

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Томский государственный архитектурно-строительный университет

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ  
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ**

Методические указания  
к курсовому проектированию  
по дисциплине  
**Строительная теплофизика**

Составитель А.В. Жуков

Томск 2014

Теплотехнический расчет ограждающих конструкций здания: методические указания к курсовому проектированию/ сост. А.В. Жуков. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 37 с.

Рецензент д.т.н., профессор кафедры ТГС Н.А. Цветков  
Редактор Н.С. Барина

Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине Б3.В5 «Строительная теплофизика» предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 270800 «Строительство» всех форм обучения профиля «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры «Теплогазоснабжение». Протокол № от . .14 г.

Срок действия

с 01.09.2014  
до 01.09.2019

Оригинал-макет подготовлен автором

Подписано в печать . . . . .  
Формат 60×90/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.  
Уч.-изд. л. 2. Тираж 50 экз. Заказ №

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.  
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.  
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены для студентов направления подготовки бакалавров 270800 «Строительство» всех форм обучения, выполняющих курсовую работу по дисциплине БЗ.В5 «Строительная теплофизика».

В указаниях излагается методика теплотехнического расчета ограждающих конструкций здания на примере индивидуального жилого дома.

В процессе выполнения курсовой работы формируются следующие, предусмотренные Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС-3) компетенции:

ПК-1: использование основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применение методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.

ПК-2: способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

ПК-11: способность проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных расчетов, разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы, контролировать соответствие разрабатываемых проектов и технической документации заданию на проектирование, стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.

ПК-17: знание научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по профилю деятельности.

Работа над курсовой работой способствует приобретению студентом: **знаний:** нормативной базы и основных методов расчета теплопереноса, воздухопроницаемости, паропроницаемости, теплоустойчивости ограждающих конструкций зданий;

**умений:** выбирать материалы и разрабатывать конструктивные решения для ограждающих конструкций зданий;

**навыков:** владения основами современных методов проектирования и расчета теплотехнических свойств ограждающих конструкций зданий.

## СОСТАВ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа предусматривает расчет приведенного сопротивления теплопередаче, воздухопроницаемости и паропроницаемости наружных ограждений здания и доведение их до нормативных значений за счет организационно-технических мероприятий.

Курсовая работа состоит из расчетной и графической частей.

Расчетная часть оформляется в виде расчетно-пояснительной записки на листах формата А4 и содержит следующие разделы:

1. Выбор исходных данных.
2. Расчет нормируемых величин теплозащитной оболочки.
3. Расчет толщины утеплителя фрагментов ограждений.
4. Расчет показателей тепловой защиты здания.
5. Расчет воздухопроницаемости ограждений.
6. Расчет паропроницаемости ограждений.

В соответствующих разделах расчетно-пояснительной записки приводятся эскизы расчетных наружных ограждений (наружные стены, чердачные перекрытия, пол), расчетные формулы с вычислением, а также таблицы в форме, приведенной в методических указаниях с результатами расчетов.

Графическая часть выполняется на листах формата А4 и включается в расчетно-пояснительную записку.

### 1. ВЫБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Теплотехнический расчет ограждающих конструкций выполняется на примере одноэтажного жилого здания.

На рис. 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 приведены: план и фрагмент вертикального разреза здания; конструкция деревянного пола на лагах с утеплением; конструкция чердачного перекрытия на основе пустотных плит с утеплителем и пароизоляцией; конструкция наружной стены в двух вариантах.

Входная дверь в стене западной ориентации имеет размеры 0,9х2,1 м; оконные проемы имеют размеры 1,46х1,47 м.

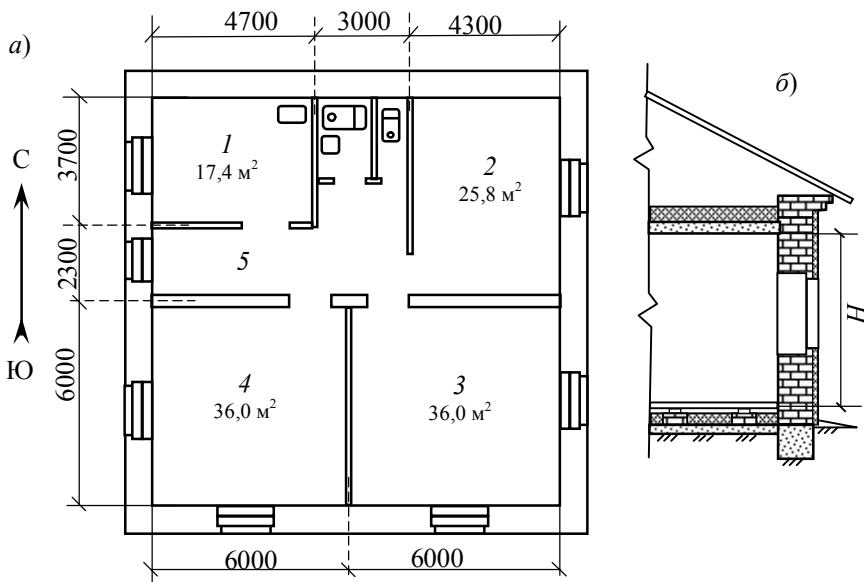


Рис. 1. 1. а) план первого этажа: 1 – кухня, 2 – спальня, 3 – зал, 4 – детская комната, 5 – коридор 21,6 м<sup>2</sup>, ванная 4,8 м<sup>2</sup>, туалет 2,4 м<sup>2</sup>; б) фрагмент вертикального разреза

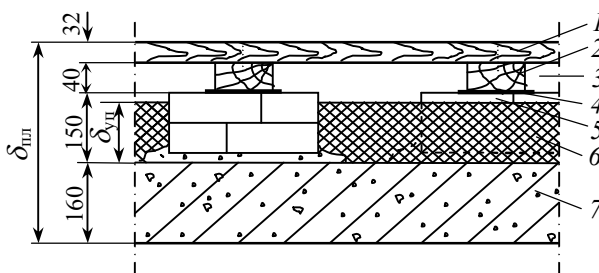


Рис. 1. 2. Конструкция пола. 1 – сосновые доски, 2 – лаги, 3 – воздушная прослойка, 4 – слой гидроизоляции, 5 – кирпичный столбик, 6 – утеплитель жесткая минплита, 7 – бетонная подушка

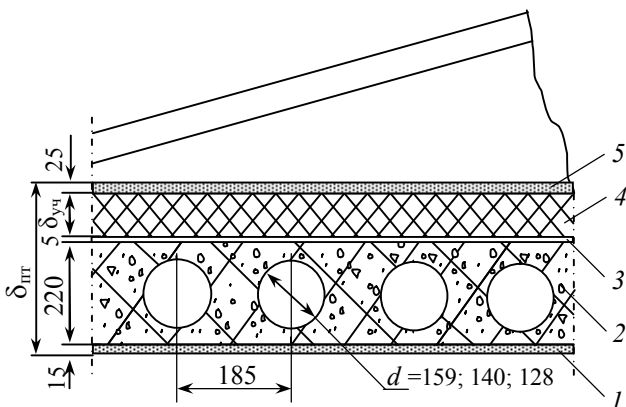


Рис. 1.3. Конструкция чердачного перекрытия. 1 – цементно-песчаная штукатурка, 2 – железобетонная пустотная плита, 3 – пароизоляция из 2-х слоев рубероида, 4 – утеплитель минплита, 5 – цементно-песчаная стяжка

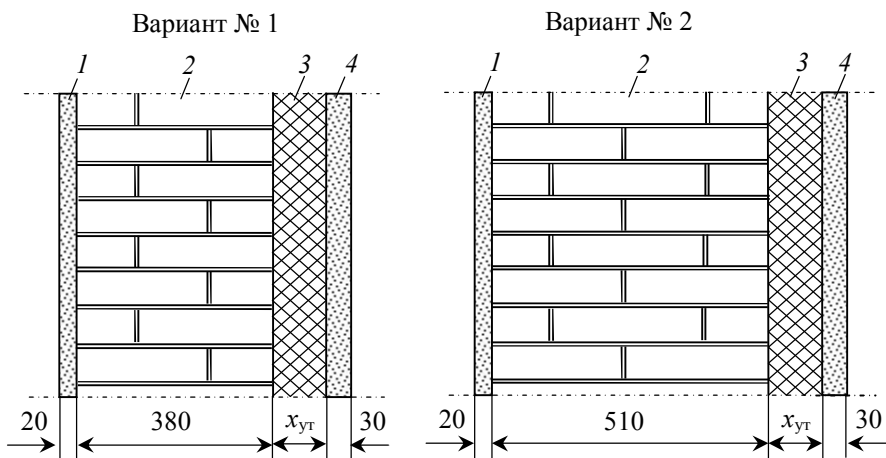


Рис. 1.4. Конструкция наружной стены. 1 – цементно-песчаный раствор ( $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ ); 2 – кладка из керамического пустотного кирпича ( $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$ ); 3 – утеплитель из пенополиуретана, ( $\rho = 60 \text{ кг/м}^3$ ); 4 – цементно-песчаный раствор по сетке рабица ( $\rho = 2200 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 1,4 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ );

1. По шифру (номеру зачетной книжки студента) определяется вариант и исходные данные для курсовой работы.

Последняя цифра определяет город, климатические данные и расчетные параметры наружного воздуха, табл. 1.1.

Предпоследняя цифра определяет высоту потолка, условия эксплуатации ограждений и конструкцию наружной стены, табл. 1.2.

