

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра архитектурных конструкций

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсового проекта
“ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ”
для студентов специальности
69 01 01 «Архитектура»

Брест 2005

УДК 697.1

Методические указания к выполнению курсовой работы «Теплофизический расчет жилого здания» предназначены для студентов 4 курса специальности 69 01 01 «Архитектура».

В методических указаниях содержатся нормативные и справочные материалы, необходимые для выполнения курсовой работы.

Составители: Н.Н. Русак, к.т.н., доцент,
В.А. Матчан, к.т.н., доцент,
Н.В. Замойская, ассистент.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| 1. Общие положения | 4 |
| 2. Содержание курсовой работы | 5 |
| 3. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций | 5 |
| 3.1. Расчет толщины утеплителя наружных стен. Определение сопротивления теплопередаче наружной стены | 6 |
| 3.2. Расчет толщины утеплителя кровли. Определение сопротивления теплопередаче кровли | 7 |
| 3.3. Расчет толщины утеплителя пола первого этажа. Определение сопротивления теплопередаче пола первого этажа | 9 |
| 4. Расчет ограждающих конструкций на сопротивление воздухопроницанию | 11 |
| 4.1. Расчет воздухопроницания наружных стен | 12 |
| 5. Расчет ограждающих конструкций на сопротивление паропроницанию | 13 |
| 5.1. Расчет стены на сопротивление паропроницанию | 14 |
| 5.2. Расчет кровли на сопротивление паропроницанию | 16 |
| 5.3. Расчет пола на сопротивление паропроницанию | 18 |
| 6. Построение графика распределения температуры в ограждении | 20 |
| 6.1. Построение графика распределения температуры в ограждении без учета воздухопроницания ограждений | 20 |
| 6.1.1. Наружные стены | 20 |
| 6.1.2. Кровля | 22 |
| 6.1.3. Пол первого этажа | 24 |
| 6.2. Определение сопротивления теплопередаче и температуры в любой точке ограждения с учетом воздухопроницания ограждения | 25 |
| 6.2.1. Стена | 26 |
| 7. Литература | 27 |

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Курсовая работа предусматривает теплотехнический расчет ограждающих конструкций здания, расчет паро- и воздухопроницания ограждений.

Настоящие методические указания разработаны для облегчения пользования студентами строительными нормами Республики Беларусь при выполнении курсовой работы, содержит материалы по теплотехническому расчету ограждающих конструкций зданий, даны примеры расчетов.

Для Республики Беларусь, которая должна расходовать значительную часть национального дохода на приобретение топливно-энергетических ресурсов, проблема экономии топливно-энергетических ресурсов на отопление зданий весьма актуальна.

Теплопотери зданий существенно зависят от сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций и до настоящего времени неоправданно велики.

Введенные в действие строительные нормы Республики Беларусь СНБ 2.04.01-97 "Строительная теплотехника" направлены на решение вышеуказанной проблемы и устанавливают в сравнении с ранее действующими нормами значительно более высокие требования к уровню теплозащиты зданий.

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. Но при этом, в отличие от ранее применяемых однослойных, для многослойных стен актуальными становятся проблемы конденсационного увлажнения и их воздухопроницания.

Технические решения ограждающих конструкций должны обеспечивать требуемый действующими нормами тепловлажностный режим материалов конструкции, обеспечивающий долговечность конструкций и сохранение их теплозащитных характеристик.

При расположении слоев в многослойной наружной ограждающей конструкции следует соблюдать следующее:

— материалы с более высокими коэффициентами теплопроводности и теплоусвоения и более низким коэффициентом паропроницаемости целесообразно располагать в конструкции со стороны помещения, а материалы с более низкими коэффициентами теплопроводности и теплоусвоения и более высоким коэффициентом паропроницаемости — с наружной стороны, что обеспечивает более высокую температуру внутренней поверхности в местах теплопроводных включений и узлах сопряжения ограждающих конструкций (стен между собой, стен и перекрытий и др.), 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.

2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из следующих разделов:

1. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций.
2. Расчет ограждающих конструкций на сопротивление воздухопроницанию.
3. Расчет ограждающих конструкций на сопротивление паропроницанию.
4. Построение графиков распределения температуры в ограждениях.

При выполнении каждого задания в курсовой работе приводятся следующие разделы:

- теоретическое обоснование выполняемого задания;
- исходные данные и расчетные формулы;
- полная последовательность расчетов;
- выводы, основанные на анализе полученных результатов.

3. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Термическое сопротивление однородной ограждающей конструкции, а также слоя многослойной конструкции R , $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$, следует определять по формуле:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (1)$$

λ - коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$, согласно таблице 4.2 [1], принимаемый по приложению А.

Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями R_k , $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$, следует определять по формуле:

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (2)$$

R_1, R_2, \dots, R_n - термические сопротивления отдельных слоев конструкции, $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$, определяемые по формуле (1), и замкнутых воздушных прослоек, принимаемые по приложению Б [1];

n - количество слоёв.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_T , $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$, следует определять по формуле:

$$R_T = \frac{1}{\alpha_B} + R_k + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (3)$$

R_k - термическое сопротивление ограждающей конструкции, $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$, определяемое по формуле (2);

α_B - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$, принимаемый по таблице 5.4 [1];

α_H - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$, принимаемый по таблице 5.7 [1].

Требуемое сопротивление теплопередаче определяется по формуле:

$$R_{\text{т.т.р.}} = \frac{r \cdot (t_w - t_n)}{\alpha_w \cdot \Delta t}, \quad (4)$$

t_w - расчетная температура внутреннего воздуха, °C , принимаемая по таблице 4.1 [1];

t_n - расчетная зимняя температура наружного воздуха, °C , принимаемая по таблице 4.3 [1] с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций D ;

n - коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, принимаемый по таблице 5.3 [1];

$\alpha_{в}$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$), принимаемый по таблице 5.4 [1];

$\Delta t_{в}$ - расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, $^\circ C$, принимаемый по таблице 5.5 [1].

Тепловую инерцию ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$D = \sum_{i=1}^n R_i \cdot S_i, \quad (5)$$

R_i - термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / \text{Вт}$, определяемые по формуле (1);

S_i - расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции в условиях эксплуатации, Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$), по таблице 4.2, принимаемые по приложению А [1].

Расчетный коэффициент теплоусвоения воздушных прослоек принимается равным нулю. Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции не учитываются.

3.1. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ УТЕПЛИТЕЛЯ НАРУЖНЫХ СТЕН. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ

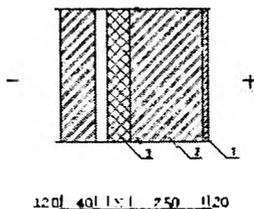


Рис. 1. Конструкция наружной стены

1 – известково-песчаная штукатурка, 2 – кладка из силикатного сплошного кирпича, 3 – плиты пенополиуретановые.

Принимаем по табл.4.2 [1] режим эксплуатации Б.

