

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра архитектурных конструкций

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения курсового проекта

«Теплотехнический расчет жилого здания»

для студентов специальностей

1-69 01 01 «Архитектура»,

1-70 04 02 «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана
воздушного бассейна» и

1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»

УДК 721.05(07)

Методические указания содержат необходимые данные для теплофизического расчета жилого здания. Приведены основные теоретические данные и примеры теплофизического расчета жилого здания.

Методические указания предназначены для студентов специальностей 1-69 01 01 «Архитектура», 1-70 04 02 «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» при разработке курсовых проектов, а также для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» при выполнении дипломных проектов.

Составители: Русак Н.Н., доцент, к.т.н.
Матчан В.А., доцент, к.т.н.
Давыдюк А.И., ассистент
Тур С.А., ассистент

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	4
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	5
2.1. Нормативное сопротивление теплопередаче	5
2.2. Расчет сопротивления теплопередаче ограждения	6
2.3. Построение графиков распределения температуры в ограждениях	8
2.4. Расчет ограждающих конструкций на сопротивление паропрооницанию	8
2.5. Расчет ограждающих конструкций на сопротивление воздухопроницаемости	9
3. РАСЧЕТ ОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ СТЕНЫ	11
3.1. Определение толщины утеплителя и фактического сопротивления теплопередаче	11
3.2. Построение графика распределения температуры	12
3.3. Расчет на сопротивление паропрооницанию	13
3.4. Расчет на сопротивление воздухопроницанию	15
4. РАСЧЕТ НЕОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ СТЕНЫ	16
4.1. Определение толщины утеплителя и фактического сопротивления теплопередаче	16
4.2. Построение графика распределения температуры	18
4.3. Определение фактического сопротивления теплопередаче с учетом неоднородности конструкции	20
4.4. Расчет на сопротивление паропрооницанию	21
4.5. Расчет на сопротивление воздухопроницанию	23
5. РАСЧЕТ ОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРДАЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ	24
5.1. Определение толщины утеплителя и фактического сопротивления теплопередаче	24
5.2. Построение графика распределения температуры	25
5.3. Расчет на сопротивление паропрооницанию	26
6. РАСЧЕТ НЕОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРДАЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ	28
6.1. Определение толщины утеплителя и фактического сопротивления теплопередаче	28
6.2. Построение графика распределения температуры	31
6.3. Расчет на сопротивление паропрооницанию	32
7. РАСЧЕТ ОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОЛА ПЕРВОГО ЭТАЖА	34
7.1. Определение толщины утеплителя и фактического сопротивления теплопередаче	34
7.2. Построение графика распределения температуры	35
7.3. Расчет на сопротивление паропрооницанию	36
8. РАСЧЕТ НЕОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОЛА ПЕРВОГО ЭТАЖА	38
8.1. Определение толщины утеплителя и фактического сопротивления теплопередаче	38
8.2. Построение графика распределения температуры	40
8.3. Расчет на сопротивление паропрооницанию	42
ЛИТЕРАТУРА	44
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КОЭФФИЦИЕНТ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ДАВЛЕНИЯ ВЕТРА	45
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ	46
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	47

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Настоящие методические указания разработаны для облегчения пользования студентами строительными нормами Республики Беларусь при выполнении курсовой работы, содержат 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 ТКП 45-2.04-43-2006 "Строительная теплотехника" направлены на решение вышеуказанной проблемы и устанавливаются 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 воздухопроницаемости.

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. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Нормативное сопротивление теплопередаче

Сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций R_t , за исключением наружных дверей, ворот и ограждающих конструкций помещений с избытками явной теплоты, следует принимать не менее нормативного сопротивления теплопередаче $R_{t \text{ норм}}$, указанного в таблице 1.

Таблица 1. Нормативное сопротивление теплопередаче

Ограждающие конструкции	Нормативное сопротивление теплопередаче $R_{t \text{ норм}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$
Жилые и общественные здания	
А. Строительство, реконструкция, модернизация	
Наружные стены зданий	3,2
Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами	6,0
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями	2,5
Заполнения световых проемов	1,0
Б. Ремонт и реставрация	
1. Ограждающие конструкции зданий, построенных в соответствии с требованиями строительных норм по строительной теплотехнике, действовавших с 1993 г.	
1.1. Наружные стены крупнопанельных, каркасно-панельных и объемно-блочных зданий	2,5
1.2. Наружные стены монолитных зданий	2,2
1.3. Наружные стены из штучных материалов (кирпич, шлакоблоки и т. п.)	2,0
1.4. Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия (кроме теплых чердаков) и перекрытия над проездами	3,0
1.5. Покрытия теплых чердаков	По расчету, обеспечивая перепад между температурой потолка и температурой воздуха помещения последнего этажа не более 2 °C
1.6. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями	По расчету, обеспечивая перепад между температурой пола и температурой воздуха помещения первого этажа не более 2 °C
1.7. Заполнения световых проемов	0,6
2. Ограждающие конструкции зданий, построенных в соответствии с требованиями строительных норм по строительной теплотехнике, действовавших до 1993 г.	
2.1. Сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций (за исключением заполнений световых проемов)	Не менее требуемого
2.2. Заполнения световых проемов	0,6
Ограждающие конструкции	Нормативное сопротивление теплопередаче $R_{t \text{ норм}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$
Здания производственного назначения	
А. Строительство, реконструкция, модернизация	
Наружные стены зданий	2,0
Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами	3,0
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями	По расчету, обеспечивая перепад между температурой пола и температурой воздуха помещения первого этажа не более 2 °C
Заполнения световых проемов	0,6

Продолжение таблицы 1

Б. Ремонт	
1. Ограждающие конструкции зданий, построенных в соответствии с требованиями строительных норм по строительной теплотехнике, действовавших с 1993 г.	
1.1. Наружные стены зданий	2,0
1.2. Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия (кроме теплых чердаков) и перекрытия над проездами	3,0
1.3. Покрытия теплых чердаков	По расчету, обеспечивая перелад между температурой потолка и температурой воздуха помещения последнего этажа не более 2 °С
1.4. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями	По расчету, обеспечивая перелад между температурой пола и температурой воздуха помещения первого этажа не более 2 °С
1.5. Заполнения световых проемов	0,6
2. Ограждающие конструкции зданий производственного назначения, построенных в соответствии с требованиями строительных норм по строительной теплотехнике, действовавших до 1993 г.	
2.1. Ограждающие конструкции зданий (помещений) с расчетной температурой внутреннего воздуха более 12 °С	Не менее требуемого
2.2. Ограждающие конструкции зданий с расчетной температурой внутреннего воздуха 12 °С и ниже (за исключением заполнений световых проемов)	Не менее требуемого
Заполнения световых проемов (окна, балконные двери)	0,31
Фонари	0,15

2.2 Расчет сопротивления теплопередаче ограждения

Термическое сопротивление однородной ограждающей конструкции, а также слоя многослойной конструкции R , м²°С/Вт, следует определять по формуле:

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

где δ – толщина слоя, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции в условиях эксплуатации согласно таблице 4.2 [1], Вт/м°С, принимаемый по приложению А [1].

Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями R_k , м²°С/Вт, следует определять по формуле:

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

где R_1, R_2, R_n – термические сопротивления отдельных слоев конструкции, м²°С/Вт, определяемые по формуле (1), и замкнутых воздушных прослоек, принимаемые по приложению Б [1];

n – количество слоёв.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_T , м²°С/Вт, следует определять по формуле:

$$R_T = \frac{1}{\alpha_n} + R_k + \frac{1}{\alpha_{вн}}, \quad (3)$$

где R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, м²°С/Вт, определяемое по формуле (2);

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

α_n - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$), принимаемый по таблице 5.7 [1].