Таблица 1.1

Климатические и расчетные параметры наружного воздуха

| № варианта | Город           | Расчетная температура наружного воздуха $t_n, ^\circ\text{C}$ | Продолжительность и средняя температура наружного воздуха отопительного периода |                                      | Расчетная скорость ветра $v, \text{ м/с}$ |
|------------|-----------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|
|            |                 |                                                               | $Z_{\text{от.пер.}}, \text{ сут.}$                                              | $t_{\text{от.пер.}}, ^\circ\text{C}$ |                                           |
| 1          | Новосибирск     | - 37                                                          | 221                                                                             | - 8,1                                | 4,7                                       |
| 2          | Томск           | - 39                                                          | 233                                                                             | - 7,9                                | 2,4                                       |
| 3          | Колпашево       | - 42                                                          | 243                                                                             | - 8,8                                | 3,1                                       |
| 4          | Александровское | - 43                                                          | 255                                                                             | - 9,5                                | 3,9                                       |
| 5          | Тюмень          | - 35                                                          | 223                                                                             | - 6,9                                | 3,0                                       |
| 6          | Кемерово        | - 39                                                          | 227                                                                             | - 8,0                                | 3,4                                       |
| 7          | Тайга           | - 39                                                          | 240                                                                             | - 8,0                                | 5,1                                       |
| 8          | Киселевск       | - 39                                                          | 227                                                                             | - 7,3                                | 5,5                                       |
| 9          | Красноярск      | - 37                                                          | 233                                                                             | - 6,7                                | 4,3                                       |
| 0          | Барнаул         | - 36                                                          | 213                                                                             | - 7,5                                | 4,0                                       |

Таблица 1.2

Варианты исходных значений параметров

| Предпоследняя цифра номера      | 0 | 1 | 2   | 3   | 4 | 5 и более |
|---------------------------------|---|---|-----|-----|---|-----------|
| Высота потолка $H, \text{ м}$   | 3 | 3 | 3,5 | 3,5 | 4 | 4         |
| Условия эксплуатации ограждений | А | Б | А   | Б   | А | Б         |
| Вариант конструкции стены       | 1 | 2 | 1   | 2   | 1 | 2         |

Выбранный расчетный вариант приводится в курсовой работе в виде фрагментов табл. 1.1 и табл. 1.2.

2. По табл. П.1 определяются теплотехнические параметры материалов фрагментов ограждающих конструкций в соответствии с выбранным вариантом и рис. 1.2, 1.3, 1.4.

Значение теплотехнических параметров материалов ограждения оформляют в виде табл. 1.3.

Таблица 1.3

Исходные значения теплотехнических параметров материалов

| № п.п | Ограждение           | Материал                                                                        | Толщина $\delta$ , мм | Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Коэф. теплопр. $\lambda$ , Вт/(м <sup>0</sup> С) | Коэф. паропр. $\mu$ мг/(мчПа) |
|-------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1     | Наружная стена       | Внутр. штукатур.<br>Кирп. кладка<br>Утеплитель*<br>Наруж. штукатур.             |                       |                                      |                                                  |                               |
| 2     | Пол                  | Сосновая доска<br>Возд. прослойка<br>Утеплитель*<br>Железобетон                 |                       | -                                    | -                                                | -                             |
| 3     | Чердачное перекрытие | Внутр. штукатур.<br>Пустотная плита<br>Рубероид<br>Утеплитель*<br>Наруж. стяжка |                       |                                      |                                                  |                               |

\* - толщина утеплителя определяется расчетом в разделе 3.

## 2. РАСЧЕТ НОРМИРУЕМЫХ ВЕЛИЧИН ТЕПЛОЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

Нормами СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» установлены следующие показатели тепловой защиты зданий:

а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений (поэлементное требование);

б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения (комплексное требование);



в) температура на внутренней поверхности ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений (санитарно-гигиеническое требование).

Требования к тепловой защите будут выполнены при одновременном выполнении требований а), б) и в).

1. Определяется величина градусо-суток отопительного периода (ГСОП), по формуле, °Ссут:

$$\text{ГСОП} = Z_{\text{от.пер}}(t_{\text{в}} - t_{\text{от.пер}}), \quad (2.1)$$

где  $t_{\text{от.пер}}$ ,  $Z_{\text{от.пер}}$  – средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут, отопительного периода, табл. 1.1;  $t_{\text{в}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха, принимается минимальной из оптимальной для жилых помещений, табл. П.2.

2. По табл. П. 3 путем линейной интерполяции определяются базовые значения требуемых сопротивлений теплопередаче  $R_0^{\text{тр}}$ , м<sup>2</sup>°С/Вт, фрагментов ограждающей конструкции в зависимости от величины ГСОП района строительства для: наружных стен -  $R_0^{\text{тр.ст}}$ ; заполнения окон -  $R_0^{\text{тр.ок}}$ ; чердачного перекрытия -  $R_0^{\text{тр.чер}}$ ; пола -  $R_0^{\text{тр.пол}}$ .

Требуемое сопротивление теплопередаче входной двери определяется по формуле:

$$R_0^{\text{тр.дв}} = 0,6 R_0^{\text{тр.ст}}. \quad (2.2)$$

3. Нормируемое значение сопротивления теплопередаче определяется по формуле (2.3) и оформляются в виде табл. 2.1.

$$R_0^{\text{нор}} = m R_0^{\text{тр}}, \quad (2.3)$$

где – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. В курсовой работе принять:  $m = 0,63$  для стен;  $m = 0,95$  для заполнения окон;  $m = 0,8$  для остальных ограждений.

Таблица 2.1

Нормируемые значения сопротивления теплопередаче

| Фрагмент ограждения                       | Наружная стена | Заполнение окна | Чердачное перекрытие | Покрытие пола | Дверь |
|-------------------------------------------|----------------|-----------------|----------------------|---------------|-------|
| $R_0^{\text{нор}}$ , м <sup>2</sup> °С/Вт |                |                 |                      |               |       |

4. Определяется отопляемый объем здания  $V_{от}$ , м<sup>3</sup> по внутреннему обмеру здания.

5. По формулам (2.4) или табл. П.4 определяется нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания  $k_{об}^{нор}$  в зависимости от отопляемого объема здания и градусо-суток отопительного периода, Вт/(м<sup>3</sup>°C):

$$k_{об}^{нор} = 4,74 / [(0,00013 \cdot ГСОП + 0,61) \sqrt[3]{V_{от}}], \text{ если } V_{от} \leq 960 \text{ м}^3; \quad (2.4)$$

$$k_{об}^{нор} = (0,16 + 10/\sqrt{V_{от}}) / (0,00013 \cdot ГСОП + 0,61), \text{ если } V_{от} > 960 \text{ м}^3$$

Результаты определения в отчете оформляются в виде:

$$V_{от} = \quad \text{м}^3; \quad k_{об}^{нор} = \quad \text{Вт}/(\text{м}^3\text{°C}). \quad (2.5)$$

6. Определяется температура точки росы для жилых комнат и кухни по формуле, °C:

$$t_{т.р} = 20,1 - (5,75 - 0,00206e)^2, \quad (2.6)$$

где  $e$  – парциальное давление водяного пара, Па, по формуле:

$$e = (\varphi/100)E, \quad (2.7)$$

где  $E$  – давление насыщенного пара при температуре  $t_b$ , определяемое по формуле, Па:

$$E = 1,84 \times 10^{11} \exp[-5330/(273 + t)]. \quad (2.8)$$

Температура внутри помещения принимается равной расчетной температуре  $t_b$ , относительная влажность принимается для жилых помещений  $\varphi = 55\%$ , кухня  $\varphi = 60\%$ .

Результаты расчета оформляются в виде табл. 2.2.

Таблица 2.2

Температура точки росы в помещениях  $t_{т.р}$

| Помещение     | $t_b$ , °C | $\varphi$ , % | $t_{т.р}$ , °C |
|---------------|------------|---------------|----------------|
| Кухня         |            |               |                |
| Жилая комната |            |               |                |

### 3. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ УТЕПЛИТЕЛЯ ФРАГМЕНТОВ ОГРАЖДЕНИЙ

#### 3.1. Расчет толщины утеплителя наружных стен

Сопротивление теплопередаче наружных стен зависит как от сопротивления теплопередаче однородной гладкой стены, так и от линейных неоднородностей в виде наружных углов, откосов оконных проемов и входных дверей.

В курсовой работе вклад линейных неоднородностей в сопротивление теплопередаче можно не учитывать.

1. Определяется сопротивление теплопередаче  $R_0^{ст}$  однородной гладкой стены без утеплителя по формуле,  $м^2\text{°C}/\text{Вт}$ :

$$R_0^{ст} = 1/\alpha_{в} + \sum_i \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_{н}, \quad (3.1)$$

где  $\alpha_{н}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены, табл. П.5;  $\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены, табл. П.6;  $\delta_i$ ,  $\lambda_i$  – толщина, м и коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$  материала  $i$ -го слоя стены.

Суммирование в (3.1) проводится по всем слоям наружной стены (рис. 1.4) без утеплителя в соответствии с расчетным вариантом.

2. Вычисляется толщина слоя утеплителя  $\delta_{ут}^{ст}$  по формуле, м:

$$\delta_{ут}^{ст} = \lambda_{ут}^{ст} (R_0^{нор.ст} - R_0^{ст}), \quad (3.2)$$

где  $\lambda_{ут}^{ст}$  – коэффициент теплопроводности материала утеплителя стены,  $\text{Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$ ,  $R_0^{нор.ст}$  – нормируемое сопротивление теплопередаче стены,  $м^2\text{°C}/\text{Вт}$ , табл. 2.1.

#### 3.2. Расчет толщины утеплителя пола

Сопротивление теплопередаче пола рассчитывается по методике двухметровых зон.

Площадь пола разбивается на зоны шириной 2 м параллельные наружным стенам (рис. 3.1). Для небольших помещений зона 4 и даже зона 3 могут отсутствовать, для больших помещений зона 4 занимает всю оставшуюся часть площади.

Определяются площади  $F_1, F_2, F_3, F_4$  полученных зон по внутреннему обмеру, при этом для первой зоны участок пола размером 2х2 м, примыкающий к углу, учитывается дважды.

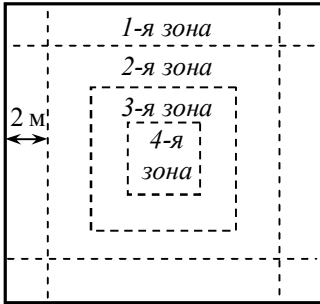


Рис.3.1

Для полов на грунте либо на основании, изготовленном из материалов с коэффициентом теплопроводности  $\lambda > 1,2$  Вт/(м<sup>°С</sup>), сопротивление теплопередаче зон принимают равными:

$$R_{1з} = 2,1 \text{ м}^2\text{°С/Вт}; R_{2з} = 4,3 \text{ м}^2\text{°С/Вт};$$

$$R_{3з} = 8,6 \text{ м}^2\text{°С/Вт}; R_{4з} = 14,2 \text{ м}^2\text{°С/Вт}.$$

Сопротивление теплопередаче каждой зоны слоистого пола из материалов с  $\lambda_{уп} < 1,2$  Вт/(м<sup>°С</sup>) увеличивается на величину сопротивления теплопередаче слоев.