1. Известково-песчаная штукатурка:

$\rho=1600 \text{ кг}/\text{м}^3$ (по заданию)

$\lambda=0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ \text{C})$ (по [1] прил. А.1, п.41)

$\delta=0,02 \text{ м}$ (по заданию)

2. Кладка из силикатного сплошного кирпича:

$\rho=1900 \text{ кг}/\text{м}^3$ (по заданию)

$\lambda=1,4 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ \text{C})$ (по [1] прил. А.1, п.54)

$\delta=0,25 \text{ м}$ (по заданию)

3. Плиты пенополиуретановые:

$\rho=80 \text{ кг}/\text{м}^3$ (по заданию)

$\lambda=0,05 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ \text{C})$ (по [1] прил. А.1, п.112)

$\delta=X$

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче:

$R_{тн} = 2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{С} / \text{Вт}$ (для стен из штучных материалов по [1] табл. 5.1, п. 1)

$\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{С})$ (по [1] табл. 5.4, п. 1)

$\alpha_{н} = 12 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{С})$ (по [1] табл. 5.7, п. 3) – для наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом.

Т.к. в данной стене воздушная прослойка является вентилируемой, то слои, расположенные за воздушной прослойкой ближе к наружной стороне, и сама воздушная прослойка в расчёте не учитываются.

$$R_{тн} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{x}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{н}}$$

$$2,0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,25}{1,4} + \frac{x}{0,05} + \frac{1}{12}$$

$$x = 0,080 \text{ м}$$

Толщина утеплителя данной наружной стены $\delta_3 = 8 \text{ см}$.

Определяем сопротивление теплопередаче наружной стены при данной толщине утеплителя:

$$R_{стены} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{x}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{н}}$$

$$R_{стены} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,25}{1,4} + \frac{0,08}{0,05} + \frac{1}{12} = 2,002 \text{ м}^2 \cdot \text{С} / \text{Вт}$$

3.2. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ УТЕПЛИТЕЛЯ КРОВЛИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ КРОВЛИ.

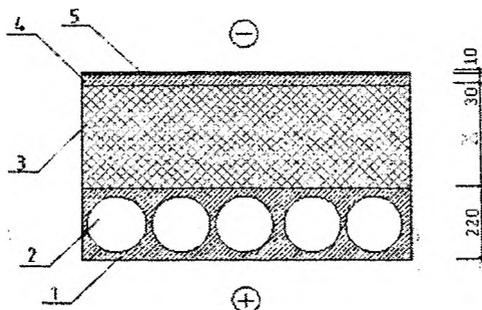


Рис 2. Конструкция покрытия.

- 1 – железобетонная пустотная плита, 2 – замкнутая воздушная прослойка, 3 – газостекло, 4 – цементно-песчаная стяжка, 5 – три слоя гидроизоляции на битумной мастике

Принимаем по табл.4.2 [1] режим эксплуатации Б.

1. Железобетонная плита пустотная:

$$\rho=2500\text{кг/м}^3(\text{по заданию})$$

$$\lambda=2,04\text{Вт/м}^\circ\text{С}(\text{по [1] прил. А.1, п. 1})$$

$$\delta=0,22\text{м}(\text{приведенная } \delta=0,14\text{м})$$

2. Замкнутая воздушная прослойка:

$R=0,146\text{м}^2\text{С} / \text{Вт}$ (найдено методом интерполяции при $\delta = 0,08\text{м}$, при положительной температуре в прослойке, при потоке тепла снизу вверх. по [1] прил.Б)

3. Газостекло:

$$\rho=300\text{кг/м}^3(\text{по заданию})$$

$$\lambda=0,12\text{Вт/м}^\circ\text{С}(\text{по [1] прил. А.1, п.132})$$

$$\delta=X$$

4. Цементно-песчаная стяжка:

$$\rho=1800\text{кг/м}^3(\text{по заданию})$$

$$\lambda=0,93\text{Вт/м}^\circ\text{С}(\text{по [1] прил. А.1, п.39})$$

$$\delta=0,03\text{м}(\text{по заданию})$$

5. 3 слоя гидроизола на битумной мастике:

$$\rho=600\text{кг/м}^3(\text{по заданию})$$

$$\lambda=0,17\text{Вт/м}^\circ\text{С}(\text{по [1] прил. А.1, п.142})$$

$$\delta=0,0105\text{м}(\text{по заданию})$$

Сопротивление теплопередаче покрытия должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче: $R_{т.н}=3,0\text{м}^2\text{С/Вт}$ (по [1] табл. 5.1, п.4)

$$\alpha_{в}=8,7\text{Вт/м}^2\text{С}(\text{по [1] табл. 5.4, п.1})$$

$$\alpha_{н}=23\text{Вт/м}^2\text{С}(\text{по [1] табл. 5.7, п.1})$$

$$R_{т.н} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{x}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{н}}$$

$$3,0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,14}{2,04} + 0,146 + \frac{X}{0,12} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,0105}{0,17} + \frac{1}{23}$$

$$x=0,304\text{м}$$

Округляем полученное значение до сантиметра в большую сторону. Следовательно, толщина утеплителя данной кровли $\delta_3=31\text{см}$.

Определяем сопротивление теплопередаче кровли при данной толщине утеплителя:

$$R_{\text{крыши}} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_1} + \frac{\delta_4}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_{н}}$$

$$R_{\text{крыши}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,14}{2,04} + 0,146 + \frac{0,31}{0,12} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,0105}{0,17} + \frac{1}{23} = 3,05\text{м}^2\text{С/Вт}$$

3.3. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ УТЕПЛИТЕЛЯ ПОЛА ПЕРВОГО ЭТАЖА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ПОЛА ПЕРВОГО ЭТАЖА

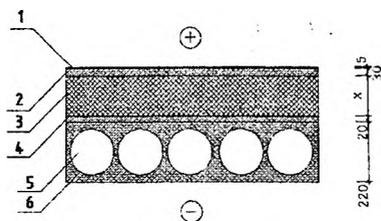


Рис. 3. Конструкция пола первого этажа.

1 – линолеум ПВХ на тканевой основе, 2 – цементно-песчаная стяжка, 3 – плиты арболитовые, 4 – цементно-перлитовая стяжка, 5 – замкнутая воздушная прослойка, 6 – железобетонная пустотная плита.

Принимаем по [1] табл.4.2 режим эксплуатации Б.

1. Линолеум ПВХ на тканевой основе:

$\rho=1600\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\lambda=0,29\text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.146)

$\delta=0,005\text{м}$ (по заданию)

$S=7,05\text{Вт/(м}^2\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.146)

2. Цементно-песчаная стяжка:

$\rho=1800\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\lambda=0,93\text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.39)

$\delta=0,03\text{м}$ (по заданию)

$S=11,09\text{Вт/(м}^2\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.39)

3. Плиты арболитовые:

$\rho=400\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\lambda=0,16\text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.90)

$\delta=X$

$S=3,70\text{Вт/(м}^2\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.90)

4. Цементно-перлитовая стяжка:

$\rho=1000\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\lambda=0,30\text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.44)

$\delta=0,02\text{м}$ (по заданию)

$S=5,42\text{Вт/(м}^2\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.44)

5. Замкнутая воздушная прослойка:

$R=0,226\text{м}^2\text{C} / \text{Вт}$ (найдено методом интерполяции при $\delta=0,08\text{м}$ при отрицательной температуре в прослойке при потоке тепла сверху вниз, по [1] прил. Б)

$S=0$ (п. 5.3 [1])

6. Железобетонная плита пустотная:

$\rho=2500\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\lambda=2,04\text{Вт/(м}^\circ\text{С)}$ (по [1] прил. А.1, п. 1)

$\delta=0,22\text{м}$ (приведенная $\delta=0,14\text{м}$) (по заданию)

$S=19,70\text{Вт/(м}^2\text{С)}$ (по [1] прил. А.1, п. 1)

- Задаёмся толщиной утеплителя $x=0,12\text{м}$
- Определяем тепловую инерцию при заданной толщине утеплителя:

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot S_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \cdot S_2 + \frac{x}{\lambda_3} \cdot S_3 + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \cdot S_4 + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \cdot S_5 + \frac{\delta_6}{\lambda_6} \cdot S_6;$$

$$D = \frac{0,005}{0,29} \cdot 7,05 + \frac{0,03}{0,93} \cdot 11,09 + \frac{0,12}{0,16} \cdot 3,7 + \frac{0,02}{0,30} \cdot 5,42 + \frac{0,14\text{м}}{2,04} \cdot 19,70 = 4,972;$$

- Т.к. $4 < D < 7$, то $t_{\text{ср}} = \frac{-31^\circ\text{С} + (-25^\circ\text{С})}{2} = -28^\circ\text{С}$ (средняя температура наиболее холодных

трех суток) (по [1] табл. 4.3)

При $t_{\text{в}}=18^\circ\text{С}$ (по [1] табл. 4.1)

$n=0,6$ –для перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенные выше уровня земли.