Сопротивление теплопередачи конструкции должно быть не менее нормативного, определяемого по таблице 1. Если в данной таблице содержатся указания, что нормативное сопротивление необходимо определять по расчету, то требуется воспользоваться формулой:

$$R_{норм} = \frac{n \cdot (t_n - t_n)}{\alpha_n \cdot \Delta t_n}, \quad (4)$$

где t_n - расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая по таблице 4.1 [1], $^\circ C$;

t_n - расчетная зимняя температура наружного воздуха, $^\circ C$, принимаемая по таблице 4.3 [1] с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций D (табл.5.2.[1]);

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

Δt_n - расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, $^\circ C$, принимаемый по таблице 5.1[1].

Тепловую инерцию ограждающей конструкции следует определять по формуле:

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

где R_i - термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, 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 [1], принимаемые по приложению А [1].

Если какой-либо слой является неоднородным следует определять средний коэффициент теплоусвоения этого слоя S_{cp} по формуле:

$$s_{cp} = \frac{s_1 F_1 + s_2 F_2 + \dots + s_n F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}, \quad (6)$$

где F_1, F_2, \dots, F_n - площадь отдельных участков конструкции (или части конструкции), m^2 ;

s_1, s_2, \dots, s_n - коэффициент теплоусвоения отдельных материалов слоя, Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$).

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

Термическое сопротивление многослойной неоднородной ограждающей конструкции $R_{кв}$, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ необходимо определять следующим образом:

а) плоскостями, параллельными направлению теплового потока, ограждающую конструкцию (или ее часть) условно разрезать на участки, из которых одни участки могут быть однородными (однослойными) - из одного материала, а другие - неоднородными - из слоев разных материалов, и определить термическое сопротивление конструкции $R_{кв}$, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, по формуле:

$$R_{кв} = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \dots + \frac{F_n}{R_n}}, \quad (7)$$

где F_1, F_2, \dots, F_n - площадь отдельных участков конструкции (или части конструкции), m^2 ;

R_1, R_2, \dots, R_n - термическое сопротивление указанных отдельных участков конструкции, определяемое по формуле (1) для однородных участков и по формуле (2) - для неоднородных участков.

б) плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, ограждающую конструкцию (или ее часть, принятую для определения $R_{ка}$) условно разрезать на слои, из которых одни слои могут быть однородными — из одного материала, а другие — неоднородными — из однослойных участков разных материалов. Определить термическое сопротивление однородных слоев по формуле (1), неоднородных слоев — по формуле (6) термическое сопротивление $R_{кб}$ ограждающей конструкции — как сумму значений термического сопротивления отдельных однородных и неоднородных слоев — по формуле (2).

Если $R_{ка}$ не превышает $R_{кб}$ более чем на 25%, термическое сопротивление теплопередачи неоднородных конструкций $R_{к}$, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, определяется по формуле:

$$R_k = \frac{R_{ка} + 2 \cdot R_{кб}}{3} \quad (8)$$

Если превышает, то точное значение термического сопротивления данной конструкции можно найти только из расчета температурного поля.

2.3. Построение графиков распределения температуры в ограждениях

Температура в любой точке поверхности определяется по формуле:

$$\tau_x = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right), \quad (9)$$

где t_e - расчетная температура внутреннего воздуха, $^\circ C$, принимаемая по таблице 4.1[1];

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

α_e - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$, принимаемый по таблице 5.4[1];

R_T - термическое сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, определяемое по формуле (3);

Температура внутренней поверхности ограждения определяется по формуле:

$$\tau_x = t_e - \frac{t_e - t_n}{\alpha_e \cdot R_T} \quad (10)$$

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

2.4. Расчет ограждающих конструкций на сопротивление паропрооницанию

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 (наименее плотным материалом). Сопротивление паропрооницанию ограждения R_n , $m^2 \cdot Па / мг$, следует определять по формуле:

$$R_n = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} \quad (11)$$

где 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 приложению А.1 [1].

Сопротивление паропрооницанию ограждения R_n должно быть не менее требуемого сопротивления паропрооницанию $R_{n, тр}$.

Требуемое сопротивление паропрооницанию $R_{n\text{ тр}}$ следует определять по формуле:

$$R_{n\text{ тр}} = R_{n\text{ в}} \frac{e_{\text{в}} - E_{\text{в}}}{E_{\text{в}} - e_{\text{в}}}. \quad (12)$$

$R_{n\text{ в}}$ - сопротивление паропрооницанию слоёв ограждения от П.В.К. до наружной поверхности следует определять по формуле:

$$R_{n\text{ в}} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} \quad (13)$$

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

$e_{\text{в}}$ - парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетных температуре и влажности этого воздуха, определяемое по формуле:

$$e_{\text{в}} = 0,01 \cdot \varphi_{\text{в}} \cdot E_{\text{в}}, \quad (14)$$

$\varphi_{\text{в}}$ - расчетная относительная влажность воздуха внутри помещения для жилых и общественных зданий определяется по таблице 4.1 [1], для других зданий по соответствующим нормам проектирования, %;

$E_{\text{в}}$ - максимальное парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, определяется методом интерполяции по приложению Е [1], в зависимости от $t_{\text{в}}$;

$E_{\text{в}}$ - максимальное парциальное давление водяного пара в П.В.К., Па, принимаемая по приложению Е [1], при температуре $t_{\text{пвк}}$, °С, определяемой по формуле:

$$t_{\text{пвк}} = t_{\text{в}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{вн}}}{R_{\text{т}}} \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum R \right) \quad (15)$$

$t_{\text{в.от}}$ - средняя температура за отопительный период, °С, определяем для заданного района строительства по таблице 4.4 [1];

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

$e_{\text{вн}}$ - парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, при расчетных температуре и влажности этого воздуха, определяемое по формуле:

$$e_{\text{вн}} = 0,01 \cdot \varphi_{\text{н}} \cdot E_{\text{н}} \quad (16)$$

$\varphi_{\text{н}}$ - расчетная относительная влажность воздуха снаружи помещения для жилых и общественных зданий определяется по таблице 4.1 [1], для других зданий – по соответствующим нормам проектирования, %;

$E_{\text{н}}$ - максимальное парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, определяется методом интерполяции по приложению Е [1], в зависимости от значения $t_{\text{в.от}}$, найденного по таблице 4.1 [1].

Определив, $R_{n\text{ тр}}$ сравниваем с $R_{n\text{ в}}$. Если $R_{n\text{ в}}$ меньше $R_{n\text{ тр}}$, тогда необходимо устраивать дополнительную пароизоляцию.

2.5. Расчет ограждающих конструкций на сопротивление воздухопроницаемости

Удельный вес воздуха γ , Н/м³, определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t} \quad (17)$$

где t – температура воздуха, °С, внутреннего – согласно табл.4.1[1], наружного – равна средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по табл.4.3 [1].