Укладка деревянного пола на лагах дополнительно увеличивает сопротивление теплопередаче на 18 %.

В итоге сопротивление теплопередаче каждой двухметровой зоны деревянного пола на лагах с утеплителем рассчитывается по формуле:

$$R_{из.у} = 1,18(R_{из} + \delta_{уп}^{пол}/\lambda_{уп}^{пол} + \delta_{др}/\lambda_{др}). \quad (3.3)$$

где  $\delta_{др}, \lambda_{др}$  – толщина, м и коэффициентом теплопроводности, Вт/(м<sup>°С</sup>) древесины;  $\delta_{уп}^{пол}, \lambda_{уп}^{пол}$  – толщина, м и коэффициент теплопроводности утеплителя пола Вт/(м<sup>°С</sup>).

Сопротивление теплопередаче пола в целом определится по формуле:

$$R_{0.пр}^{пол} = (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) / (F_1/R_{1з.у} + F_2/R_{2з.у} + F_3/R_{3з.у} + F_4/R_{4з.у}). \quad (3.4)$$

Поскольку толщину утеплителя  $\delta_{уп}^{пол}$  из формулы (3.4) в явном виде определить невозможно, задача по ее определению решается методом последовательных приближений.

1. Пол разбивается на двухметровые зоны, определяется их площадь по вышеописанной методике.

2. Задается толщина утеплителя (например, 0,05 м). По формулам (3.3), (3.4) рассчитывается сопротивление  $R_{0,пр}^{пол}$ .

3. Сравнивается рассчитанное значение  $R_{0,пр}^{пол}$  с нормируемым значением  $R_{0,норм}^{пол}$  из табл. 2.1.

Если рассчитанное значение меньше нормируемого, увеличивают толщину утеплителя (например, на 50%) и вновь рассчитывают по формулам (3.3), (3.4) сопротивление теплопередаче.

Если рассчитанное значение больше нормируемого, уменьшают толщину слоя утеплителя (например, на 25 %) и вновь рассчитывают по формулам (3.3), (3.4) сопротивление теплопередаче.

3. Процесс подбора толщины слоя утеплителя продолжают до тех пор, пока рассчитанное значение сопротивления теплопередаче пола будет превышать нормируемое значение не более чем на 5 %.

#### **Пример расчета.**

В помещении размером 8х6 м установлен деревянный пол на лагах по бетонному основанию с утеплением минплитой. Толщина половой рейки  $\delta_{др} = 32$  мм,  $\lambda_{др} = 0,18$  Вт/(м°С). Толщина утеплителя  $\delta_{уп}^{пол} = 75$  мм,  $\lambda_{уп}^{пол} = 0,042$  Вт/(м°С).

Определить приведенное сопротивление теплопередаче.

Решение:

а) разбиваем площадь пола на двухметровые зоны:

$$F_1 = 2 \times 8 \times 2 + 2 \times 6 \times 2 = 56 \text{ м}^2, \quad F_2 = 2 \times 4 = 8 \text{ м}^2, \quad F_3 = F_4 = 0.$$

Третья и четвертая зоны отсутствуют;

б) вычисляем сопротивление теплопередаче зон (3.3):

$$R_{13,y} = 1,18(2,1 + 0,032/0,18 + 0,075/0,042) = 4,79 \text{ м}^2\text{°С/Вт},$$

$$R_{23,y} = 1,18(4,3 + 0,032/0,18 + 0,075/0,042) = 7,39 \text{ м}^2\text{°С/Вт};$$

в) определяем приведенное сопротивление пола (3.4):

$$R_{0,пр}^{пол} = (56 + 8)/(56/4,79 + 8/7,39) = 5,01 \text{ м}^2\text{°С/Вт}.$$

### 3.3. Расчет толщины утеплителя чердачного перекрытия

Расчет чердачного перекрытия начинают с определения сопротивления теплопередаче  $R_{0,пр}^{пл}$  железобетонной пустотной плиты в следующей последовательности.

1. Заменяют круглое сечение пустот плиты на квадратное сечение, эквивалентное по площади, рис. 3.2.

Плоскостями, параллельными тепловому потоку (рис. 3.2а), плиту разделим на два чередующихся участка. Первый трехслойный шириной  $\delta_1$  по направлению теплового потока состоит из двух слоев бетона и воздушной прослойки. Второй участок однородный, бетонный шириной  $\delta_2$ .

Плоскостями, перпендикулярными тепловому потоку, (рис 3.2б), плиту разделяют на три слоя. Третий и пятый слои – однородны, бетонные толщиной  $\delta_3$  и  $\delta_5$ . Четвертый слой толщиной  $\delta_4$  состоит из чередующихся участков воздушной прослойки и бетона.

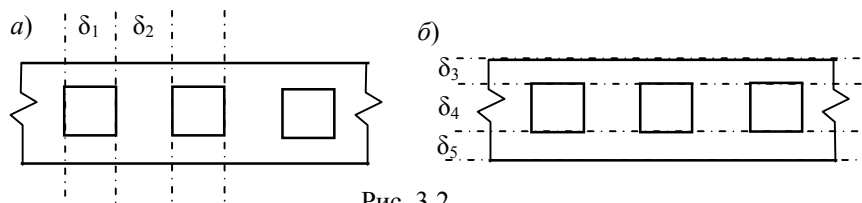


Рис. 3.2

Используя значения толщины плиты  $\delta_{пл}$ , м, расстояния между центрами пустот  $\delta_{цен}$ , м, диаметры пустот  $d$ , м (рис. 1.3), определяем значения величин  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$ ,  $\delta_4$ ,  $\delta_5$ , м:

$$\delta_1 = 0,886d; \quad \delta_2 = \delta_{цен} - \delta_1; \quad \delta_3 = \delta_5 = (\delta_{пл} - \delta_1)/2; \quad \delta_4 = \delta_1. \quad (3.5)$$

Определяем сопротивление теплопередаче первого и второго участков по формулам:

$$R_1 = \delta_3/\lambda_{\beta} + R_{в.п} + \delta_5/\lambda_{\beta}, \quad R_2 = \delta_{пл}/\lambda_{\beta}, \quad (3.6)$$

где  $\lambda_{\beta}$  – коэффициент теплопроводности бетона;  $R_{в.п}$  – сопротивление теплопередаче воздушной прослойки, табл. П.7.

Определяем сопротивление теплопередаче плиты для варианта разбиения а) по формуле:

$$R_{\parallel} = (\delta_1 + \delta_2)/(\delta_1/R_1 + \delta_2/R_2). \quad (3.7)$$

Определяем сопротивление теплопередаче слоев 3, 4, 5 по формулам:

$$R_3 = \delta_3/\lambda_3, R_4 = \delta_4/\lambda_4, R_5 = \delta_5/\lambda_5, R_6 = \delta_6/\lambda_6, R_4 = (\delta_1 + \delta_2)/(\delta_1/R_{в.п} + \delta_2/R_6), R_5 = \delta_5/\lambda_6. \quad (3.8)$$

Определяем сопротивление теплопередаче плиты для варианта разбиения б) по формуле:

$$R_{\perp} = R_3 + R_4 + R_5. \quad (3.9)$$

Окончательно сопротивление пустотной плиты определяем по формуле:

$$R_{0.пр}^{пп} = (R_{\parallel} + 2R_{\perp})/3. \quad (3.10)$$

2. Определяется сопротивление теплопередаче слоистой конструкции чердачного перекрытия  $R_{0.пр}^{чер}$  без утеплителя:

$$R_{0.пр}^{чер} = 1/\alpha_{в} + \delta_{ш1}/\lambda_{ш1} + R_{0.пр}^{пп} + \delta_{р}/\lambda_{р} + \delta_{ш2}/\lambda_{ш2} + 1/\alpha_{н}, \quad (3.11)$$

где  $\delta_{ш1}$ ,  $\lambda_{ш1}$  – толщина и коэффициент теплопроводности внутреннего слоя штукатурки;  $R_{0.пр}^{пп}$  – приведенное сопротивление пустотной плиты перекрытия;  $\delta_{р}$ ,  $\lambda_{р}$  – толщина и коэффициент теплопроводности слоя пароизоляции;  $\delta_{ш2}$ ,  $\lambda_{ш2}$  – толщина и коэффициент теплопроводности наружной стяжки;  $\alpha_{н}$  – по табл. П.5 для чердака.

3. Вычисляется толщина слоя утеплителя  $\delta_{ут}^{чер}$  по формуле, м:

$$\delta_{ут}^{чер} = \lambda_{ут}^{чер} (R_0^{нор.чер} - R_{0.пр}^{чер}), \quad (3.12)$$

где  $\lambda_{ут}^{чер}$  – коэффициент теплопроводности материала утеплителя чердачного перекрытия, Вт/(м°С),  $R_0^{нор.чер}$  – нормируемое сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия, м<sup>2</sup>°С/Вт, табл. 2.1.

Результаты расчета раздела 3 оформляются в виде табл. 3.1.

Таблица 3.1

| Толщина утеплителя $\delta_{ут}$ , м |                |                      |                 |
|--------------------------------------|----------------|----------------------|-----------------|
| Фрагмент ограждения                  | Наружная стена | Чердачное перекрытие | Перекрытие пола |
| $\delta_{ут}$ , м                    |                |                      |                 |

**Пример расчета.** Железобетонная пустотная плита имеет следующие параметры: толщина  $\delta_{пл} = 200$  мм, диаметр пустот  $d = 100$  мм, расстояние между центрами  $\delta_{цен} = 180$  мм, коэффициент теплопроводности бетона  $2,0$  Вт/м<sup>0</sup>С. Сопротивление теплопередаче воздушной прослойки  $R_{в.п} = 0,15$  м<sup>2</sup>0С/Вт.

Определить сопротивление теплопередаче.