$\alpha_{\text{в}}=8,7\text{Вт/(м}^2\text{С)}$ (по [1] табл. 5.4, п.1)

$\alpha_{\text{н}}=6\text{Вт/(м}^2\text{С)}$ (по [1] табл. 5.7, п.4)

$\Delta t_{\text{в}}=2^\circ\text{С}$ (по [1] табл. 5.5, п.1)

Определяем требуемое сопротивление теплопередаче:

$$R_{\text{н.т.р}} = \frac{0,6 \cdot (18 - (-26))}{8,7} = 1,586\text{м}^2\text{С/Вт}$$

- Определяем толщину утеплителя:

$$R_{\text{н.т.р}} = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{x}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}};$$

$$1,586\text{м}^2\text{С/Вт} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,29} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{x}{0,16} + \frac{0,02}{0,30} + \frac{0,14}{2,04} + \frac{1}{6};$$

$x=0,143\text{м}$

- Округляем полученное значение до сантиметра в большую сторону. Повторно определяем тепловую инерцию при толщине утеплителя $\delta_3=0,15\text{м}$:

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot S_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \cdot S_2 + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \cdot S_3 + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \cdot S_4 + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \cdot S_5 + \frac{\delta_6}{\lambda_6} \cdot S_6;$$

$$D = \frac{0,005}{0,29} \cdot 7,05 + \frac{0,03}{0,93} \cdot 11,09 + \frac{0,15}{0,16} \cdot 3,7 + \frac{0,02}{0,30} \cdot 5,42 + \frac{0,14}{2,04} \cdot 19,70 = 5,668$$

- Т.к. $4 < D < 7$, то полученная толщина утеплителя удовлетворительна. Толщина утеплителя данного пола $\delta_3=15\text{см}$.

- Определяем сопротивление теплопередаче пола первого этажа при данной толщине утеплителя:

$$R_{\text{н.т.р}} = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}};$$

$$R_{\text{н.т.р}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,29} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,15}{0,16} + \frac{0,02}{0,30} + \frac{0,14}{2,04} + \frac{1}{6} = 1,631\text{м}^2\text{С/Вт}$$

4. РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЮ

Удельный вес воздуха, Н/м^3 , определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}; \quad (6)$$

t – температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$, внутреннего – согласно [1] табл.4.1, наружного – равна средней температуре наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 по [1] табл.4.3.

Расчетную разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции Δp , Па, следует определять по формуле:

$$\Delta p = 0,55H(\gamma_n - \gamma_a) + 0,33\gamma_n \cdot V_n^2; \quad (7)$$

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

γ_n , γ_a – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м^3 , определяемый по формуле 6;

V_n – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь с повторяемостью 16% и более, м/с.

Сопrotивление воздухопроницанию ограждающих конструкций зданий и сооружений R_u :

$$R_u = \sum_{i=1}^n R_{u_i}; \quad (8)$$

R_{u_i} – сопротивления воздухопроницанию отдельных слоёв конструкции, $\text{м}^2\text{чПа/кг}$, принимаемые по [1] табл. Г1.

Сопротивления воздухопроницанию отдельных слоёв конструкции, расположенных между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом и наружной поверхностью, в расчёте не учитываются.

Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций зданий и сооружений R_u , за исключением заполнений световых проемов, должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию $R_{u_{\text{тp}}}$, $\text{м}^2\text{чПа/кг}$, определяемого по формуле:

$$R_{u_{\text{тp}}} = \frac{\Delta p}{G_{\text{норм}}}; \quad (9)$$

Δp – расчетная разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па, определяемая в соответствии с формулой 7;

$G_{\text{норм}}$ – нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций, $\text{кг}/(\text{кв.м}\cdot\text{ч})$, принимаемая по [1] табл. 8.1.

Если сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций зданий и сооружений R_u больше требуемого сопротивления воздухопроницанию $R_{u_{\text{тp}}}$, необходимо изменить конструкцию стены (например, добавить дополнительный слой).

4.1. РАСЧЕТ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЯ НАРУЖНЫХ СТЕН

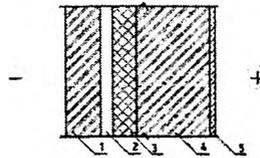


Рис. 4. Конструкция наружной стены.

- 1 – кирпич силикатный пустотный, 2 – воздушная прослойка, 3 – плиты пенополиуретановые, 4 – кладка из силикатного сплошного кирпича, 5 – известково-песчаная штукатурка.

1. Определяем удельный вес воздуха при $t_n = -25^\circ\text{C}$ (средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по табл. 4.3); $t_b = 18^\circ\text{C}$ (по [1] табл. 4.1):

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 + t_n};$$

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 - 25^\circ\text{C}} = 13,964 \text{H/м}^3;$$

$$\gamma_b = \frac{3463}{273 + t_b};$$

$$\gamma_b = \frac{3463}{273 + 18^\circ\text{C}} = 11,900 \text{H/м}^3;$$

2. Определяем расчетную разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций при $H=12,45\text{м}$ (по заданию), $V_n=5,6\text{м/с}$.

$$\Delta p = 0,55 \text{H}(\gamma_n - \gamma_b) + 0,03 \gamma_n \cdot V_n^2;$$

$$\Delta p = 0,55 \cdot 12,45(13,964 - 11,900) + 0,03 \cdot 13,964 \cdot (5,6)^2 = 27,270 \text{Па}.$$

3. Определяем сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций при $R_{u1}=2\text{м}^2\text{чПа/кг}$, $R_{u2}=0$, $R_{u3}=79\text{м}^2\text{чПа/кг}$, $R_{u4}=18\text{м}^2\text{чПа/кг}$, $R_{u5}=189,333\text{м}^2\text{чПа/кг}$:

$$R_u = \sum_{i=1}^n R_{ui},$$

$$R_u = 189,333 + 18 + 79 + 2 = 288,333 \text{м}^2\text{чПа/кг}$$

4. Определяем требуемое сопротивления воздухопроницанию при $G_{норм}=0,5\text{кг/м}^2\text{ч}$:

$$R_{утт} = \frac{\Delta p}{G_{норм}};$$

$$R_{утт} = \frac{27,270}{0,5} = 54,540 \text{м}^2\text{чПа/кг};$$

Т.к. $R_u > R_{утт}$, то конструкция стены соответствует требованиям.

5. РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ПАРОПРОНИЦАНИЮ

Сопротивление паропрооницанию ограждения R_n определяется от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации (П.В.К.). П.В.К. находится в однослойных конструкциях на 1/3 толщины от наружной поверхности. В многослойных ограждениях - за наружной гранью утеплителя, за менее плотным материалом. Сопротивление паропрооницанию ограждения R_n , м²ЧПа/мг, следует определять по формуле:

$$R_n = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} \quad (10)$$

n - количество слоёв ограждения от внутренней поверхности до П.В.К.;

δ_i - толщина i -го слоя;

μ_i - сопротивление паропрооницанию i -го слоя, принимаемое по [1] приложению А.1;

Сопротивление паропрооницанию ограждения R_n должно быть не менее требуемого сопротивления паропрооницанию R_n^{TP} :

$$R_n \geq R_n^{TP};$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию R_n^{TP} следует определять по формуле:

$$R_n^{TP} = R_{nm} \frac{e_a - E_k}{E_k - e_n} \quad (11)$$

R_{nm} - сопротивление паропрооницанию слоёв ограждения от П.В.К. до наружной поверхности, следует определять по формуле:

$$R_{nm} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} \quad (12)$$

n - количество слоёв ограждения от наружной поверхности до П.В.К.;

e_a - парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетных температуре и влажности этого воздуха, определяемое по формуле:

$$e_a = 0,01 \cdot \varphi_a \cdot E_a \quad (13)$$

φ_a - расчетная относительная влажность воздуха внутри помещения для жилых и общественных зданий определяется по таблице 4.1 [1], для других зданий по соответствующим нормам проектирования, %;

E_a - максимальное парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, по таблице 4.1 [1] определяем t_a , затем по t_a по приложению Ж определяем E_a ;

E_k - максимальное парциальное давление водяного пара в П.В.К., Па, принимаемое по приложению Ж [1] при температуре в П.В.К., $\tau_{ПВК}$, °С, определяемое по формуле:

$$\tau_{ПВК} = t_a - \frac{t_a - t_{\text{от}}}{R_{\tau}} \left(\frac{1}{\alpha_a} + \sum R \right) \quad (14)$$

$t_{\text{от}}$ - средняя температура за отопительный период, °С, определяем для заданного района строительства по таблице 4.4. В числителе приведены данные для среднесуточной температуры наружного воздуха начала отопительного периода 8 °С, в знаменателе - для 10 °С;

$\sum R$ - термическое сопротивление ограждающей конструкции от внутренней поверхности конструкции до П.В.К., м²°С/Вт;

e_n - парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, при расчетных температуре и влажности этого воздуха, определяемое по формуле:

$$e_n = 0,01 \cdot \varphi_n \cdot E_n, \quad (15)$$

φ_n - расчетная относительная влажность воздуха снаружи помещения для жилых и общественных зданий определяется по таблице 4.1 [1], для других зданий - по соответствующим нормам проектирования, %;

E_n - максимальное парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, по таблице 4.1 [1] определяем $t_{н.от}$, затем по $t_{н.от}$ по приложению Ж определяем E_n .

Определив R_n^{TP} , сравниваем с R_n . Если R_n меньше R_n^{TP} , тогда необходимо устраивать дополнительную пароизоляцию.

РАСЧЕТ СТЕНЫ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ПАРПРОНИЦАНИЮ

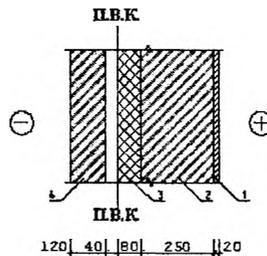


Рис. 5. Конструкция наружной стены.

- 1 – известково-песчаная штукатурка, 2 – кладка из силикатного сплошного кирпича,
3 – плиты пенополиуретановые, 4 – кирпич силикатный.

Принимаем по [1] табл.4.2 режим эксплуатации Б.

1. Известково-песчаная штукатурка:

$$\rho = 1900 \text{ кг/м}^3 \text{ (по заданию)}$$

$$\delta = 0,02 \text{ м (по заданию)}$$

$$\lambda = 0,81 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.41)}$$

$$\mu = 0,12 \text{ мг/(мчПа)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.41)}$$

2. Кладка из силикатного сплошного кирпича:

$$\rho = 1900 \text{ кг/м}^3 \text{ (по заданию)}$$

$$\delta = 0,25 \text{ м (по заданию)}$$

$$\lambda = 1,4 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.54)}$$

$$\mu = 0,09 \text{ мг/(мчПа)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.54)}$$

3. Плиты пенополиуретановые:

$$\rho = 80 \text{ кг/м}^3 \text{ (по заданию)}$$

$$\delta = 0,08 \text{ м (по расчёту 1.1.)}$$

$$\lambda = 0,05 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.112)}$$

$$\mu = 0,05 \text{ мг/(мчПа)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.112)}$$

4. Воздушная прослойка:

$\delta=0,40\text{м}$ (по заданию)

$\lambda=0$

$\mu=0$ (п. 9.5 [1])

5. Кирпич силикатный пустотный:

$\rho=1600\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\delta=0,12\text{м}$ (по заданию)

$\lambda=0,128\text{Вт/(м}^\circ\text{С)}$ (по [1] прил. А.1, п.61)

$\mu=0,12\text{мг/(м}^2\text{Па)}$ (по [1] прил. А.1, п.61)

- Определяем сопротивление паропрооницанию ограждения:

$$R_n = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3};$$

$$R_n = \frac{0,02}{0,12} + \frac{0,25}{0,09} + \frac{0,08}{0,05} = 4,545\text{м}^2\text{чПа / мг};$$

- Определяем сопротивление паропрооницанию слоёв ограждения от П.В.К. до наружной поверхности:

$$R_{\text{пн}} = \frac{\delta_4}{\mu_4} + \frac{\delta_5}{\mu_5};$$

$$R_{\text{пн}} = 0 + \frac{0,12}{0,12} = 1\text{м}^2\text{чПа / мг}$$

- Определяем парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха:

$\varphi_v=50\%$ (по [1] табл. 4.1)

$E_v=2064\text{Па}$ (по [1] прил. Ж при $t_{\text{в}}=18^\circ\text{С}$ (по табл. 4.1))

$$e_v = 0,01 \cdot 50\% \cdot 2064\text{Па} = 1032\text{Па}$$

- Определяем температуру в П.В.К.:

$R_T=2,002\text{м}^2\text{С/Вт}$ (по расчёту 3.1.)

$t_{\text{н.от}}=-2,0^\circ\text{С}$ (по [1] табл. 4.4, п.1)

$\alpha_n=8,7\text{ Вт/(м}^2\text{С)}$ (по [1] табл. 5.4, п.1)

$$t_{\text{п.в.к}} = t_v - \frac{t_v - t_{\text{н.от}}}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right);$$

$$t_{\text{п.в.к}} = 18 - \frac{18 - (-2)}{2,002} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,25}{1,4} + \frac{0,08}{0,05} \right) = -1,171^\circ\text{С}$$

- Определяем максимальное парциальное давление водяного пара в П.В.К.:

$E_r=555,134\text{Па}$ (методом интерполяции по [1] прил. Ж)

- Определяем парциальное давление водяного пара наружного воздуха:

$\varphi_n=82\%$ (по [1] табл. 4.4)

$E_{\kappa}=517\text{Па}$ (по прил. Ж $t_{\kappa,ог}=-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (по [1] табл. 4.4, п.1))

$e_{\kappa} = 0,01 \cdot 82\% \cdot 517\text{Па} = 423,94\text{Па}$

- Определяем требуемое сопротивление паропрооницанию:

$$R_n^{TP} = 1 \cdot \frac{1032 - 555,134}{555,134 - 423,94} = 3,635\text{ м}^2\text{чПа} / \text{мг},$$

- По расчёту $R_n > R_n^{TP}$ ($4,545\text{ м}^2\text{чПа/мг} > 3,635\text{ м}^2\text{чПа/мг}$), следовательно дополнительной пароизоляции не требуется.