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

$$\Delta p = H(\gamma_n - \gamma_e) + 0,5 \rho_n V_{cp}^2 (c_n - c_e) k, \quad (18)$$

где H – высота здания от поверхности земли до верха карниза, м;
 ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м³, определяемая по формуле;

$$\rho_n = \frac{\gamma_n}{9,8}; \quad (19)$$

γ_n, γ_e – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м³, определяемый по формуле (17);

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

c_n, c_e – аэродинамические коэффициенты, соответственно, наветренной и подветренной поверхностей ограждающих конструкций здания, принимаемые по приложению 4 [2]. Для отдельно стоящих зданий с плоской кровлей $c_n=0,8$; $c_e=0,6$. Для зданий с двускатной кровлей $c_n=0,8$, а c_e можно определить по таблице 2.

Таблица 2 – Аэродинамический коэффициент подветренной поверхности

В/L	H/L		
	<=0,5	1	>=2
<=1	-0,4	-0,5	-0,6
>=2	-0,5	-0,6	-0,6

k_i – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, принимаемый по табл. 6 [2] или по приложению 1. Расчетное сопротивление воздухопроницанию многослойной конструкции определяется как сумма сопротивлений всех её слоёв:

$$R_w = \sum_{i=1}^n R_{wi} \quad (20)$$

где R_{wi} – сопротивление воздухопроницанию отдельных слоёв конструкции, м²чПа/кг, определяется экспериментально.

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_w , за исключением заполнений световых проемов, должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию $R_{w,т}$, м²чПа/кг, определяемого по формуле:

$$R_{w,т} = \frac{0,216 \Delta p^{2,3}}{G_{норм}}; \quad (21)$$

где Δp – расчетная разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па, определяемая в соответствии с формулой (3.17);

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

Если сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций зданий и сооружений R_w больше требуемого сопротивления воздухопроницанию $R_{w,т}$, необходимо изменить конструкцию стены (например, добавить дополнительный слой).

3. РАСЧЕТ ОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ СТЕНЫ

3.1. Определение толщины утеплителя и фактического сопротивления теплопередаче

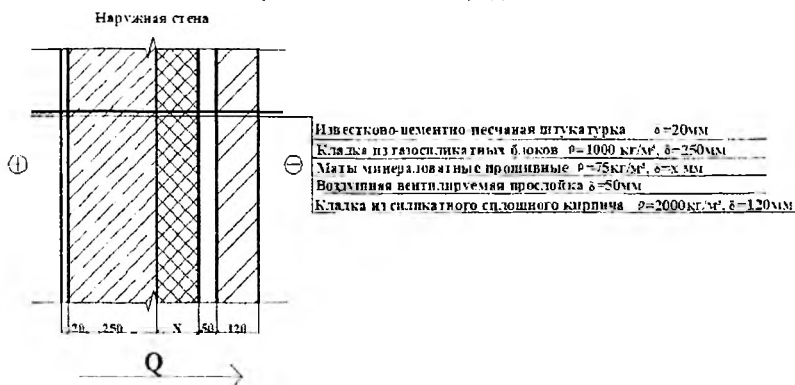


Рисунок 1 – Наружная стена

1. Принимаем по табл.4.2 [1] режим эксплуатации Б и определяем характеристики материалов соответственно этому режиму:

1) известково-цементно-песчаная штукатурка:

$$\lambda = 0,87 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, \quad s = 10,42 \text{ Вт/м}^2\text{С}, \quad \mu = 0,098 \text{ мг/мчПа (прил. А.1 [1], п.40);}$$

2) кладка из газосиликатных блоков:

$$\lambda = 0,37 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, \quad s = 5,53 \text{ Вт/м}^2\text{С}, \quad \mu = 0,11 \text{ мг/мчПа (прил. А.1 [1], п.29);}$$

3) маты минераловатные прошивные:

$$\lambda = 0,051 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, \quad s = 0,66 \text{ Вт/м}^2\text{С}, \quad \mu = 0,56 \text{ мг/мчПа (прил. А.1 [1], п.99);}$$

4) воздушная прослойка:

$$\lambda = 0, \quad \mu = 0;$$

5) кладка из силикатного сплошного кирпича:

$$\lambda = 1,63 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, \quad s = 12,13 \text{ Вт/м}^2\text{С}, \quad \mu = 0,088 \text{ мг/мчПа (по прил. А.1 [1], п.53).$$

2. Учитывая то, что сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче, находим толщину утеплителя:

$$R_{тн} = 3,2 \text{ м}^2\text{С/Вт (наружные стены зданий по табл.5.1 [1], п.1);}$$

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

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

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.

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

$$3,2 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,37} + \frac{x}{0,051} + \frac{1}{12}$$

$$X = 0,117 \text{ м.}$$

Принимаем толщину утеплителя данной наружной стены $\delta_3 = 0,12 \text{ м.}$

3. Определяем сопротивление теплопередаче наружной стены при данной толщине утеплителя:

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

$$R_{\text{стены}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,37} + \frac{0,12}{0,051} + \frac{1}{12} = 3,250 \text{ м}^2\text{С/Вт}$$

3.2. Построение графика распределения температуры

1. Определяем тепловую инерцию:

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

$$D = \frac{0,02}{0,87} 10,42 + \frac{0,25}{0,37} 5,53 + \frac{0,12}{0,051} 0,66 = 5,53.$$

2. Т.к. $4 < D < 7$, то

$$t_w = \frac{t_{\text{в}0,92} + t_{\text{в}5}}{2},$$

где $t_{\text{в}0,92} = -29^\circ\text{C}$ (температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 табл. 4.3 [1] для Могилёвской области);

$t_{\text{в}5} = -25^\circ\text{C}$ (температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 табл. 4.3 [1] для Могилёвской области).

$$t_w = \frac{29 - 25}{2} = -27^\circ\text{C}.$$

$t_{\text{в}} = 18^\circ\text{C}$ (табл. 4.1 [1]);

$R_{\text{т}} = 3,25 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ (п. 3.1);

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

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

$$t_1 = t_w - \frac{t_w - t_{\text{в}}}{\alpha_{\text{в}} \cdot R_{\text{т}}}$$

$$t_1 = 18 - \frac{18 - (-27)}{8,7 \cdot 3,25} = 16,41^\circ\text{C}$$

4. Определяем температуру в точке 2:

$$t_2 = t_w - \frac{t_w - t_{\text{в}}}{R_{\text{т}}} \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right)$$

$$t_2 = 18 - \frac{18 - (-27)}{3,25} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} \right) = 16,09^\circ\text{C}$$

5. Определяем температуру в точке 3:

$$t_3 = t_w - \frac{t_w - t_{\text{в}}}{R_{\text{т}}} \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right)$$

$$t_3 = 18 - \frac{18 - (-27)}{3,25} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,37} \right) = 6,73^\circ\text{C}$$

6. Определяем температуру в точке 4:

$$t_4 = t_e - t_e - t_i \cdot \left(\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)$$

$$t_4 = 18 - \frac{18 - (-27)}{3.25} \left(\frac{1}{8.7} + \frac{0.02}{0.87} + \frac{0.25}{0.37} + \frac{0.12}{0.051} \right) = -25.85^\circ\text{C}$$

7. Строим график изменения температур:

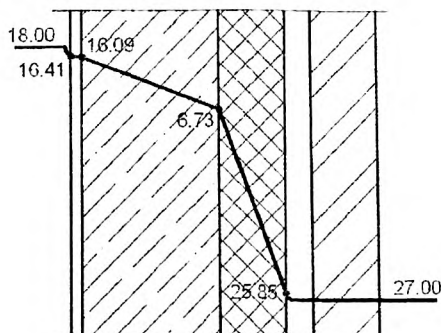


Рисунок 2 – График распределения температур в наружной стене

8. Определяем значение теплового потока:

$$Q_n = \alpha_e (t_e - t_{e,n}) = 8.7 \cdot (18 - 16.41) = 13.83 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_n = \alpha_i (t_{i,n} - t_i) = 12 \cdot (-25.845 - (-27)) = 13.86 \text{ Вт/м}^2$$

Т.к. $13.83 \approx 13.86$, график построен верно.