Решение:

а) определяем по формулам (3.5) толщину слоев:

$$\delta_1 = \delta_4 = 0,089 \text{ м}; \quad \delta_2 = 0,091 \text{ м}; \quad \delta_3 = \delta_5 = 0,056 \text{ м};$$

б) по формулам (3.6) определяем величины  $R_1$  и  $R_2$ , м<sup>2</sup>0С/Вт:

$$R_1 = 0,056/2,0 + 0,15 + 0,056/2,0 = 0,206; \quad R_2 = 0,2/2,0 = 0,1.$$

в) по формуле (3.7) вычисляем  $R_{||}$ , м<sup>2</sup>0С/Вт:

$$R_{||} = (0,089 + 0,091)/(0,089/0,206 + 0,091/0,1) = 0,134.$$

г) по формулам (3.8) вычисляем величины  $R_3, R_4, R_5$ , м<sup>2</sup>0С/Вт:

$$R_3 = R_5 = 0,056/2,0 = 0,028; \quad R_6 = 0,089/2,0 = 0,0445;$$

$$R_4 = (0,089 + 0,091)/(0,089/0,15 + 0,091/0,0445) = 0,068.$$

д) по формуле (3.9) вычисляем  $R_{\perp}$ , м<sup>2</sup>0С/Вт:

$$R_{\perp} = 0,028 + 0,068 + 0,028 = 0,124.$$

е) вычисляем сопротивление плиты по (3.10)

$$R_{0,пр}^{мп} = (0,134 + 2 \times 0,124)/3 = 0,127 \text{ м}^2\text{0С/Вт}.$$

Для сравнения вычисляем сопротивление теплопередаче  $R_0^{сп}$  сплошной бетонной плиты толщиной 200 мм:

$$R_0^{сп} = 0,2/2,0 = 0,1 \text{ м}^2\text{0С/Вт}.$$

Наличие пустот увеличило сопротивление теплопередаче на 27%.



## 4. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЯ

Показатели тепловой защиты здания приведены в разделе 2: приведенное сопротивление теплопередаче элементов ограждения; удельная теплозащитная характеристика здания; температура на внутренней поверхности ограждений.

### 4.1. Приведенное сопротивление теплопередаче

1. В курсовой работе приведенное сопротивление теплопередаче непрозрачных элементов ограждения (стены, пол, потолок, входные двери) с учетом утепления (раздел 3) принимается равным нормативному значению табл. 2.1,

$$R_{0,пр}^i = R_0^{нор.i}. \quad (4.1)$$

2. Для определения сопротивления теплопередаче заполнений оконных проемом выбирается конструкция окна по табл. П.8 с тепловым сопротивлением не менее нормируемого значения табл. 2.1. Тепловое сопротивление выбранной конструкции и принимается за приведенное сопротивление теплопередаче оконных проемов.

### 4.2. Удельная теплозащитная характеристика здания

Удельная теплозащитная характеристика оболочки здания  $k_{об}$  рассчитывается по формуле, Вт/(м<sup>30</sup>С):

$$k_{об} = \frac{\sum_{i=1}^5 (F_i/R_{0,пр}^i)}{V_{от}} = K_{комп} K_{общ}, \quad (4.2)$$

где суммирование по  $i$  проводится по фрагментам ограждения здания, образующим замкнутую оболочку;  $F_i$  – площадь фрагмента, м<sup>2</sup>;  $R_{0,пр}^i$  – приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента;  $V_{от}$  – отапливаемый объем здания, м<sup>3</sup>.

Коэффициент  $K_{общ}$  называют общим коэффициентом теплопередачи здания и определяют по формуле, Вт/(м<sup>20</sup>С):

$$K_{общ} = \frac{\sum_{i=1}^5 (F_i/R_{0,пр}^i)}{F_{сум}}, \quad (4.3)$$

где  $F_{сум}$  – сумма площадей (по внутреннему обмеру) всех фрагментов теплозащитной оболочки здания.

Коэффициент  $K_{\text{комп}}$  называют коэффициентом компактности здания и определяют по формуле,  $\text{м}^{-1}$ :

$$K_{\text{комп}} = F_{\text{сум}}/V_{\text{от}}. \quad (4.4)$$

1. Вычисляется суммарная площадь отдельных фрагментов ограждения здания в соответствии с выбранным вариантом для курсовой работы. Результаты расчетов в расчетно-пояснительной записке оформляются в виде табл. 4.1

Таблица 4.1

Результаты теплотехнических расчетов

| № п.п | Фрагмент ограждения        | Площадь $F, \text{м}^2$ | $R_{0,\text{пр}}^i, \text{м}^2\text{°C/Вт}$ |
|-------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|
| 1     | Наружная стена             |                         |                                             |
| 2     | Входная дверь              |                         |                                             |
| 3     | Заполнение оконного проема |                         |                                             |
| 4     | Пол                        |                         |                                             |
| 5     | Чердачное перекрытие       |                         |                                             |

2. По данным табл. 4.1 и формулам (4.2), (4.3), (4.4) рассчитывается удельная теплозащитная характеристика  $k_{\text{об}}$ , общий коэффициент теплопередачи здания  $K_{\text{общ}}$  и коэффициент компактности здания  $K_{\text{ком}}$ .

В отчете результаты расчета оформляются в виде:

$$k_{\text{об}} = \text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C}); K_{\text{общ}} = \text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C}); K_{\text{ком}} = \text{м}^{-1}. \quad (4.5)$$

3. Сравнивают рассчитанное и нормируемое (2.5) значение удельной теплозащитной характеристики здания. Рассчитанное значение должно быть не больше нормируемого. В противном случае анализируют вклады отдельных фрагментов, выявляют фрагмент с наибольшим вкладом и предлагают варианты его утепления.

### 4.3. Расчет температуры внутренней поверхности ограждений

Расчет температуры внутренней поверхности ограждений проводится для расчетной температуры наружного воздуха  $t_n$  равной температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92, табл. 1.1.

Температура внутри помещения принимается равной расчетной температуре  $t_b$ , относительная влажность для жилых помещений  $\phi = 55\%$ , кухонь  $60\%$ .

Температура внутренней поверхности непрозрачных ограждений должна быть не ниже температуры точки росы, табл. 2.2.

Температура внутренней поверхности окна должна быть не ниже  $3\text{ }^\circ\text{C}$ .

1. Рассчитывается температура  $t_{\text{п}}$  отдельно на глади стены, пола, чердачного перекрытия, окна по формуле,  $^\circ\text{C}$ :

$$t_{\text{п}}^i = t_b - (t_b - t_n)/(R_{0,\text{пр}}^i \alpha_b^i), \quad (4.6)$$

где  $i$  – индекс фрагмента оболочки здания.

2. Температура в наружном угле определяется по формуле,  $^\circ\text{C}$ :

$$t_y = t_{\text{п}}^{\text{CT}} - 0,205(t_b - t_n)/(1 + 0,526R_0^{\text{CT}}), \quad (4.7)$$

где  $t_{\text{п}}^{\text{CT}}$  – температура на глади стены по (4.6);  $R_{0,\text{пр}}^{\text{CT}}$  – сопротивление теплопередаче глади стены.

Результаты расчета оформляются в виде табл. 4.2.

Таблица 4.2

Температура поверхности фрагментов ограждения

| Фрагмент ограждения                       | Наружная стена | Пол | Чердачное перекрытие | Наружный угол | Заполнение окна |
|-------------------------------------------|----------------|-----|----------------------|---------------|-----------------|
| $t_{\text{п}},\text{ }^\circ\text{C}$     |                |     |                      |               |                 |
| $t_{\text{т.п.2}},\text{ }^\circ\text{C}$ |                |     |                      |               |                 |

4. Анализируются результаты расчета, делается вывод о возможности образования конденсата на поверхности ограждений.

## 5. РАСЧЕТ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ОГРАЖДЕНИЙ

Воздухопроницаемость ограждений определяется сопротивлением воздухопроницанию материалов  $R_B$  из которых состоит фрагмент ограждения, и разностью давления воздуха  $\Delta p$  на наружной и внутренней поверхностях.

Нормируемые значения  $j_{B, \text{нор}}$  приведены в табл. П. 9.

Разность давления воздуха на наружной и внутренней поверхности ограждений определяется по формуле, Па:

$$\Delta p = 0,55 H_p g (\rho_n - \rho_v) + 0,33 \rho_n v^2, \quad (5.1)$$

где  $H_p$  – расчетная высота здания (от поверхности земли до верха карниза), м;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  ускорение силы тяжести земли;  $\rho_n, \rho_v$  – плотность соответственно наружного и внутреннего воздуха,  $\text{кг/м}^3$ , определяемая по формулам:

$$\rho_n = 353/(273 + t_n); \quad \rho_v = 353/(273 + t_v); \quad (5.2)$$

$v$  – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, определяемая по табл. 1.1.

Требуемое сопротивление воздухопроницанию *непрозрачных* ограждения  $R_B^{\text{тп}}$ , рассчитанного по формуле,  $\text{м}^2 \text{чПа/кг}$ :

$$R_B^{\text{тп}} = \Delta p / j_{B, \text{нор}}. \quad (5.3)$$

Для окон и балконных дверей требуемое сопротивление воздухопроницанию жилых и общественных зданий определяется по формуле,  $\text{м}^2 \text{чПа/кг}$ :

$$R_B^{\text{тп}} = (\Delta p / \Delta p_0)^{2/3} / j_{B, \text{нор}}, \quad (5.4)$$

где  $\Delta p_0 = 10 \text{ Па}$  - разность давления воздуха, при которой определяется сопротивление воздухопроницанию.

Фактическое сопротивление воздухопроницанию  $R_B^{\text{фак}}$  ограждений должно быть не менее требуемого сопротивления.

Для окон и балконных дверей фактическое сопротивление воздухопроницанию является паспортной характеристикой и определяется при разработке конструкции.

Для непрозрачных ограждений фактическое сопротивление воздухопроницанию определяется по формуле,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ :

$$R_{\text{в}}^{\text{фак}} = \sum_i R_{\text{в},i}^{\text{фак}}, \quad (5.5)$$

где  $R_{\text{в},i}^{\text{фак}}$  – фактическое сопротивление воздухопроницанию  $i$ -го слоя ограждения. Если толщина слоя ограждения близка к толщине, приведенной в табл. П.10, за фактическое значение сопротивления принимается значение  $R_{\text{в}}$  из табл. П.10. В противном случае производится перерасчет по формуле:

$$R_{\text{в},i}^{\text{фак}} = R_{\text{в}} \delta_{\text{фак}} / \delta, \quad (5.6)$$

где  $\delta_{\text{фак}}$  – фактическая толщина слоя материала, мм;  $\delta$  – толщина слоя из табл. П.10, мм.