РАСЧЕТ КРОВЛИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ПАРПРОНИЦАНИЮ

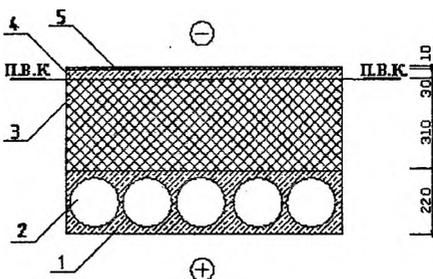


Рис. 6. Конструкция покрытия.

- 1 – железобетонная пустотная плита, 2 – замкнутая воздушная прослойка, 3 – газостекло, 4 – цементно-песчаная стяжка, 5 – три слоя гидроизола на битумной мастике.

Принимаем по табл.4.2 режим эксплуатации Б.

1. Железобетонная плита пустотная:

$\rho=2500\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\delta=0,22\text{м}$ (приведенная $\delta=0,14\text{м}$)

$\lambda=2,04\text{Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п. 1)

$\mu=0,03\text{мг/(м}^2\text{чПа)}$ (по [1] прил. А.1, п. 1)

2. Замкнутая воздушная прослойка:

$R=0,146\text{м}^2\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$ (найденно методом интерполяции при $\delta=0,08\text{м}$, при положительной температуре в прослойке, при потоке тепла снизу вверх, по прил.Б)

$\mu=0$ (п. 9.5 СНБ 2.04.01-97)

3. Газостекло:

$\rho=300\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\delta=0,31\text{м}$ (по расчёту 3.2.)

$\lambda=0,12\text{Вт/(м}^{\circ}\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.132)

$\mu=0,02\text{мг/(м}^2\text{чПа)}$ (по [1] прил. А.1, п.132)

4. Цементно-песчаная стяжка:

$\rho=1800\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\delta=0,03\text{м}$ (по заданию)

$\lambda=0,93\text{Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{С})$ (по [1] прил. А.1, п.39)

$\mu=0,09\text{мг}/(\text{мчПа})$ (по [1] прил. А.1, п.39)

5. 3 слоя гидроизола на битумной мастике:

$\rho=600\text{кг}/\text{м}^3$ (по заданию)

$\delta=0,0105\text{м}$ (по заданию)

$\lambda=0,17\text{Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{С})$ (по [1] прил. А.1, п.142)

$\mu=1,1\text{мг}/(\text{мчПа})$ (по [1] прил. И)

• Расчёт кровли на сопротивление паропроницанию умышленно произведён без учёта гидроизоляции (3 слоя гидроизола на битумной мастике).

• Определяем сопротивление паропроницанию ограждения:

$$R_n = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3};$$

$$R_n = \frac{0,14}{0,03} + \frac{0,31}{0,02} = 20,167\text{м}^2\text{чПа} / \text{мг};$$

• Определяем сопротивление паропроницанию слоёв ограждения от П.В.К. до наружной поверхности:

$$R_{\text{пн}} = \frac{\delta_4}{\mu_4} + \frac{\delta_5}{\mu_5};$$

$$R_{\text{пн}} = \frac{0,03}{0,09} + \frac{0,0105}{1,1} = 0,343\text{м}^2\text{чПа} / \text{мг}$$

• Определяем парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха:

$\varphi_x=50\%$ (по [1] табл. 4.1)

$E_x=2064\text{Па}$ (по [1] прил. Ж при $t_x=18^{\circ}\text{С}$ (по табл. 4.1))

$e_x = 0,01 \cdot 50\% \cdot 2064\text{Па} = 1032\text{Па}$

• Определяем температуру в П.В.К.:

$R_T=3,05\text{м}^2\text{С}/\text{Вт}$ (по расчёту 3.2.)

$t_{\text{н.от.}}=-2,0^{\circ}\text{С}$ (по [1] табл. 4.4, п.1)

$\alpha_e=8,7\text{Вт}/(\text{м}^2\text{С})$ (по [1] табл. 5.4, п.1)

$$t_{\text{п.в.к.}} = t_x - \frac{t_x - t_{\text{н.от.}}}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right);$$

$$t_{\text{п.в.к.}} = 18 - \frac{18 - (-2)}{3,05} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,14}{2,04} + 0,146 + \frac{0,31}{0,12} \right) = -1,102^{\circ}\text{С}$$

5.3. РАСЧЕТ ПОЛА НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ПАРОПРОНИЦАНИЮ

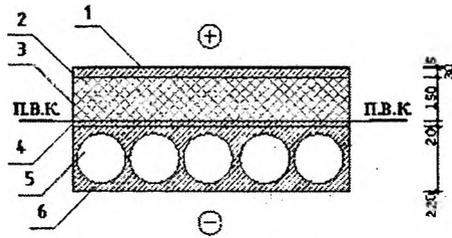


Рис. 7. Конструкция пола первого этажа.

1 – линолеум ПВХ на тканевой основе, 2 – цементно-песчаная стяжка, 3 – плиты арболитовые, 4 – цементно-перлитовая стяжка, 5 – замкнутая воздушная прослойка, 6 – железобетонная пустотная плита.

Принимаем по [1] табл.4.2 режим эксплуатации Б.

1. Линолеум ПВХ на тканевой основе:

$\rho=1600\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\delta=0,005\text{м}$ (по заданию)

$\lambda=0,29\text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.146)

$\mu=0,002\text{мг/(мчПа)}$ (по [1] прил. А.1, п.146)

2. Цементно-песчаная стяжка:

$\rho=1800\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\delta=0,03\text{м}$ (по заданию)

$\lambda=0,93\text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.39)

$\mu=0,09\text{мг/(мчПа)}$ (по [1] прил. А.1, п.39)

3. Плиты арболитовые:

$\rho=400\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\delta=0,15\text{м}$ (по расчёту 3.3.)