3.3. Расчет на сопротивление паропрооницанию



Рисунок 3 – Наружная стена

Из условия того, что воздушная прослойка не работает, определяем:

1) сопротивление паропрооницанию ограждения:

$$R_n = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} + \frac{\delta_4}{\mu_4}$$

$$R_n = \frac{0,02}{0,098} + \frac{0,250}{0,11} + \frac{0,12}{0,56} + 0 = 2,684 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг};$$

2) сопротивление паропрооницанию слоёв ограждения от П.В.К. до наружной поверхности:

$$R_{n,n} = \frac{\delta_5}{\mu_5};$$

$$R_{n,n} = \frac{0,12}{0,088} = 1,36 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг};$$

3) парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха:

$$\varphi_n = 55\% \text{ (табл. 4.1 [1])}$$

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

$$e_n = 0,01 \cdot 55 \cdot 2064 = 1135,2 \text{ Па}$$

4) температуру в П.В.К.:

$$R_T = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{X}{\lambda_3} + R_{n,n} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{1}{\alpha_n}$$

$$R_{T,T} = 0,17 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт (приложение Б.1 [1] п.4)}$$

$$R_T = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,25}{0,37} + \frac{0,12}{0,051} + 0,17 + \frac{0,12}{1,63} + \frac{1}{12} = 3,45, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

$t_{н.от.} = -1,9^\circ \text{C}$ (табл. 4.4 [1], п.6)

$\sigma_b = 8,7 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$ (табл. 5.4 [1], п.1)

$$\sum R = \frac{0,02}{0,87} + \frac{0,250}{0,37} + \frac{0,11}{0,051} + 0,17 = 3,026 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

$$t - t_{н.от.} = \frac{t_n - t_{н.от.}}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum R \right);$$

$$t = 18 - \frac{18 - (-1,9)}{3,45} \left(\frac{1}{8,7} + 3,026 \right) = -0,12^\circ \text{C};$$

5) максимальное парциальное давление водяного пара в П.В.К.:

$$E_k = 616,52 \text{ Па (методом интерполяции по прил. Е [1]);}$$

6) парциальное давление водяного пара наружного воздуха:

$$e_{н.от.} = 439 \text{ Па (по табл. 4.4 [1]);}$$

7) требуемое сопротивление паропрооницанию:

$$R_{n,д} = 1,36 \frac{1135,2 - 616,52}{616,52 - 439} = 3,974 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

По расчёту $R_n < R_{n,д}$ ($1,36 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} < 3,974 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$), в связи с этим применение данной конструкции недопустимо без воздушной прослойки.

3. 4. Расчёт на сопротивление воздухопроницанию

1 Определяем расчётное сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций:

1) известково-цементно-песчаная штукатурка:

$$\delta_1 = 20 \text{ мм},$$

$$R_{в1} = \frac{373 \cdot 20}{15} = 497 \text{ м}^2 \cdot \text{чПа} / \text{кг}. \text{ (Приложение 2);}$$

2) кладка из газосиликатных блоков:

$$\delta_2 = 250 \text{ мм},$$

$$R_{в2} = \frac{21 \cdot 250}{140} = 37,5 \text{ м}^2 \cdot \text{чПа} / \text{кг}. \text{ (Приложение 2);}$$

3) маты минераловатные прошивные:

$$\delta_3 = 120 \text{ мм},$$

$$R_{в3} = \frac{2 \cdot 120}{50} = 4,8 \text{ м}^2 \cdot \text{чПа} / \text{кг}. \text{ (Приложение 2).}$$

Так как в данной конструкции воздушная прослойка является вентилируемой, то слои, расположенные между ней и наружной поверхностью, а также сама воздушная прослойка в расчёте не учитываются.

$$R_v = \sum_{i=1}^n R_{vi} = 497 + 37,5 + 4,8 = 539,3 \text{ м}^2 \cdot \text{чПа} / \text{кг}.$$

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

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 + t_n} = \frac{3463}{273 + 18} = 11,900 \text{ Н/м}^3;$$

$$\gamma_b = \frac{3463}{273 + t_b} = \frac{3463}{273 + 25} = 13,964 \text{ Н/м}^3.$$

3. Определяем плотность наружного воздуха:

$$\rho_n = \frac{13,964}{9,8} = 1,425 \text{ кг} / \text{м}^3$$

4. По приложению 1 [2] путем линейной интерполяции определяем для местности В и высоты здания $H=7$ м коэффициент k_f :

$$k_f = 0,5 + \frac{0,65 - 0,5}{10 - 5} (7 - 5) = 0,56.$$

$v_{cp} = 4,9$ м/с – максимальная из средних скоростей ветра по румбам в январе для Могилёвской области (табл. 4.5. [1]).

$c_n = 0,8$ – аэродинамический коэффициент наветренной ограждающей конструкции стены для зданий с плоской и скатной кровлей.

$c_{п} = -0,4$ – аэродинамический коэффициент подветренной ограждающей конструкции стены для зданий со скатной кровлей.

5. Определяем расчетную разность давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций:

$$\Delta p = H(\gamma_n - \gamma_b) + 0,5 \rho_n v_{cp}^2 (c_n - c_{п}) k_f;$$

$$\Delta p = 7(13,964 - 11,9) + 0,5 \cdot 1,424 \cdot 4,9^2 (0,8 - (-0,4)) \cdot 0,56 = 25,94 \text{ Па}.$$

6. Определяем требуемое сопротивление воздухопроницаемости

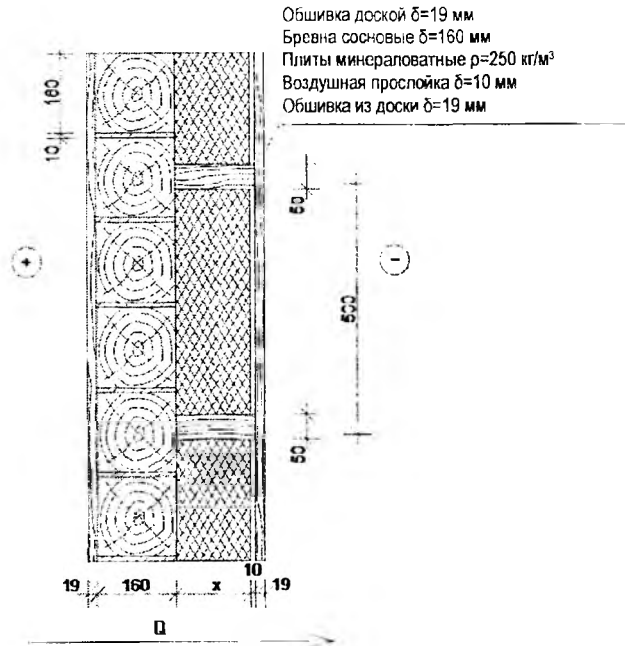
$$R_{в, \text{треб}} = \frac{\Delta p}{G_{норм}} = \frac{25,94}{0,5} = 51,88 \text{ м}^2 \cdot \text{чПа} / \text{кг}.$$

$G_{норм} = 0,5$ кг/м²ч – нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций для наружных стен жилых и общественных зданий (табл. 8.1 [1]).