1. По формулам (5.1), и (5.2) определяется разность давления наружного и внутреннего воздуха  $\Delta p$ .

2. По формуле (5.4) определяется требуемое сопротивление воздухопроницанию окон. Полученное значение принимается за фактическое  $R_{\text{в},\text{ок}}^{\text{фак}}$ .

Рассчитывается количество воздуха, инфильтрующегося в помещение через окна,  $G_{\text{ок}}$ , кг/ч:

$$G_{\text{ок}} = F_{\text{ок}} j_{\text{в},\text{нор.ок}}, \quad (5.7)$$

где  $F_{\text{ок}}$  – площадь окон,  $\text{м}^2$ ;  $j_{\text{в},\text{нор.ок}}$  – нормативная воздухопроницаемость окна,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , табл. П.9.

3. По формуле (5.3) рассчитывается требуемое значение сопротивления воздухопроницанию наружной стены  $R_{\text{в},\text{ст}}^{\text{тр}}$ .

По формулам (5.5), (5.6) рассчитывается фактическое сопротивление воздухопроницанию  $R_{\text{в},\text{ст}}^{\text{фак}}$  наружной стены здания в соответствии с выбранным вариантом. Полученное значение сравнивается с требуемым значением  $R_{\text{в},\text{ст}}^{\text{тр}}$ .

Рассчитывается количество воздуха, инфильтрующегося в помещение через стены,  $G_{\text{ст}}$ , кг/ч:

$$G_{\text{ст}} = F_{\text{ст}} \Delta p / R_{\text{в},\text{ст}}^{\text{фак}}, \quad (5.8)$$

где  $F_{\text{ст}}$  – площадь наружных стен,  $\text{м}^2$ .

## 6. РАСЧЕТ ПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ ОГРАЖДЕНИЙ

В зимнее время температура наружного воздуха значительно ниже температуры внутреннего воздуха для отапливаемых помещений. Поскольку относительные влажности наружного воздуха и внутреннего обычно близки, то оказывается, что парциальное давление водяного пара внутри помещения больше, чем парциальное давление пара снаружи. Разность может достигать 1000 Па и более.

Разность величин парциальных давлений пара с одной и другой стороны ограждения вызывает поток пара через ограждение.

По аналогии с теплопроводностью для плотности потока водяного пара через фрагмент ограждения  $j_{п}$ , мг/(м<sup>2</sup>ч), записывают:

$$j_{п} = (e_{в} - e_{н})/R_{п0}, \quad (6.1)$$

где  $R_{п0}$  – сопротивление паропрооницанию ограждения, м<sup>2</sup>чПа/мг;  $e_{в}$ ,  $e_{н}$  – парциальное давление пара внутри и снаружи помещения, Па.

Сопротивление паропрооницанию многослойного ограждения равно сумме сопротивлений отдельных слоев:

$$R_{п0} = \sum_i R_{пi}, \quad (6.2)$$

где  $R_{пi}$  – сопротивление паропрооницанию отдельного слоя. Сопротивлением влагообмену у внутренней и наружной поверхности ограждения можно пренебречь.

Сопротивление паропрооницанию слоя материала  $R_{пi}$  определяют по формуле, м<sup>2</sup>чПа/мг

$$R_{пi} = \delta_i/\mu_i. \quad (6.3)$$

где  $\delta_i$  – толщина слоя, м;  $\mu_i$  – коэффициент паропрооницаемости материала, мг/(мчПа), табл. П.1.

Парциальное давление пара внутри  $e_{в}$  и снаружи  $e_{н}$  помещения определяется по формулам, Па:

$$e_{в} = \varphi_{в}E_{в}/100, \quad e_{н} = \varphi_{н}E_{н}/100, \quad (6.4)$$

где  $\varphi_{в}$ ,  $\varphi_{н}$  – расчетная относительная влажность воздуха внутри и снаружи помещения в %.

$E_v$ ,  $E_n$  – давление насыщенного пара внутри и снаружи помещения, рассчитывается по формуле, Па:

$$E = 1,84 \times 10^{11} \exp[-5330/(273 + t)], \quad (6.5)$$

где  $t$  – расчетная температура воздуха внутри или снаружи помещения, °С.

В соответствии с СП 50.13330.2012 расчет паропроницаемости ограждения включает:

- определение положения в ограждении плоскости максимального увлажнения;
- проверка условия недопустимости накопления влаги в ограждении за годовой период эксплуатации;
- проверка условия ограничения накопления влаги в ограждении за период с отрицательными температурами наружного воздуха.

### **6.1. Определение плоскости максимального увлажнения**

Методика определения положения в ограждении плоскости максимального увлажнения для периода с отрицательными наружными температурами приведена в СП 50.13330.2012.

В курсовой работе следует воспользоваться упрощенным методом, изложенным ниже.

1. По табл. П.2 определяется расчетная температура  $t_v$  внутри помещения, как минимальная из оптимальных, относительная влажность принимается равной 55%,  $\varphi_v = 55$ .

По формуле (6.5) рассчитывается давление насыщенного пара в помещении  $E_v$ , по формуле (6.4) определяется парциальное давление пара  $e_v$ .

2. За расчетную температуру наружного воздуха  $t_n$  принимают среднюю температуру наиболее холодного месяца, табл. П.11. По табл. П.12 определяют среднее парциальное давление наиболее холодного месяца  $e_n$ .

По формуле (6.5) рассчитывают давление насыщенного пара  $E_n$ , по формуле (6.4) определяют относительную влажность  $\varphi_n$ .

3. Определяют температуру на внутренней поверхности ограждения, на границе слоев и на наружной поверхности по формуле, °C:

$$t_x = t_B - (t_B - t_n)R_0^x/R_0^{\text{нор}}, \quad (6.6)$$

где  $x$  – координата рассматриваемой точки, м;  $R_0^x$  – сопротивление теплопередаче всех слоев ограждения от внутреннего слоя до слоя с координатой  $x$ ;  $R_0^{\text{нор}}$  – нормируемое сопротивление теплопередаче наружной стены, табл. 2.1.

Сопротивление теплопередаче  $R_0^x$  для четырехслойного ограждения определяется следующим образом:

- внутренняя поверхность ограждения:

$$x_0 = 0; R_0^0 = 1/\alpha_B;$$

- граница первого и второго слоя:

$$x_1 = \delta_1; R_0^1 = 1/\alpha_B + \delta_1/\lambda_1;$$

- граница второго и третьего слоя:

$$x_2 = \delta_1 + \delta_2; R_0^2 = 1/\alpha_B + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2;$$

- граница третьего и четвертого слоя:

$$x_3 = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3; R_0^3 = 1/\alpha_B + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3;$$

- наружная поверхность ограждения:

$$x_4 = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4; R_0^4 = 1/\alpha_B + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3 + \delta_4/\lambda_4.$$

4. По формулам (6.2), (6.3) определяется сопротивление паропрооницанию всего ограждения  $R_{п0}$ .

Определяется парциальное давление пара  $e_x$  на границе слоев по формуле, Па:

$$e_x = e_B - (e_B - e_n)R_{п}^x/R_{п0}, \quad (6.7)$$

где  $R_{п}^x$  – сопротивление паропрооницанию всех слоев от внутреннего слоя до слоя с координатой  $x$ .

Сопротивление паропрооницанию  $R_{п}^x$  для четырехслойного ограждения определяется следующим образом:



- внутренняя поверхность ограждения:

$$x_0 = 0; R_{\Pi}^0 = 0;$$

- граница первого и второго слоя:

$$x_1 = \delta_1; R_{\Pi}^1 = \delta_1/\mu_1;$$

- граница второго и третьего слоя:

$$x_2 = \delta_1 + \delta_2; R_{\Pi}^2 = \delta_1/\mu_1 + \delta_2/\mu_2;$$

- граница третьего и четвертого слоя:

$$x_3 = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3; R_{\Pi}^3 = \delta_1/\mu_1 + \delta_2/\mu_2 + \delta_3/\mu_3;$$

- наружная поверхность ограждения:

$$x_4 = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4; R_{\Pi}^4 = \delta_1/\mu_1 + \delta_2/\mu_2 + \delta_3/\mu_3 + \delta_4/\mu_4.$$

5. По рассчитанным значениям температуры  $t_x$  по формуле (6.5) вычисляется давление насыщенного пара  $E_x$  на поверхностях ограждения и границе слоев.

6. Результаты расчета оформляются в виде табл. 6.1.

Таблица 6.1

Результаты расчета

|             | Внутри | $x_0 = 0$ | $x_1 =$ | $x_2 =$ | $x_3 =$ | $x_4 =$ | Снару-<br>жи |
|-------------|--------|-----------|---------|---------|---------|---------|--------------|
| $R_0^x$     | -      |           |         |         |         |         | -            |
| $t_x$       |        |           |         |         |         |         |              |
| $E_x$       |        |           |         |         |         |         |              |
| $R_{\Pi}^x$ | -      |           |         |         |         |         | -            |
| $e_x$       |        |           |         |         |         |         |              |

7. По значениям из табл. 6.1 на *миллиметровой* бумаге формата А4 строится график распределения температур, парциального давления и давления насыщенного пара по толщине ограждения, схема графика приведена на рис. 6.1.

Начало координат  $x = 0$  помещается на внутренней поверхности ограждения. На координатной оси  $0-x$  последовательно в масштабе откладываются толщины слоев ограждения, их границы помечаются вертикальными штриховыми линиями ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ ).

На вертикальной координатной оси наносится шкала для парциального давления  $e$  и давления насыщенного пара в интервале от 0 до 2500 Па.

В построенных координатах наносятся значения парциального давления и давления насыщенного пара из табл. 6.1, полученные точки соединяются ломаной линией.