$\lambda=0,16\text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.90)

$\mu=0,26\text{мг/(мчПа)}$ (по [1] прил. А.1, п.90)

4. Цементно-перлитовая стяжка:

$\rho=1000\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\delta=0,02\text{м}$ (по заданию)

$\lambda=0,30\text{Вт/(м}^\circ\text{C)}$ (по [1] прил. А.1, п.44)

$\mu=0,15\text{мг/(мчПа)}$ (по [1] прил. А.1, п.44)

5. Замкнутая воздушная прослойка:

$R=0,226\text{м}^2\text{C} / \text{Вт}$ (найден методом интерполяции при $\delta=0,08\text{м}$ при отрицательной температуре в прослойке при потоке тепла сверху вниз, по [1] прил. Б)

$\mu=0$ (п. 9.5 [1])

3. Железобетонная плита пустотная:

$\rho=2500\text{кг/м}^3$ (по заданию)

$\delta=0,22\text{м}$ (приведенная $\delta=0,14\text{м}$)

$\lambda=2,04\text{Вт/(м}^\circ\text{С)}$ (по [1] прил. А.1, п. 1)

$\mu=0,03\text{мг/(м}^2\text{Па)}$ (по [1] прил. А.1, п. 1)

- Определяем сопротивление паропрооницанию ограждения:

$$R_n = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3};$$

$$R_n = \frac{0,005}{0,002} + \frac{0,03}{0,09} + \frac{0,15}{0,26} = 3,410 \text{ м}^2\text{чПа / мг};$$

- Определяем сопротивление паропрооницанию слоёв ограждения от П.В.К. до наружной поверхности:

$$R_{\text{пч}} = \frac{\delta_4}{\mu_4} + \frac{\delta_5}{\mu_5} + \frac{\delta_6}{\mu_6};$$

$$R_{\text{пч}} = \frac{0,02}{0,15} + \frac{0,14}{0,03} = 4,800 \text{ м}^2\text{чПа / мг}$$

- Определяем парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха:
 $\varphi_n=50\%$ (по [1] табл. 4.1)

$E_n=2064\text{Па}$ (по прил. Ж при $t_n=18^\circ\text{С}$ (по [1] табл. 4.1))

$e_n = 0,01 \cdot 50\% \cdot 2064 \text{ Па} = 1032 \text{ Па}$

- Определяем температуру в П.В.К.:

$R_T=1,631\text{м}^2\text{С/Вт}$ (по расчёту 3.3.)

$t_{\text{в.от}}=-2,0^\circ\text{С}$ (по [1] табл. 4.4, п.1)

$\alpha_n=8,7 \text{ Вт/(м}^2\text{С)}$ (по [1] табл. 5.4, п.1)

$$t_{\text{пвк}} = t_n - \frac{t_n - t_{\text{в.от}}}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right);$$

$$t_{\text{пвк}} = 18 - \frac{18 - (-2)}{1,631} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,29} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,15}{0,16} \right) = 4,487^\circ\text{С}$$

- Определяем максимальное парциальное давление водяного пара в П.В.К.:
 $E_n=841,733\text{Па}$ (методом интерполяции по [1] прил. Ж)

- Определяем парциальное давление водяного пара наружного воздуха:
 $\varphi_n=82\%$ (по [1] табл. 4.4)

$E_n=517\text{Па}$ (по [1] прил. Ж $t_{\text{в.от}}=-2,0^\circ\text{С}$ (по табл. 4.4, п.1))

$e_n = 0,01 \cdot 82\% \cdot 517 \text{ Па} = 423,94 \text{ Па}$

- Определяем требуемое сопротивление паропрооницанию:

$$R_n^{\text{тп}} = 4,8 \cdot \frac{1032 - 841,733}{841,733 - 423,94} = 2,186 \text{ м}^2\text{чПа / мг},$$

- По расчёту $R_n > R_n^{\text{тп}}$ ($3,410 \text{ м}^2\text{чПа/мг} > 2,186 \text{ м}^2\text{чПа/мг}$), следовательно дополнительной пароизоляции не требуется.

6. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ОГРАЖДЕНИИ

6.1. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ОГРАЖДЕНИИ БЕЗ УЧЕТА ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЯ ОГРАЖДЕНИЙ

Температура в любой точке поверхности определяется по формуле:

$$t_x = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right); \quad (16)$$

t_B - расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая по таблице 4.1 [1];
 t_H - расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С, принимаемая по таблице 4.3 [1] с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций D;
 α_B - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·С), принимаемый по таблице 5.4 [1];
 R_T - термическое сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции, м²·С/Вт, определяемое по формуле (3);
 n - количество слоёв ограждения от внутренней поверхности до искомой плоскости.
 Температура внутренней поверхности ограждения определяется по формуле:

$$t_v = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_T \cdot \alpha_B}; \quad (17)$$

Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции не учитываются.

6.1.1. НАРУЖНЫЕ СТЕНЫ

Конструкция стен соответствует рис. 1.

Принимаем по [1] табл. 4.2 режим эксплуатации Б.

1. Известково-песчаная штукатурка:

$\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$ (по заданию)

$\lambda = 0,81 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ (по [1] прил. А.1, п.41)

$\delta = 0,02 \text{ м}$ (по заданию)

$S = 9,76 \text{ Вт/(м}^2\text{С)}$ (по [1] прил. А.1, п.41)

2. Кладка из силикатного сплошного кирпича:

$\rho = 1900 \text{ кг/м}^3$ (по заданию)

$\lambda = 1,4 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ (по [1] прил. А.1, п.54)

$\delta = 0,25 \text{ м}$ (по заданию)

$S = 11,52 \text{ Вт/(м}^2\text{С)}$ (по [1] прил. А.1, п.54)

3. Плиты пенополиуретановые:

$\rho = 80 \text{ кг/м}^3$ (по заданию)

$\lambda = 0,05 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ (по [1] прил. А.1, п.112)

$\delta = 0,08 \text{ м}$ (по заданию)

$S = 0,70 \text{ Вт/(м}^2\text{С)}$ (по [1] прил. А.1, п.112)

1. Определяем тепловую инерцию:

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot S_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \cdot S_2 + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \cdot S_3;$$

$$D = \frac{0,02}{0,81} \cdot 9,76 + \frac{0,25}{1,4} \cdot 11,52 + \frac{0,08}{0,05} \cdot 0,70 = 3,426$$

2. Т.к. $1,5 < D < 4$, то $t_n = -31^\circ\text{C}$ (по [1] табл. 4.3)

- $t_b = 18^\circ\text{C}$ (по табл. 4.1)
- $R_T = 2,002 \text{ м}^2\text{C/Вт}$ (по расчёту 3.1.)
- $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\text{C)}$ (по [1] табл. 5.4. п.1)

3. Определяем температуру на внутренней поверхности ограждения (точка 1):

$$\tau_1 = t_n - \frac{t_B - t_n}{R_T \cdot \alpha_B};$$

$$\tau_1 = 18 - \frac{18 - (-31)}{2,002 \cdot 8,7} = 15,187^\circ\text{C};$$

4. Определяем температуру в точке 2:

$$\tau_2 = t_B - \frac{t_B - t_n}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right);$$

$$\tau_2 = 18 - \frac{18 - (-31)}{2,002} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,81} \right) = 14,573^\circ\text{C};$$

5. Определяем температуру в точке 3:

$$\tau_3 = t_B - \frac{t_B - t_n}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right);$$

$$\tau_3 = 18 - \frac{18 - (-31)}{2,002} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,25}{1,4} \right) = 10,192^\circ\text{C}$$

6. Определяем температуру в точке 4:

$$\tau_4 = t_B - \frac{t_B - t_n}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)$$

$$\tau_4 = 18 - \frac{18 - (-31)}{2,002} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,25}{1,4} + \frac{0,08}{0,05} \right) = -28,969^\circ\text{C}$$

7. Строим график изменения температур:

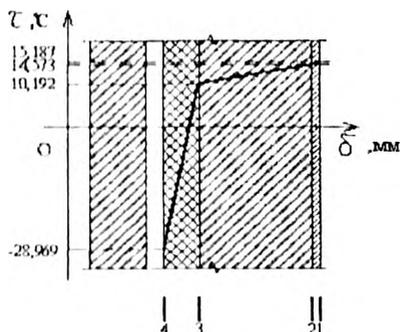


Рис. 8. График распределения температур в наружной стене.

6.1.2. КРОВЛЯ

Конструкция кровли соответствует рис.2.