Так как $R_v = 539,3$ м²чПа/кг > $R_{в, \text{треб}} = 51,88$ м²чПа/кг, то конструкция стены соответствует требованиям.

4. РАСЧЕТ НЕОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ СТЕНЫ

4.1. Определение толщины утеплителя и фактического сопротивления теплопередаче



Обшивка доской $\delta=19$ мм
Бревна сосновые $\delta=160$ мм
Плиты минераловатные $\rho=250$ кг/м³
Воздушная прослойка $\delta=10$ мм
Обшивка из доски $\delta=19$ мм

Рисунок 4 – Наружная стена с дополнительным утеплителем

1. Принимаем по табл.4.2 режим эксплуатации Б [1] и определяем характеристики материалов для этого режима эксплуатации.

1) обшивка доской:

$\lambda=0,18$ Вт/(м · °С), $S=4,54$ Вт/(м² · °С), $\mu=0,06$ мг/(м·ч·Па), (по приложению А, п.77);

2.1) бревна сосновые:

$\lambda=0,18$ Вт/(м · °С), $S=4,54$ Вт/(м² · °С), $\mu=0,06$ мг/(м·ч·Па), (по приложению А, п.77);

2.2) паля:

$\lambda=0,07$ Вт/(м · °С), $S=1,47$ Вт/(м² · °С), $\mu=0,49$ мг/(м·ч·Па), (по приложению А, п.98)

3.1) плиты минераловатные:

$\lambda=0,069$ Вт/(м · °С), $S=1,08$ Вт/(м² · °С), $\mu=0,45$ мг/(м·ч·Па), (по приложению А, п.103);

3.2) деревянный брусок из сосны:

$\lambda=0,18$ Вт/(м · °С), $S=4,54$ Вт/(м² · °С), $\mu=0,06$ мг/(м·ч·Па), (по приложению А, п.77);

4.1) воздушная прослойка (невентилируемая):

$R_{\tau}=0,15$ м²·°С/Вт, (по приложению Б);

4.2) деревянный брусок из сосны:

$\lambda=0,18$ Вт/(м · °С), $S=4,54$ Вт/(м² · °С), $\mu=0,06$ мг/(м·ч·Па), (по приложению А, п.77);

5) обшивка доской:

$\lambda=0,18$ Вт/(м · °С), $S=4,54$ Вт/(м² · °С), $\mu=0,06$ мг/(м·ч·Па), (по приложению А, п.77).

2. Определяем сопротивление неоднородного 2-го слоя, состоящего из сосновых бревен и пакли.

2.1. Выбираем участок для расчета:

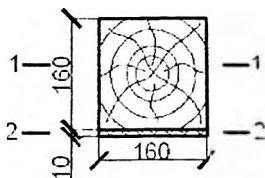


Рисунок 5 – Расчетный участок 2-го слоя

2.2. Разбиваем конструкцию плоскостями, параллельными тепловому потоку и определяем площади, соответствующие сечениям:

$$F_{2,1} = 0,16 \cdot 0,16 = 0,0256 \text{ м}^2$$

$$F_{2,2} = 0,16 \cdot 0,01 = 0,0016 \text{ м}^2$$

2.3. Определяем сопротивление теплопередачи данного слоя по сечениям 1 и 2:

$$R_{2,1} = \frac{0,16}{0,18} = 0,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

$$R_{2,2} = \frac{0,16}{0,07} = 2,285 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

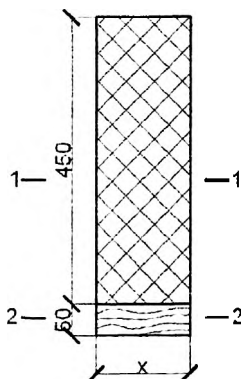
2.4. Определяем сопротивление 2-го слоя:

$$R_2 = \frac{F_{2,1} + F_{2,2}}{\frac{F_{2,1}}{R_{2,1}} + \frac{F_{2,2}}{R_{2,2}}} = \frac{0,0256 + 0,016}{\frac{0,0256}{0,89} + \frac{0,0016}{2,285}} = 0,922 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

3. Определяем сопротивление неоднородного 3-го слоя, состоящего из утеплителя и деревянных брусков:

3.1. Выбираем участок для расчета:

Рисунок 6 – Расчетный участок 3-го слоя



3.2. Разбиваем конструкцию плоскостями, параллельными тепловому потоку, и определяем площади, соответствующие сечениям:

$$F_{3,1} = 0,45x \text{ м}^2$$

$$F_{3,2} = 0,05x \text{ м}^2$$

3.3. Определяем сопротивление теплопередаче данного слоя по сечениям 1 и 2:

$$R_{3,1} = \frac{x}{0,069} = 14,492x \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

$$R_{3,2} = \frac{x}{0,18} = 5,556x \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

3.4. Определяем сопротивление 3-го слоя

$$R_3 = \frac{F_{3,1} + F_{3,2}}{\frac{F_{3,1}}{R_{3,1}} + \frac{F_{3,2}}{R_{3,2}}} = \frac{0,45x + 0,05x}{\frac{0,45x}{14,492x} + \frac{0,05x}{5,556x}} = 12,484x \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

4. Определяем сопротивление неоднородного 3-го слоя, состоящего из замкнутой воздушной прослойки и деревянных брусьев.

4.1. Выбираем участок для расчета:

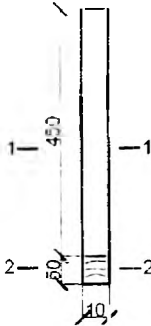


Рисунок 7 – Расчетный участок 4-го слоя

4.2. Разбиваем конструкцию плоскостями, параллельными тепловому потоку, и определяем площади, соответствующие сечениям:

$$F_{41} = 0,45 \cdot 0,1 = 0,045 \text{ м}^2$$

$$F_{42} = 0,05 \cdot 0,1 = 0,005 \text{ м}^2$$

4.3. Определяем сопротивление теплопередаче данного слоя по сечениям 1 и 2:

$$R_{41} = 0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

$$R_{42} = \frac{0,1}{0,18} = 0,556 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

4.4. Определяем сопротивление 3-го слоя:

$$R_4 = \frac{F_{41} + F_{42}}{\frac{F_{41}}{R_{41}} + \frac{F_{42}}{R_{42}}} = \frac{0,045 + 0,005}{\frac{0,045}{0,15} + \frac{0,005}{0,556}} = 0,162 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

5. Рассчитаем толщину утеплителя:

$$R_{\text{тн}} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \text{ (наружные стены зданий по табл. 5.1, п.1)}$$

$$\alpha_6 = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)} \text{ (по табл. 5.4, п.1)}$$

$$\alpha_n = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)} \text{ (по табл. 5.7, п.1) – наружные стены, покрытия, перекрытия над}$$

проездами

$$R_7 = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + R_2 + R_4 + R_3 + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{1}{\alpha_n}$$

$$3,2 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,019}{0,18} + 0,922 + 12,484\delta + 0,162 + \frac{0,019}{0,18} + \frac{1}{23}$$

$$x = 0,139 \text{ м}$$

6. Принимаем толщину утеплителя данной наружной стены $\delta_3 = 0,14 \text{ м}$.