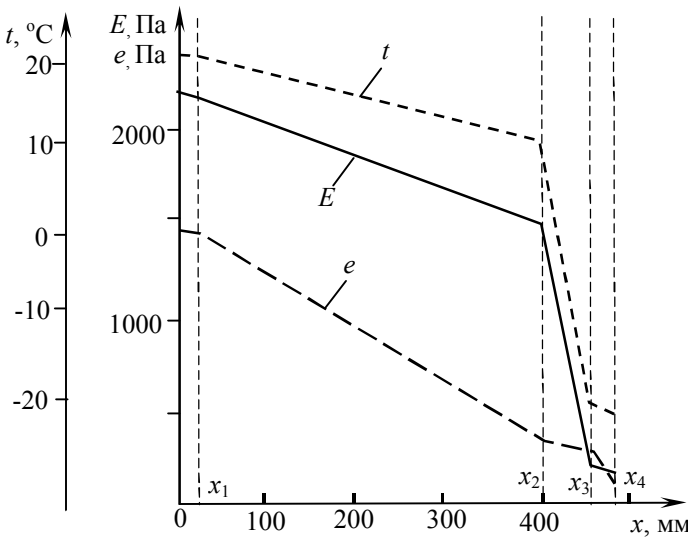


Рис. 6.1. Схема определения положения в ограждении плоскости максимального увлажнения

Слева от шкалы давления строят шкалу температуры в интервале от -20 до 20 °С, и строят аналогичный график распределения температуры по сечению ограждения.

Визуально по графику определяется плоскость, в которой разность  $(E - e)$  отрицательна либо имеет минимальное значение. Эту плоскость принимают за плоскость максимального увлажнения.

Для стен с утеплителем эта плоскость обычно лежит вблизи внешней границы утеплителя. Поэтому в курсовой работе за плоскость максимального увлажнения следует принять внешнюю границу утеплителя с координатой  $x_3$ .

За величину сопротивления паропроницанию слоя ограждения от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения  $R_{п.в}$  принимается величина  $R_{п.3}$ . За величину сопротивления паропроницанию от плоскости максимального увлажнения до внешней поверхности  $R_{п.н}$  принимается значение  $\delta_4/\mu_4$ .

$$R_{п.в} = \delta_1/\mu_1 + \delta_2/\mu_2 + \delta_3/\mu_3; \quad R_{п.н} = \delta_4/\mu_4. \quad (6.8)$$

## 6.2. Проверка условия не накопления влаги за годовой период

Для защиты от переувлажнения ограждения за годовой период эксплуатации необходимо, чтобы сопротивление паропроницанию слоев ограждения от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения  $R_{п.в}$  было не менее требуемого сопротивления паропроницанию  $R_{п.п}^{тп}$ , определяемого по формуле:

$$R_{п.п}^{тп} = R_{п.н} (e_v - E_{г}) / (E_{г} - e_{н.г}), \quad (6.9)$$

где  $R_{п.н}$  - сопротивление паропроницанию от плоскости максимального увлажнения до наружной поверхности, формула (6.8),  $e_v$  - парциальное давление пара внутри помещения,  $e_{н.г}$  - среднее парциальное давление пара наружного воздуха за годовой период, Па,  $E_{г}$  - давление насыщенного пара в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации, Па.

Величина  $E_{г}$  определяется по формуле:

$$E_{г} = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3) / 12, \quad (6.10)$$

где  $E_1, E_2, E_3$  - давление насыщенного пара в плоскости максимального увлажнения соответственно зимнего, весенне-осеннего, летнего периодов при средней температуре наружного воздуха соответствующего периода;  $z_1, z_2, z_3$  - продолжительность соответственно зимнего, весенне-осеннего, летнего периодов, целочисленных месяцев.

К зимнему периоду относятся месяцы со средней температурой ниже минус  $5^{\circ}\text{C}$ ; к весенне-осеннему со средней температурой от минус  $5^{\circ}\text{C}$  до плюс  $5^{\circ}\text{C}$ ; к летнему со средней температурой более плюс  $5^{\circ}\text{C}$ .

1. По табл. П.11 определяем количество зимних, весенне-осенних, летних месяцев:  $z_1, z_2, z_3$ .

2. По данным табл. П.11 определяем среднюю температуру наружного воздуха для зимнего, весенне-осеннего, летнего периода:  $t_{н.1}, t_{н.2}, t_{н.3}$ , как среднеарифметическое значение от среднемесячных температур соответствующего периода.

3. По формуле (6.6) вычисляем температуры  $t_1, t_2, t_3$  в плоскости максимального увлажнения ( $x_3$ ) для каждого периода года, используя в качестве наружной температуры  $t_n$  средние температуры соответствующего периода года  $t_{н.1}, t_{н.2}, t_{н.3}$ .

При определении температуры  $t_3$  для летнего периода в качестве расчетной температуры внутреннего воздуха  $t_v$  используют максимальное значение из оптимальных для теплого периода, табл. П.2.

Таблица 6.2

Результаты расчета

| Величина                                   | Период года |                 |        |
|--------------------------------------------|-------------|-----------------|--------|
|                                            | Зимний      | Весенне-осенний | Летний |
| $t_v, ^\circ\text{C}$ (внутри)             |             |                 |        |
| $z_i$ , мес.                               |             |                 |        |
| $t_{н.i}, ^\circ\text{C}$ (снаружи)        |             |                 |        |
| $t_i, ^\circ\text{C}$ (в плоскости)        |             |                 |        |
| $E_i$ , Па (в плоскости)                   |             |                 |        |
| $E_\Gamma$ , Па                            |             |                 |        |
| $e_{н.г}$ , Па                             |             |                 |        |
| $R_{п.л}^{тп}$ , $\text{м}^2\text{чПа/мг}$ |             |                 |        |
| $R_{п.в}$ , $\text{м}^2\text{чПа/мг}$      |             |                 |        |

4. По формуле (6.5) по значениям температур  $t_1, t_2, t_3$  вычисляем значение давления насыщенного пара в плоскости максимального увлажнения соответственно зимнего, весенне-осеннего, летнего периодов  $E_1, E_2, E_3$ .

5. По формуле (6.10) вычисляется величина среднегодового давления насыщенного пара в плоскости максимального увлажнения  $E_{\Gamma}$ .

6. По табл. П.12 (столбец 14) определяется среднее парциальное давление пара наружного воздуха за год  $e_{н.г.}$ .

7. По формуле (6.9) рассчитывается требуемое сопротивление паропрооницанию  $R_{п1}^{TP}$ . Полученное значение сравнивается с  $R_{п.в.}$ . Делается вывод о возможности накопления влаги утеплителем в течение года. Результаты расчета оформляются в виде табл. 6.2.

### **6.3. Проверка условия ограничения накопления влаги за период с отрицательными наружными температурами**

В период года с отрицательными температурами происходит накопление влаги в плоскости максимального увлажнения. Это приводит к увеличению влажности материала, в котором расположена плоскость, в частности материала утеплителя. Для каждого материала существует предельно допустимое, безопасное для эксплуатации ограждения приращение влажности  $\Delta w$ , табл. П.13.

Для того чтобы приращение увлажнения материала в плоскости увлажнения не превысило максимального значения  $\Delta w$ , необходимо, чтобы сопротивление паропрооницанию  $R_{п.в.}$  слоя материала от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения было не менее требуемого значения  $R_{п2}^{TP}$ , определяемого по формуле:

$$R_{п2}^{TP} = 0,0024z_0(e_{в} - E_0)/(\rho_w\delta_w\Delta w + \eta), \quad (6.11)$$

где  $z_0$  – продолжительность периода влагонакопления, сут, равная периоду года с отрицательными среднемесячными температурами воздуха;  $E_0$  – давление насыщенного пара в плоскости максимального увлажнения при средней температуре периода с отрицательными среднемесячными температурами;  $\rho_w$ ,  $\delta_w$ ,  $\Delta w$  – плотность,  $\text{кг/м}^3$ , толщина, м, и предельно допустимое приращение влажности увлажняемого слоя, %.

Величина  $\eta$  в (6.11) определяется по формуле, кг/м<sup>2</sup>:

$$\eta = 0,0024z_0(E_0 - e_{н.отр})/R_{п.н}, \quad (6.12)$$

где  $e_{н.отр}$  – среднее парциальное давление за период с отрицательными среднемесячными температурами, Па.

1. По табл. П.11 определяются месяцы с отрицательными среднемесячными температурами. Определяется продолжительность этих месяцев в сутках  $z_0$ .

2. Определяется средняя температура периода с отрицательными среднемесячными температурами  $t_{н.0}$ , как среднеарифметическое по числу месяцев.

3. По формуле (6.6) рассчитывается температура в плоскости максимального увлажнения для температуры  $t_{н.0}$ .

4. По формуле (6.5) рассчитывается давление насыщенного пара в плоскости максимального увлажнения  $E_0$ .

5. По табл. П.12 определяется парциальное давление наружного воздуха  $e_{н.отр}$ , как среднеарифметическое по числу месяцев от среднемесячного парциального давления месяцев с отрицательными температурами.

6. По формуле (6.12) вычисляется значение величины  $\eta$ .

7. Определяются для утеплителя: по табл. П.1 плотность  $\rho_w$ , кг/м<sup>3</sup>; по табл. П.13 предельно допустимое увлажнение  $\Delta w$ , %; по результатам расчета в разделе 2 толщина слоя  $\delta_w$ , м.

8. По формуле (6.11) рассчитывается требуемое сопротивление паропрооницанию  $R_{п2}^{тп}$ . Полученное значение сравнивается с  $R_{п.в}$ . Делается вывод о возможности накопления влаги утеплителем в течение периода с отрицательными среднемесячными температурами.