Принимаем по [1] табл.4.2 режим эксплуатации Б.

1. Железобетонная плита густотная:

$$\rho=2500\text{кг/м}^3 \text{ (по заданию)}$$

$$\lambda=2,04\text{Вт/(м}^\circ\text{С)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.1)}$$

$$\delta=0,22\text{м (приведенная } \delta=0,14\text{м)}$$

$$S=19,70 \text{ Вт/(м}^2\text{°С)} \text{ (по [1] прил. А.1, п. 1)}$$

2. Замкнутая воздушная прослойка:

$R=0,146\text{м}^2\text{°С / Вт}$ (найден методом интерполяции по прил. Б при $\delta=0,08\text{м}$, при положительной температуре в прослойке, при потоке тепла снизу вверх)

$$S=0 \text{ (п. 5.3 [1])}$$

3. Газостекло:

$$\rho=300\text{кг/м}^3 \text{ (по заданию)}$$

$$\lambda=0,12\text{Вт/(м}^\circ\text{С)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.132)}$$

$$\delta=0,31\text{м (по заданию)}$$

$$S=1,56 \text{ Вт/(м}^2\text{°С)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.132)}$$

4. Цементно-песчаная стяжка:

$$\rho=1800\text{кг/м}^3 \text{ (по заданию)}$$

$$\lambda=0,93\text{Вт/(м}^\circ\text{С)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.39)}$$

$$\delta=0,03\text{м (по заданию)}$$

$$S=11,09 \text{ Вт/(м}^2\text{°С)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.39)}$$

5. 3 слоя гидроизола на битумной мастике:

$$\rho=600\text{кг/м}^3 \text{ (по заданию)}$$

$$\lambda=0,17\text{Вт/(м}^\circ\text{С)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.142)}$$

$$\delta=0,0105\text{м (по заданию)}$$

$$S=3,53 \text{ Вт/(м}^2\text{°С)} \text{ (по [1] прил. А.1, п.142)}$$

1. Определяем тепловую инерцию:

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot S_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \cdot S_2 + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \cdot S_3 + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \cdot S_4 + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \cdot S_5;$$

$$D = \frac{0,14}{2,04} \cdot 19,70 + \frac{0,31}{0,12} \cdot 1,56 + \frac{0,03}{0,93} \cdot 11,09 + \frac{0,0105}{0,17} \cdot 3,53 = 5,962$$

2. Т.к. $4 < D < 7$, то $t_m = \frac{-31^\circ\text{С} + (-25^\circ\text{С})}{2} = -28^\circ\text{С}$ (средняя температура наиболее холодных трех суток по [1] табл. 4.3)

- $t_b = 18^\circ\text{С}$ (по табл. 4.1)

- $R_f = 3,050 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$ (по расчёту 3.2.)

- $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\text{°С)}$ (по [1] табл. 5.4, п.1)

3. Определяем температуру на внутренней поверхности ограждения (точка 1):

$$\tau_1 = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_T \cdot \alpha_B};$$

$$\tau_1 = 18 - \frac{18 - (-28)}{3,05 \cdot 8,7} = 16,266^\circ\text{C};$$

4. Определяем температуру в точке 2:

$$\tau_2 = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right);$$

$$\tau_2 = 18 - \frac{18 - (-28)}{3,05} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,14}{2,04} + 0,146 \right) = 13,023^\circ\text{C};$$

5. Определяем температуру в точке 3:

$$\tau_3 = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right);$$

$$\tau_3 = 18 - \frac{18 - (-28)}{3,05} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,14}{2,04} + 0,146 + \frac{0,31}{0,12} \right) = -25,934^\circ\text{C}$$

6. Определяем температуру в точке 4:

$$\tau_4 = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right);$$

$$\tau_4 = 18 - \frac{18 - (-28)}{3,05} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,14}{2,04} + 0,146 + \frac{0,31}{0,12} + \frac{0,03}{0,93} \right) = -26,416^\circ\text{C}$$

7. Определяем температуру в точке 5:

$$\tau_5 = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right);$$

$$\tau_5 = 18 - \frac{18 - (-28)}{3,05} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,14}{2,04} + 0,146 + \frac{0,31}{0,12} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,0105}{0,17} \right) = -27,351^\circ\text{C}$$

8. Строим график изменения температур:

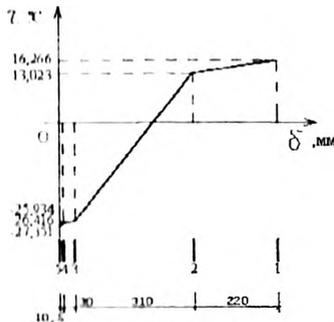


Рис. 9. График изменения температур в покрытии.

6.1.3. ПОЛ ПЕРВОГО ЭТАЖА

Конструкция пола соответствует рис.3.

1. Тепловая инерция:

$$D=5,668(\text{по расчёту 3.3.})$$

2. Т.к. $4 < D < 7$, то $t_m = \frac{-31^\circ\text{C} + (-25^\circ\text{C})}{2} = -28^\circ\text{C}$ (Средняя температура наиболее холодных трех суток по [1] табл. 4.3)

- $t_B = 18^\circ\text{C}$ (по [1] табл. 4.1)
- $R_T = 1,631 \text{ м}^2\text{C/Вт}$ (по расчёту 3.3.)
- $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\text{C)}$ (по [1] табл. 5.4, п.1)

3. Определяем температуру на внутренней поверхности ограждения (точка 1):

$$\tau_1 = t_B - \frac{t_B - t_m}{R_T \cdot \alpha_B};$$
$$\tau_1 = 18 - \frac{18 - (-28)}{1,631 \cdot 8,7} = 14,758^\circ\text{C};$$

4. Определяем температуру в точке 2:

$$\tau_2 = t_B - \frac{t_B - t_m}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right);$$
$$\tau_2 = 18 - \frac{18 - (-28)}{1,631} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,29} \right) = 14,277^\circ\text{C}$$

5. Определяем температуру в точке 3:

$$\tau_3 = t_B - \frac{t_B - t_m}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right);$$
$$\tau_3 = 18 - \frac{18 - (-28)}{1,631} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,29} + \frac{0,03}{0,93} \right) = 13,375^\circ\text{C}$$

6. Определяем температуру в точке 4:

$$\tau_4 = t_B - \frac{t_B - t_m}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right);$$
$$\tau_4 = 18 - \frac{18 - (-28)}{1,631} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,29} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,15}{0,16} \right) = 13,080^\circ\text{C}$$

7. Определяем температуру в точке 5:

$$\tau_5 = t_B - \frac{t_B - t_m}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right);$$

$$\tau_5 = 18 - \frac{18 - (-28)}{1,631} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,29} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,15}{0,16} + \frac{0,02}{0,30} \right) = -14,970^\circ\text{C}$$

8. Определяем температуру в точке б:

$$\tau_6 = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_{5-}}{\lambda_{5-}} \right);$$

$$\tau_6 = 18 - \frac{18 - (-28)}{1,631} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,29} + \frac{0,03}{0,93} + \frac{0,15}{0,16} + \frac{0,02}{0,30} + 0,226 + \frac{0,14}{2,04} \right) = -23,290^\circ\text{C}$$

9. Строим график изменения температур:

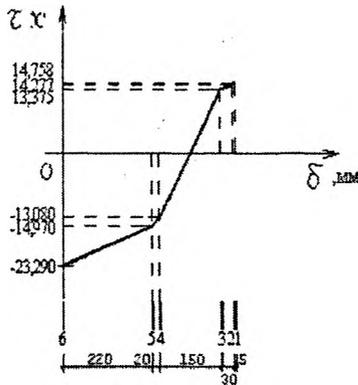


Рис. 10. График изменения температур в конструкции пола.