7. Определяем сопротивление теплопередаче наружной стены при данной толщине утеплителя:

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,019}{0,18} + 0,922 + 12,484 \cdot 0,14 + 0,162 + \frac{0,019}{0,18} + \frac{1}{23} = 3,201 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

4.2. Построение графика распределения температуры

1. Найдем коэффициент теплоусвоения 2-го слоя:

$$S_2 = \frac{S_{21} \cdot F_{21} + S_{22} \cdot F_{22}}{F_{21} + F_{22}} = \frac{4,54 \cdot 0,0256 + 1,47 \cdot 0,016}{0,0256 + 0,016} = 3,359 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

2. Найдем коэффициент теплоусвоения 3-го слоя:

$$F_{31} = 0,45 \cdot 0,14 = 0,063 \text{ м}^2$$

$$F_{32} = 0,05 \cdot 0,14 = 0,007 \text{ м}^2$$

$$S_3 = \frac{S_{31} \cdot F_{31} + S_{32} \cdot F_{32}}{F_{31} + F_{32}} = \frac{1,08 \cdot 0,063 + 4,54 \cdot 0,007}{0,063 + 0,007} = 1,426 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

3. Найдем коэффициент теплоусвоения 4-го слоя:

$$\alpha_4 = \frac{S_{41} \cdot F_{41} + S_{42} \cdot F_{42}}{F_{41} + F_{42}} = \frac{0 \cdot 0.045 + 4.54 \cdot 0.005}{0.045 + 0.005} = 0.454 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

4. Определяем тепловую инерцию:

$$R_1 = 12.484 \cdot 0.14 = 1.748 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} S_1 + R_2 \cdot S_2 + R_3 \cdot S_3 + R_4 \cdot S_4 + \frac{\delta_5}{\lambda_5} S_5$$

$$D = \frac{0.019}{0.18} \cdot 4.54 + 0.922 \cdot 3.359 + 1.748 \cdot 1.426 + 0.162 \cdot 0.454 + \frac{0.019}{0.18} = 6.622$$

5. Так как $4.0 < D < 7.0$, то $t_{в3} = (t_{к1} + t_{к5})/2 = (-25 - (-21))/2 = -23^\circ\text{C}$ (температура наиболее холодных трех суток с обеспеченностью 0,92 табл. 4.3 [1] для Брестской области).

$$t_{в6} = 18^\circ\text{C} \text{ (табл. 4.1 [1]);}$$

$$R_1 = 3.201 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} \text{ (из п. 4.1);}$$

$$\alpha_6 = 8.7 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (табл. 5.4 [1], п.1).}$$

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

$$t_1 = t_6 - \frac{t_6 - t_{в3}}{\alpha_6 \cdot R_1}$$

$$t_1 = 18 - \frac{18 - (-23)}{8.7 \cdot 3.201} = 16.53^\circ\text{C}$$

7. Определяем температуру в точке 2:

$$t_2 = t_1 - \frac{t_1 - t_{в3}}{R_2} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right)$$

$$t_2 = 18 - \frac{18 - (-23)}{3.201} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + \frac{0.019}{0.18} \right) = 15.18^\circ\text{C}$$

8. Определяем температуру в точке 3:

$$t_3 = t_2 - \frac{t_2 - t_{в3}}{R_3} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + R_2 \right)$$

$$t_3 = 18 - \frac{18 - (-23)}{3.201} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + \frac{0.019}{0.18} + 0.922 \right) = 3.37^\circ\text{C}$$

9. Определяем температуру в точке 4:

$$t_4 = t_3 - \frac{t_3 - t_{в3}}{R_4} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + R_2 + R_3 \right)$$

$$t_4 = 18 - \frac{18 - (-23)}{3.201} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + \frac{0.019}{0.18} + 0.922 + 1.748 \right) = 19.02^\circ\text{C}$$

10. Определяем температуру в точке 5:

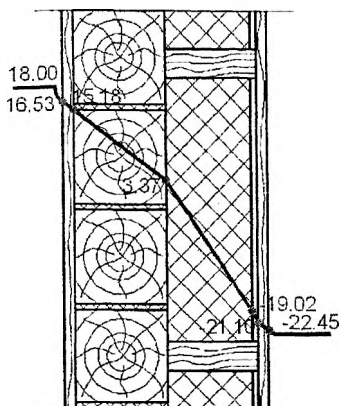
$$t_5 = t_4 - \frac{t_4 - t_{в3}}{R_5} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_6} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + R_2 + R_3 + R_4 \right)$$

$$t_5 = 18 - \frac{18 - (-23)}{3.201} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + \frac{0.019}{0.18} + 0.922 + 1.748 + 0.162 \right) = -21.10^\circ\text{C}$$

11. Определяем температуру в точке 6:

$$t_6 = t_n - \frac{t_n - t_w}{R_y} \left(\frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta}{\lambda} + R_7 + R_8 + R_9 + \frac{\delta_9}{\lambda_9} \right)$$

$$t_6 = 18 - \frac{18 - (-23)}{3,201} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,019}{0,18} + 0,922 + 1,748 + 0,162 + \frac{0,019}{0,18} \right) = -22,45^\circ \text{C}$$



12. Строим график изменения температур:

Рисунок 8 – График распределения температур в наружной стене

13. Определяем тепловой поток через конструкцию:

$$Q_u = \alpha_n (t_n - t_{n,n}) = 8,7 \cdot (18 - 16,53) = 12,79 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_u = \alpha_n (t_{n,n} - t_n) - 23 \cdot (-23 - (-22,45)) = 12,65 \text{ Вт/м}^2$$

Т.к. $12,79 \approx 12,65$, график построен верно.

4.3. Определение фактического сопротивления теплопередаче с учетом неоднородности конструкции

1. Выбираем расчетный участок:

2. Разбиваем конструкцию плоскостями, параллельными тепловому потоку (сечения 1а, 2а, 3а), и определяем $R_{ка}$:

2.1. Находим площади, соответствующие сечениям:

$$F_{1a} = 0,348 \cdot 0,05 = 0,017 \text{ м}^2$$

$$F_{2a} = 0,348 \cdot 0,01 \cdot 3 = 0,010 \text{ м}^2$$

$$F_{3a} = 0,348 \cdot (0,105 + 0,16 + 0,16 + 0,55) = 0,167 \text{ м}^2$$

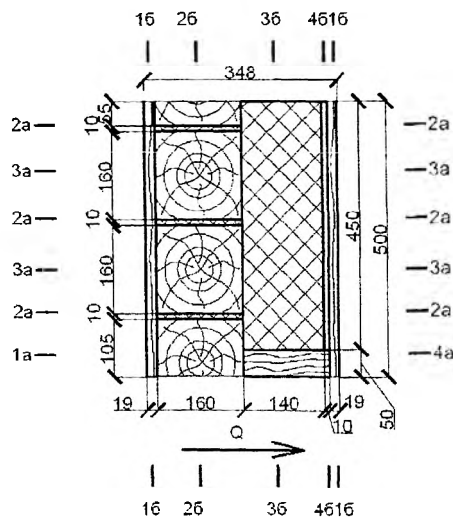


Рисунок 9 – Расчетный участок неоднородной конструкции наружной стены

2.2. Находим сопротивление в каждом сечении:

$$R_{1,2} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3,2}} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0,019}{0,18} + \frac{0,16}{0,18} + \frac{0,14}{0,18} + \frac{0,01}{0,18} + \frac{0,019}{0,18} = 1,933 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

$$R_{2,3} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2,2}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3,1}} + R_{1,4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0,019}{0,18} + \frac{0,16}{0,07} + \frac{0,14}{0,069} + 0,15 + \frac{0,019}{0,18} = 4,676 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

$$R_{2,4} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_{2,1}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{3,1}} + R_{1,4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0,019}{0,18} + \frac{0,16}{0,18} + \frac{0,14}{0,069} + 0,15 + \frac{0,019}{0,18} = 3,279 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