Результаты расчета оформляются в виде табл. 6.3

Таблица 6.3

Результаты расчета

| $z_0$ ,<br>сут | $t_{н.0}$ ,<br>°С | $E_0$ ,<br>Па | $e_{н.отр}$ ,<br>Па | $\eta$ ,<br>кг/м <sup>2</sup> | $\rho_w$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $\Delta w$ ,<br>% | $\delta_w$ ,<br>м | $R_{п2}^{тп}$ ,<br>м <sup>2</sup> чПа/мг |
|----------------|-------------------|---------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------------|
|                |                   |               |                     |                               |                                 |                   |                   |                                          |

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Тихомиров К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: Учебник для вузов/ К.В.Тихомиров, Э.С. Сергеевко. – М.: ООО «БАСТЕТ», 2009. - 480 с.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха)/ В.Н. Богословский. – СПб.: «АВОК Северо-Запад», 2006. – 400 с.
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий/ К.Ф.Фокин. –М: «АВОК-ПРЕСС», 2006. – 256 с.
4. Малявина Е. Г. Теплопотери здания. Справочное пособие/ Е.Г. Малявина. М.: «АВОК-ПРЕСС» 2007. – 160 с.
5. СП 50.13330.2013. Тепловая защита зданий. Утв. Минрегион РФ: Введ. в действие 01.01.2012. – Изд. офиц. – М., 2012.- 100 с.
6. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Утв. Минрегион РФ: Введен в действие 01.01.2013. – Изд. офиц. – М., 2012.- 81 с.
7. СП 131.13330.2013. Строительная климатология. Утв. Минрегион РФ: Введен в действие 01.01.2013. – Изд. офиц. – М., 2012.- 113 с.
8. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. Утв. Совм. приказом ОАО "ЦНИИпромзданий" иФГУП ЦНС: Введен в действие с 01.06. 2004. – 186 с.
9. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении: М.: Стандартинформ: Введен в действие с 01.01.2013. – 15 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П.1

Теплотехнические показатели  
строительных материалов по СП 50.13330.2012

| Материал              | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $W$ ,% |    | $\lambda$ ,<br>Вт/м <sup>0</sup> С |       | $\mu$ ,<br>мг/мчПа |
|-----------------------|-------------------------------|--------|----|------------------------------------|-------|--------------------|
|                       |                               | А      | Б  | А                                  | Б     | А, Б               |
| Пенополиуретан        | 60                            | 2      | 5  | 0,036                              | 0,041 | 0,05               |
| Минплита(камен.)      | 100                           | 2      | 5  | 0,042                              | 0,045 | 0,32               |
| Керамзит              | 400                           | 2      | 3  | 0,13                               | 0,145 | 0,24               |
| Рубероид              | 600                           | 0      | 0  | 0,17                               | 0,17  | 0                  |
| Железобетон           | 2500                          | 2      | 3  | 1,92                               | 2,04  | 0,03               |
| Раствор цем. песчаный | 1800                          | 2      | 4  | 0,76                               | 0,93  | 0,09               |
| Раствор известковый   | 1700                          | 2      | 4  | 0,7                                | 0,87  | 0,098              |
| Кирпичная кладка:     |                               |        |    |                                    |       |                    |
| - обькн. глиняный     | 1800                          | 1      | 2  | 0,7                                | 0,81  | 0,11               |
| - силикатный          | 1800                          | 2      | 4  | 0,76                               | 0,87  | 0,11               |
| - керам. пустотный    | 1400                          | 1      | 2  | 0,52                               | 0,58  | 0,16               |
| Сосна, ель            | 500                           | 15     | 20 | 0,14                               | 0,18  | 0,06               |
| Фанера                | 600                           | 10     | 13 | 0,15                               | 0,18  | 0,02               |
| Стекло оконное        | 2500                          | 0      | 0  | 0,76                               | 0,76  | 0                  |
| Сухая штукатурка      | 1050                          | 4      | 6  | 0,34                               | 0,36  | 0,075              |

Таблица П.2

Оптимальные (О) и допустимые (Д) нормы температуры, результирующей температуры относительной влажности и скорости движения воздуха в помещениях жилых и административных зданий по ГОСТ 30494-2011

| Период года | Помещение                  | Температура $t_{в}$ , <sup>0</sup> С |       | Рез. темпер. <sup>0</sup> С |       | Влажность $\phi$ , % |    | Скорость $u$ , м/с |     |
|-------------|----------------------------|--------------------------------------|-------|-----------------------------|-------|----------------------|----|--------------------|-----|
|             |                            | О.                                   | Д.    | О.                          | Д.    | О.                   | Д. | О.                 | Д.  |
| Холодный    | Жил. $t_{н} < -31^{\circ}$ | 20-22                                | 18-24 | 19-20                       | 17-23 | 45-30                | 60 | 0,15               | 0,2 |
|             | Жил. $t_{н} > -31^{\circ}$ | 21-23                                | 20-24 | 20-22                       | 19-23 | 45-30                | 60 | 0,15               | 0,2 |
|             | Кухня<br>2 катег.*         | 19-21                                | 18-26 | 18-20                       | 17-25 | -                    | -  | 0,15               | 0,2 |
| Теплый      | Жил.<br>П.п.людей          | 22-25                                | 20-28 | 22-24                       | 18-27 | 60-30                | 65 | 0,2                | 0,3 |
|             |                            | 23-25                                | 18-28 | 22-24                       | 19-27 | 60-30                | 65 | 0,3                | 0,5 |



Таблица П.3

Базовые значения требуемого сопротивления  
теплопередаче ограждающих конструкций

| Тип здания                                                                            | ГСОП<br>°С·сут | $R_{0, \text{тп}}, \text{ м}^2\text{°С/Вт}$ |                                     |                                                                  |                                           |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------|
|                                                                                       |                | Стена                                       | Покрытия и перекрытия над проездами | Перекрытия чердачные, над неотапливаемыми подпольями и подвалами | Окна и балконные двери, витрины и витражи | Фонари |
| 1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, общежития  | 2000           | 2,1                                         | 3,2                                 | 2,8                                                              | 0,3                                       | 0,3    |
|                                                                                       | 4000           | 2,8                                         | 4,2                                 | 3,7                                                              | 0,45                                      | 0,35   |
|                                                                                       | 6000           | 3,5                                         | 5,2                                 | 4,6                                                              | 0,6                                       | 0,4    |
|                                                                                       | 8000           | 4,2                                         | 6,2                                 | 5,5                                                              | 0,7                                       | 0,45   |
|                                                                                       | 10000          | 4,9                                         | 7,2                                 | 6,4                                                              | 0,75                                      | 0,5    |
| 2. Общественные, административные и бытовые; производственные и др. с влажным режимом | 2000           | 1,8                                         | 2,4                                 | 2,0                                                              | 0,3                                       | 0,3    |
|                                                                                       | 4000           | 2,4                                         | 3,2                                 | 2,7                                                              | 0,4                                       | 0,35   |
|                                                                                       | 6000           | 3,0                                         | 4,0                                 | 3,4                                                              | 0,5                                       | 0,4    |
|                                                                                       | 8000           | 3,6                                         | 4,8                                 | 4,1                                                              | 0,6                                       | 0,45   |
|                                                                                       | 10000          | 4,2                                         | 5,6                                 | 4,8                                                              | 0,7                                       | 0,5    |

Таблица П.4

Нормируемые значения  
удельной теплозащитной характеристики здания

| Отапливаемый объем, $\text{м}^3$ | Значения $k_{\text{об}}^{\text{нор}}, \text{ Вт}/(\text{м}^3\text{°С})$ ,<br>при значениях ГСОП, °С·сут |       |       |       |       |       |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                  | 1000                                                                                                    | 3000  | 5000  | 6500  | 8000  | 12000 |
| 150                              | 1,206                                                                                                   | 0,892 | 0,708 | 0,613 | 0,541 | 0,321 |
| 300                              | 0,957                                                                                                   | 0,708 | 0,562 | 0,487 | 0,429 | 0,326 |
| 600                              | 0,759                                                                                                   | 0,562 | 0,446 | 0,386 | 0,341 | 0,259 |
| 1200                             | 0,606                                                                                                   | 0,449 | 0,356 | 0,308 | 0,272 | 0,207 |
| 2500                             | 0,486                                                                                                   | 0,360 | 0,286 | 0,247 | 0,218 | 0,166 |
| 6000                             | 0,391                                                                                                   | 0,289 | 0,229 | 0,199 | 0,175 | 0,133 |
| 15 000                           | 0,327                                                                                                   | 0,242 | 0,192 | 0,166 | 0,146 | 0,111 |
| 50 000                           | 0,277                                                                                                   | 0,205 | 0,162 | 0,141 | 0,124 | 0,094 |

Таблица П.5

Расчетные значения коэффициентов  $\alpha_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>°С)

| Наружная поверхность ограждения                                                                                                                                                                     | $\alpha_n$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне                                                    | 23         |
| Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом, перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне | 17         |
| Перекрытий чердачных и над не отапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах; наружные стены с вентилируемой воздушной прослойкой                                                           | 12         |
| Перекрытия над не отапливаемыми подвалами и техническими подпольями, не вентилируемые наружным воздухом                                                                                             | 6          |

Таблица П.6

Расчетные значения коэффициентов  $\alpha_v$ , Вт/(м<sup>2</sup>°С)

| Внутренняя поверхность ограждения                                                                                                                           | $\alpha_v$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты ребра $h$ к расстоянию $a$ между гребнями соседних ребер $h/a \leq 0,3$ | 8,7        |
| Потолков с выступающими ребрами при $h/a > 0,3$                                                                                                             | 7,6        |
| Окон                                                                                                                                                        | 8,0        |
| Зенитные фонари                                                                                                                                             | 9,9        |

Таблица П.7

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек  $R_{в.п.}$ , м<sup>2</sup>°С/Вт

| Толщина воздушной прослойки, м | горизонтальная, при потоке тепла снизу вверх; вертикальная |               | горизонтальная при потоке тепла сверху вниз |               |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------|---------------|
|                                | температура воздуха в прослойке                            |               | температура воздуха в прослойке             |               |
|                                | положительная                                              | отрицательная | положительная                               | отрицательная |
| 0,01                           | 0,13                                                       | 0,15          | 0,14                                        | 0,15          |
| 0,02                           | 0,14                                                       | 0,15          | 0,15                                        | 0,19          |
| 0,03                           | 0,14                                                       | 0,16          | 0,16                                        | 0,21          |
| 0,05                           | 0,14                                                       | 0,17          | 0,17                                        | 0,22          |
| 0,10                           | 0,15                                                       | 0,18          | 0,18                                        | 0,23          |
| 0,15                           | 0,15                                                       | 0,18          | 0,19                                        | 0,24          |
| 0,2-0,3                        | 0,15                                                       | 0,19          | 0,19                                        | 0,24          |