6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ И ТЕМПЕРАТУРЫ В ЛЮБОЙ ТОЧКЕ ОГРАЖДЕНИЯ С УЧЕТОМ ВОЗДУХОПРОНИЦАНИЯ ОГРАЖДЕНИЯ

1. Температура в любой точке ограждения определяется по формуле:

$$\tau_x = t_w + (t_s - t_w) \frac{e^{CGR_x} - 1}{e^{CGR} - 1} \quad (18)$$

$C = 0,74 \text{ кг/м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$,

G – фактическое количество воздуха, проходящее через ограждение, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$, определяется по формуле:

$$G = \frac{\Delta P}{R_B}; \quad (19)$$

R_B – сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций зданий и сооружений, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} / \text{Па} \cdot \text{кг}$.

R_x – сопротивление теплопередаче ограждения от наружной поверхности до исходной точки или плоскости, $\text{м}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт}$, определяется по формуле:

$$R_x = \sum_{i=1}^n R_{i\kappa} + \frac{1}{\alpha_{\text{CH}}}; \quad (20)$$

n – количество слоёв до исходной точки или плоскости;

R_T - сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2\text{°C/Вт}$;

1. Сопротивление теплопередаче в любой точке ограждения R_T^* , $\text{м}^2\text{°C/Вт}$, определяется по формуле:

$$R_T^* = \frac{e^{\alpha_{\text{CR}} R_T} - 1}{C G e^{\alpha_{\text{CR}} R_T}}; \quad (21)$$

6.2.1. СТЕНА

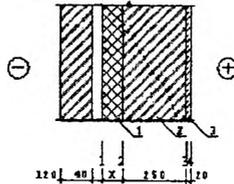


Рис. 11. Конструкция стены.

1 – плиты пенополиуретановые, 2 – кладка из силикатного сплошного кирпича, 3 – известково-песчаная штукатурка.

1. $R_{\text{В}}: R_U = 288,333 \text{ м}^2\text{чПа/кг}$ (по расчёту 4.1.) ;
2. $t_{\text{В}} = 18^\circ\text{C}$ (по [1] табл. 4.1);
3. $t_{\text{Н}} = -31^\circ\text{C}$ (по [1] табл. 4.3);
4. $C = 0,24 \text{ кКл/кг}^\circ\text{C}$;
5. $\Delta P = 27,270 \text{ Па}$ (по расчёту 4.1.) ;
6. $R_T = R_{\text{СТЕНА}} = 2,002 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (по расчёту 3.1.) ;
7. $\alpha_{\text{Н}} = 12 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$ (по [1] табл. 5.7, п.3);
8. Определяем фактическое количество воздуха:

$$G = \frac{27,270}{288,333} = 0,095 \text{ кг/м}^2\text{ч}$$

9. Определяем температуру в точке 1:

$$R_1 = \frac{1}{12} = 0,083 \text{ м}^2\text{°C/Вт};$$

$$t_1 = -31 + (18 - (-31)) \frac{e^{0,24 \cdot 0,095 \cdot 0,083} - 1}{e^{0,24 \cdot 0,095 \cdot 2,002} - 1} = -29,013^\circ\text{C};$$

10. Определяем температуру в точке 2:

$$R_2 = \frac{0,08}{0,05} + \frac{1}{12} = 1,683 \text{ м}^2\text{°C/Вт};$$

$$\tau_2 = 31 + (18 - (-31)) \frac{e^{0,24+0,095+1,683} - 1}{e^{0,24+0,095+2,002} - 1} = 10,042^\circ\text{C}$$

11. Определяем температуру в точке 3:

$$R_3 = \frac{0,25}{1,4} + \frac{0,08}{0,05} + \frac{1}{12} = 1,862 \text{ м}^2\text{C/Вт};$$

$$\tau_3 = -31 + (18 - (-31)) \frac{e^{0,24+0,095+1,862} - 1}{e^{0,24+0,095+2,002} - 1} = 14,500^\circ\text{C}$$

12. Определяем температуру в точке 4:

$$R_4 = \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,25}{1,4} + \frac{0,08}{0,05} + \frac{1}{12} = 1,887 \text{ м}^2\text{C/Вт}; \quad \tau_4 = -31 + (18 - (-31)) \frac{e^{0,24+0,095+1,887} - 1}{e^{0,24+0,095+2,002} - 1} = 15,124^\circ\text{C}$$

13. Строим график изменения температур:

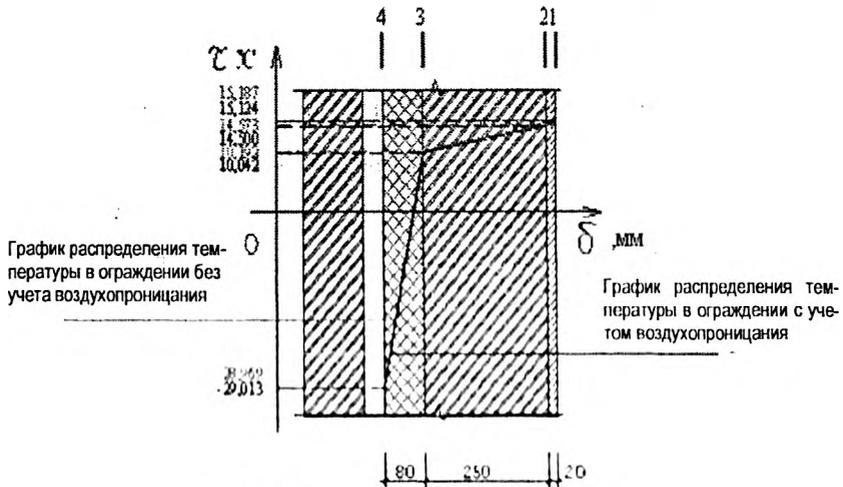


Рис. 12. График изменения температур.

Сопротивление теплопередаче стены с учетом сквозной фильтрации наружного воздуха определяем по формуле (21)

$$R_1 = \frac{e^{0,24+0,095+2,002} - 1}{0,24 + 0,095 \cdot e^{0,24+0,095+2,002}} = 1,957 \text{ м}^2\text{C/Вт}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. СНБ 2.04 01 97. Строительная теплотехника.
2. Пособие 2 04 01 96 к СНБ 2.01.01. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций.
3. СНиП 2.04 05 91 Отопление, вентиляция и кондиционирование.
4. Ильинский ВМ Строительная теплотехника. М., 1974.

Учебное издание

Составители: Русак Николай Николаевич
Матчан Виктор Александрович
Замойская Надежда Владимировна

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению курсовой работы

«Теплофизический расчет жилого здания»
для студентов специальности 69 01 01 «Архитектура»

Ответственный за выпуск *Русак Н.Н.*

Редактор *Строкач Т.В.*

Компьютерная верстка *Боровикова Е.А.*

Корректор *Никитчик Е.В.*

Подписано к печати 23.03.2005 г. Формат 60x84 1/16. Усл. п. л. 1,6. Уч.-изд. л. 1,75.
Бумага писчая. Заказ № 391. Тираж 120 экз. Отпечатано на ризографе учреждения
образования «Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.