2.3. Находим Rка:

$$R_{ка} = \frac{F_1 + F_{2,3} + F_{2,4}}{R_{1,2} + \frac{F_{2,3} + F_{2,4}}{R_{2,3}} + \frac{F_{2,4}}{R_{2,4}}} = \frac{0,017 + 0,010 + 0,167}{\frac{0,017}{1,933} + \frac{0,010 + 0,167}{6,576} + \frac{0,167}{5,179}} = 3,136 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

3. Разбиваем конструкцию плоскостями, перпендикулярными тепловому потоку (сечения 1б, 2б, 3б, 4б), и определяем Rкб:

3.1. Находим сопротивление в каждом сечении:

$$R_{1б} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,019}{0,18} = 0,106 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

$$R_{2б} = 0,922 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт. (п. 4.1)}$$

$$R_{3б} = 12,484 \cdot 0,14 = 1,748 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт. (п. 4.1)}$$

$$R_{4б} = 0,162 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт. (п. 4.1)}$$

3.2. Находим сопротивление Rкб:

$$R_{кб} = R_{1б} + R_{2б} + R_{3б} + R_{4б} = 0,106 + 0,922 + 1,748 + 0,162 + 0,106 = 3,044$$

4. Так как Rка не превышает Rкб более чем на 25% ((3.136-3.044)/3.136 = 0,029 = 2,9% < 25%), определим термическое сопротивление Rк по формуле:

$$R_k = \frac{R_{ка} + 2 \cdot R_{кб}}{3}$$

$$R_{2,3} = \frac{3,136 + 2 \cdot 3,044}{3} = 3,075 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

5. Определяем сопротивление теплопередаче неоднородной конструкции:

$$R_{2,3} = \frac{1}{\alpha_s} + R_k + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + 3,075 + \frac{1}{23} = 3,233 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

4.4. Расчет на сопротивление паропрооницанию

Расчет неоднородной конструкции на сопротивление паропрооницанию ведется по наименьшему сечению (с наименее плотными материалами).

1. Определяем сопротивление паропрооницанию ограждения:

$$R_n = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_3}{\mu_3} + \frac{\delta_4}{\mu_4}$$

$$R_n = \frac{0,019}{0,06} + \frac{0,16}{0,06} + \frac{0,15}{0,45} + 0 = 3,63 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

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

$$R_{n,н} = \frac{\delta_1}{\mu_1}$$

$$R_{n,н} = \frac{0,019}{0,06} = 0,32 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

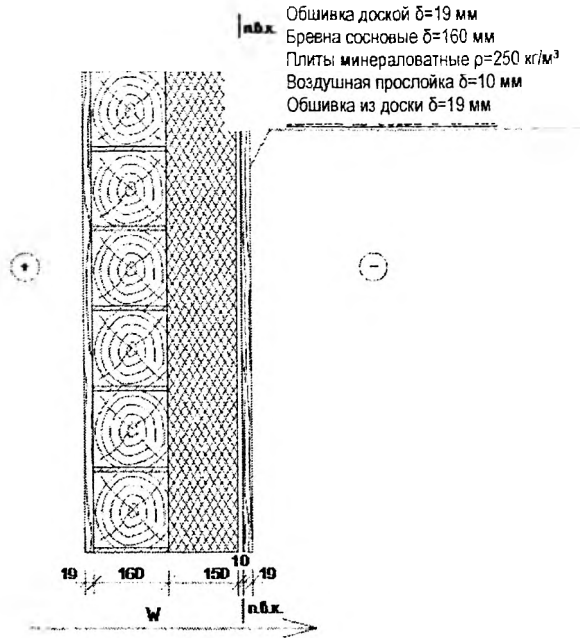


Рисунок 10 – Конструкция наружной стены

3. Определяем парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха:

$$\varphi_* = 55\% \text{ (табл. 4.1 [1])}$$

$$E_* = 2064 \text{ Па (по прил. Е при } t_b = 18^\circ\text{C (табл. 4.1 [1])}$$

$$e_* = 0,01 \cdot 55 \cdot 2064 = 1135,2$$

4. Определяем температуру в П.В.К.:

$$R_T = 3,233 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт (расчет п.3.2.3)}$$

$$t_{н.от.} = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C (табл. 4.4 [1] для Брестской области)}$$

$$\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C (табл. 5.4 [1], п.1)}$$

$$t = t_* - \frac{t_* - t_{н.от.}}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_*} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + R_2 + R_3 + R_4 \right)$$

$$t = 18 - \frac{18 - 0,2}{3,233} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,019}{0,18} + 0,922 + 1,748 + 0,162 \right) = 1,19^\circ\text{C}$$

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

$$E_* = 666,1 \text{ Па (методом интерполяции по прил. Е [1]).}$$

6. Определяем парциальное давление водяного пара наружного воздуха:

$$e_{н.от.} = 521 \text{ Па (по табл. 4.4 [1]).}$$

7. Определяем требуемое сопротивление паропроницанию:

$$R_{н.т.р.} = 0,32 \cdot \frac{1135,2 - 666,1}{666,1 - 521} = 1,035 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$$

По расчёту $R_n > R_{н.т.р.}$ ($3,63 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг} > 1,035 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$), в связи с этим дополнительной пароизоляции не требуется.

4.5. Расчёт на сопротивление воздухопроницанию

1. Определяем расчётное сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций 1) обшивка доской:

$$\delta_1 = 19 \text{ мм,}$$

$$R_{s1} = \frac{1,5 \cdot 19}{20} = 1,425 ;$$

2) бревна сосновые:

$$\delta_2 = 160 \text{ мм,}$$

$$R_{s2} = \frac{98 \cdot 160}{50} = 313,6 ;$$

$$R_{s2} = \frac{21 \cdot 250}{140} = 37,5 \text{ м}^2 \text{чПа / кг. ;}$$

3) плиты минераловатные:

$$\delta_3 = 150 \text{ мм,}$$

$$R_{s3} = \frac{2 \cdot 160}{50} = 6,4 ;$$

4) обшивка доской:

$$\delta_4 = 19 \text{ мм,}$$

$$R_{s4} = \sum R_{si} = 1,425 + 313,6 + 6,4 + 1,425 = 322,85 \text{ м}^2 \text{чПа / кг.}$$

2. Определяем удельный вес воздуха при $t_n = -21^\circ \text{C}$ (средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по табл. 4.3); $t_w = -18^\circ \text{C}$ (по табл. 4.1[1]):

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 + t_n} ; \gamma_n = \frac{3463}{273 - 21} = 13,74 \text{ Н / м}^3$$

$$\gamma_w = \frac{3463}{273 + t_w} ; \gamma_w = \frac{3463}{273 + 18} = 11,90 \text{ Н / м}^3$$

3. Определяем плотность наружного воздуха:

$$\rho_n = \frac{13,74}{9,8} = 1,4 \text{ кг/м}^3$$

4. По приложению 1 [2] путем линейной интерполяции определяем для местности В и высоты здания $H=6,6$ м коэффициент k_i :

$$k_i = 0,5 + \frac{0,65 - 0,5}{10 - 5} (6,6 - 5) = 0,548 .$$

$v_{ср} = 3,7$ м/с – максимальная из средних скоростей ветра по румбам в январе для Брестской области (табл. 4.5. [1]).