Таблица П.8

Термическое сопротивление  $R$  окон  
и застекленных проемов, ( $\text{м}^2\text{°С}$ )/Вт

| Заполнение светового проема                     | Переplet       |       |
|-------------------------------------------------|----------------|-------|
|                                                 | Дерево,<br>ПХВ | Алюм. |
| Одинарное остекление                            | 0,18           | 0,15  |
| Двойное остекление в отдельных переплетах       | 0,42           | 0,34  |
| Тройное остекление в отдельных переплетах       | 0,55           | 0,46  |
| Блоки стеклянные пустотные                      | 0,32           | 0,32  |
| Однокамерный стеклопакет из обычного стекла:    | 0,38           | 0,33  |
| с твердым селективным покрытием                 | 0,51           | 0,43  |
| с мягким селективным покрытием                  | 0,56           | 0,47  |
| Двухкамерный стеклопакет из стекла:             |                |       |
| межстекольное расстояние 8 мм                   | 0,51           | 0,43  |
| межстекольное расстояние 12 мм                  | 0,54           | 0,45  |
| Стекло и однокамерный стеклопакет               | 0,56           |       |
| Стекло и двухкамерный стеклопакет               | 0,68           |       |
| Два однокамер. стеклопакета в отдельных перепл. | 0,74           |       |

Таблица П.9

Нормативная воздухопроницаемость ограждений  $j_{в.нор}$

| Ограждающая конструкция                                                  | Размерн.                    | $j_{в.нор}$ |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 1. Наружные стены, перекрытия и покрытия жилых, административных зданий. | кг/( $\text{м}^2\text{ч}$ ) | 0,5         |
| 2. Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий.        | кг/( $\text{м}^2\text{ч}$ ) | 1,0         |
| 3. Стыки между панелями: - жилые здания                                  | кг/(м ч)                    | 0,5         |
| - производственные здания                                                | кг/(м ч)                    | 1,0         |
| 4. Окна и балконные двери жилых и административных зданий в переплетах:  |                             |             |
| - пластмассовые, алюминиевые                                             | кг/( $\text{м}^2\text{ч}$ ) | 5,0         |
| - деревянные                                                             | кг/( $\text{м}^2\text{ч}$ ) | 6,0         |
| 5. Окна двери производственных помещ.                                    | кг/( $\text{м}^2\text{ч}$ ) | 8,0         |
| 6. Зенитные фонари произв. помещ.                                        | кг/( $\text{м}^2\text{ч}$ ) | 10          |
| 7. Входные двери в квартиры                                              | кг/( $\text{м}^2\text{ч}$ ) | 1,5         |
| 8. Входные двери в здания                                                | кг/( $\text{м}^2\text{ч}$ ) | 7,0         |

Таблица П.10

## Сопrotивление воздухопроницанию слоев конструкций

| Материал                     | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | Толщина<br>слоя, мм | $R_{в}$ ,<br>м <sup>2</sup> чПа/кг |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Пенополиуретан               | 60                            | 50 - 100            | 80                                 |
| Минплита(камен.)             | 100                           | 50                  | 2                                  |
| Керамзит                     | 400                           | -                   | 0                                  |
| Рубероид                     | 600                           | 1,5                 | $\infty$                           |
| Железобетон                  | 2500                          | 100                 | 20000                              |
| Штукатурка цем. песчаная     | 1800                          | 15                  | 373                                |
| Штукатурка известковая       | 1700                          | 15                  | 142                                |
| Кирпичная кладка:            |                               |                     |                                    |
| - обькн. глиняный            | 1800                          | 250 и более         | 18                                 |
| - силикатный                 | 1800                          |                     | 18                                 |
| - керам. пустотный           | 1400                          |                     | 13                                 |
| Стена брусчатая, бревенчатая | 500                           | 200                 | 39                                 |
| Фанера                       | 600                           | 3-4                 | 2900                               |
| Стекло оконное               | 2500                          | -                   | $\infty$                           |
| Сухая штукатурка             | 1050                          | 10                  | 20                                 |
| Обои бумажные                | -                             | -                   | 20                                 |

Таблица П.11

## Среднемесячная и годовая температура воздуха, °С

| Населенный пункт | I     | II    | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI    | XII   | Год  |
|------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| 1                | 2     | 3     | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12    | 13    | 14   |
| Александровское  | -21,2 | -19,3 | -9,9 | -2,3 | 6,0  | 14,3 | 18,1 | 14,0 | 7,6  | -0,9 | -11,6 | -18,3 | -2,0 |
| Колпашево        | -20,0 | -17,7 | -8,8 | -0,5 | 7,9  | 15,4 | 18,5 | 14,6 | 8,2  | 0,2  | -10,2 | -17,3 | -0,8 |
| Томск            | -17,9 | -15,7 | -7,7 | 1,2  | 9,7  | 15,9 | 18,7 | 15,3 | 9,0  | 1,3  | -8,5  | -15,4 | 0,5  |
| Кемерово         | -17,9 | -15,8 | -8,1 | 1,8  | 10,6 | 16,4 | 19,0 | 15,8 | 9,5  | 1,9  | -7,8  | -15,2 | 0,8  |
| Киселевск        | -17,2 | -15,5 | -8,1 | 2,0  | 10,0 | 16,6 | 18,8 | 15,8 | 10,0 | 2,2  | -8,3  | -15,4 | 0,9  |
| Новосибирск      | -17,3 | -15,7 | -8,4 | 2,2  | 11,1 | 17,0 | 19,4 | 16,2 | 10,2 | 2,5  | -7,4  | -14,5 | 1,3  |
| Барнаул          | -16,3 | -14,4 | -7,1 | 3,6  | 12,3 | 17,8 | 19,8 | 17,0 | 10,9 | 3,3  | -6,5  | -13,5 | 2,2  |
| Тюмень           | -16,2 | -14,3 | -5,7 | 3,7  | 11,0 | 16,5 | 18,6 | 15,4 | 9,6  | 2,2  | -6,8  | -13,5 | 1,7  |
| Тайга            | -18,0 | -16,1 | -8,3 | 0,3  | 8,8  | 14,9 | 17,6 | 14,3 | 8,1  | 0,5  | -9,1  | -15,8 | -0,2 |
| Красноярск       | -16,0 | -14,0 | -6,3 | 1,9  | 9,7  | 16,0 | 18,7 | 15,4 | 8,9  | 1,5  | -7,5  | -13,7 | 1,2  |

Таблица П.12

Среднемесячное и годовое давление пара  $e$ , Па

| Населенный пункт | I   | II  | III | IV  | V   | VI   | VII  | VIII | IX  | X   | XI  | XII | Год |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1                | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7    | 8    | 9    | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |
| Александровское  | 120 | 130 | 220 | 400 | 620 | 1080 | 1470 | 1260 | 890 | 480 | 250 | 150 | 590 |
| Колпашево        | 130 | 140 | 230 | 410 | 650 | 1140 | 1490 | 1300 | 890 | 500 | 260 | 150 | 610 |
| Томск            | 140 | 150 | 240 | 440 | 690 | 1180 | 1540 | 1330 | 900 | 520 | 280 | 170 | 630 |
| Кемерово         | 140 | 160 | 260 | 490 | 720 | 1200 | 1520 | 1320 | 900 | 540 | 290 | 180 | 640 |
| Киселевск        | 150 | 180 | 270 | 480 | 710 | 1190 | 1500 | 1300 | 880 | 530 | 290 | 190 | 640 |
| Новосибирск      | 140 | 150 | 260 | 500 | 730 | 1230 | 1560 | 1340 | 920 | 550 | 300 | 180 | 660 |
| Барнаул          | 160 | 170 | 280 | 520 | 750 | 1240 | 1550 | 1340 | 910 | 560 | 320 | 200 | 670 |
| Тюмень           | 150 | 160 | 270 | 500 | 740 | 1160 | 1500 | 1300 | 920 | 530 | 330 | 210 | 650 |
| Тайга            | 140 | 150 | 240 | 440 | 680 | 1140 | 1450 | 1270 | 860 | 510 | 270 | 170 | 610 |
| Красноярск       | 140 | 150 | 260 | 450 | 650 | 1140 | 1470 | 1290 | 870 | 490 | 270 | 160 | 510 |

Таблица П.13

Предельно допустимое приращение влажности  $\Delta w$ , %

| Материал                    | $\Delta w$ , % | Материал             | $\Delta w$ , % |
|-----------------------------|----------------|----------------------|----------------|
| Кладка из глиняного кирпича | 1,5            | Пеногазостекло       | 1,5            |
| Кладка из силикатного кирп. | 2              | Минплита, маты       | 3              |
| Тяжелый бетон               | 2              | Пенополистирол       | 25             |
| Цементно-песчаный раствор   | 2              | Пенополиуретан       | 25             |
| Легкий бетон                | 5              | Засыпка керамзитовая | 3              |

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Вопросы, выносимые на защиту курсовой работы

1. Нормативные требования к защитной оболочке здания.
2. Нормируемое сопротивление теплопередаче ограждения.
3. Температура точки росы в помещении.
4. удельная теплозащитная характеристика здания.
5. Сопротивление теплопередаче слоистой стенки.
6. Особенности расчета сопротивления теплопередаче пола.
7. Расчет сопротивлений теплопередаче пустотной плиты.
8. Расчет толщины утеплителя ограждения.
9. Сопротивление теплопередаче заполнения оконного проема.
10. Расчет температуры на поверхности ограждения.
11. Понятие воздухопроницаемости ограждения.
12. Разность давления воздуха снаружи и внутри здания.
13. Требуемое сопротивление воздухопроницанию ограждения.
14. Фактическое сопротивление воздухопроницанию стены.
15. Количество инфильтрующегося воздуха через ограждение.
16. Понятие парциального давления водяного пара.
17. Понятие давления насыщенного пара.
18. Понятие паропроницаемости ограждения.
19. Сопротивление паропроницанию материала.
20. Сопротивление паропроницанию слоистого ограждения.
21. Расчетные параметры для паропроницания внутри здания.
22. Расчетные параметры для паропроницания снаружи.
23. Расчет температуры внутри ограждения.
24. Расчет парциального давления внутри ограждения.
25. Расчет давления насыщенного пара внутри ограждения.
26. Понятие плоскости максимального увлажнения.
27. Суть критерия не накопления влаги за годовой период.
28. Давление насыщенного пара за годовой период эксплуатации.
29. Суть критерия ограничения увлажнения за зимний период.
30. Понятие предельно допустимого приращения увлажнения.