot 0,083 \cdot 5,0^2 + 18,01}{1 + 0,083 \cdot 18,01} = 10,53 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Таким образом, показатель теплоусвоения поверхности пола отвечает требованиям ТКП 45-2.04-43–2006, так как согласно табл. 21 для полов жилых зданий он должен быть не более 12 Вт/ (м<sup>2</sup> · °С).