$c_n = 0,8$ – аэродинамический коэффициент наветренной ограждающей конструкции стены для зданий с плоской и скатной кровлей.

$c_w = -0,4$ – аэродинамический коэффициент подветренной ограждающей конструкции стены для зданий со скатной кровлей.

5. Определяем расчетную разность давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций:

$$\Delta p = H(\gamma_n - \gamma_w) + 0,5 \rho_n v_{ср}^2 (c_n - c_w) k_i ;$$

$$\Delta p = 6,6(13,74 - 11,900) + 0,5 \cdot 1,40(3,7)^2 (0,8 - (-0,4)) \cdot 0,548 = 18,47$$

6. Определяем требуемое сопротивление воздухопроницаемости

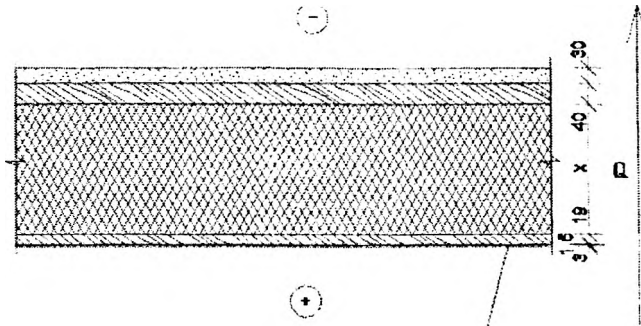
$$R_{н.т.р.} = \frac{\Delta p}{G_{норм}} = \frac{18,47}{0,5} = 36,93 \text{ м}^2 \text{чПа / кг.}$$

где $G_{норм} = 0,5$ кг/м²ч – нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций для наружных стен жилых и общественных зданий (табл. 8.1 [1]).

Т.к. $R_w > R_{н.т.р.}$ (322,85 > 36,93), то конструкция стены соответствует требованиям.

5. РАСЧЕТ ОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРДАЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

5.1. Определение толщины утеплителя и фактического сопротивления теплопередаче



Цементно-шлаковый раствор $\rho=1400 \text{ кг/м}^3$ $\delta=30 \text{ мм}$
 Настил из досок $\delta=40 \text{ мм}$
 Маты минераловатные $\rho=25 \text{ кг/м}^3$
 Подшивка из досок $\delta=19 \text{ мм}$
 1 слой рубероида $\delta=1,5 \text{ мм}$
 Обшивка из фанеры $\rho=600 \text{ кг/м}^3$ $\delta=3 \text{ мм}$

Рисунок 11 – Чердачное перекрытие

1. Принимаем режим эксплуатации А (табл. 4.2 [1] примечание) и определяем характеристики материалов:

1) обшивка из фанеры

$\lambda=0,15 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S=4,22 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $\mu=0,02 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ (по приложению А[1], п.81);

2) 1 слой рубероида

$\lambda=0,17 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S=3,53 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, μ - по приложению Ж (по приложению А[1], п.142);

3) подшивка из доски

$\lambda=0,18 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S=4,54 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $\mu=0,06 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ (по приложению А[1], п.77);

4) маты минераловатные

$\lambda=0,042 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S=0,36 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $\mu=0,61 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ (по приложению А[1], п.102);

5) настил из досок

$\lambda=0,18 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S=4,54 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $\mu=0,06 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ (по приложению А[1], п.77);

6) цементно-шлаковый раствор

$\lambda=0,52 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S=7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $\mu=0,11 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ (по приложению А[1], п.42)

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

$R_{н} = 6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ (по табл. 5.1, п.1). [1]

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

$\alpha_{н} = 12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ (по табл. 5.7, п.3) [1]

$$R_{г}^* = \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{x}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_{н}}$$

$$6 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,003}{0,15} + \frac{0,0015}{0,17} + \frac{0,019}{0,18} + \frac{x}{0,042} + \frac{0,04}{0,18} + \frac{0,03}{0,52} + \frac{1}{12}$$

$$x=0,224 \text{ м}$$

Принимаем $x=0,23 \text{ м}$

Определяем сопротивление теплопередаче пола первого этажа при данной толщине утеплителя:

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,003}{0,15} + \frac{0,0015}{0,17} + \frac{0,019}{0,18} + \frac{0,23}{0,042} + \frac{0,04}{0,18} + \frac{0,03}{0,52} + \frac{1}{12} = 6,18 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$$

5.2. Построение графика распределения температуры

Определяем тепловую инерцию:

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

$$\frac{0,003}{0,15} \cdot 4,22 + \frac{0,0015}{0,17} \cdot 3,53 + \frac{0,019}{0,18} \cdot 4,54 + \frac{0,23}{0,042} \cdot 0,36 + \frac{0,04}{0,18} \cdot 4,54 + \frac{0,03}{0,52} \cdot 7 = 4,1217$$

3. Т.к. $4 < D < 7$, то

$$t_w = \frac{t_{0,92} + t_{1,5}}{2};$$

$t_{0,92} = -25 \text{ °С}$ (температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 табл. 4.3 [1] для Брестской области);

$t_{1,5} = -21 \text{ °С}$ (температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 табл. 4.3 [1] для Брестской области)

$$t_w = \frac{-25 - 21}{2} = -23 \text{ °С}$$

$t_w = 18 \text{ °С}$ (табл. 4.1 [1])

$R_T = 6,18 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$ (п. 5.1)

$\alpha_6 = 8,7 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$ (табл. 5.4 [1], п.1)

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

$$t_{e, \text{пов-ми}} = t_w - \frac{t_w - t_w}{\alpha_6 \cdot R_T};$$

$$t_{e, \text{пов-ми}} = 18 - \frac{18 - (-23)}{8,7 \cdot 6,18} = 17,24 \text{ °С.}$$

5. Определяем температуру в точке 2:

$$t_2 = t_w - \frac{t_w - t_w}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_1} + R \right);$$

$$t_2 = 18 - \frac{18 - (-23)}{6,18} \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 \right) = 17,10 \text{ °С.}$$

6. Определяем температуру в точке 3:

$$t_3 = t_w - \frac{t_w - t_w}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_2} + R_1 + R_2 \right);$$

$$t_3 = 18 - \frac{18 - (-23)}{6,18} \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 + 0,0088 \right) = 17,04 \text{ °С.}$$

7. Определяем температуру в точке 4:

$$t_4 = t_w - \frac{t_w - t_w}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_3} + R_1 + R_2 + R_3 \right);$$

$$\tau_4 = 18 - \frac{18 - (-23)}{6,18} \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 + 0,0088 + 0,135 \right) = 16,14 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

8. Определяем температуру в точке 5:

$$\tau_5 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \right);$$

$$\tau_5 = 18 - \frac{18 - (-23)}{6,18} \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 + 0,0088 + 0,135 + 5,476 \right) = -20,17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

9. Определяем температуру в точке 6:

$$\tau_6 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 \right);$$

$$\tau_6 = 18 - \frac{18 - (-23)}{6,18} \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 + 0,0088 + 0,135 + 5,476 + 0,286 \right) = -22,06 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

10. Определяем температуру в точке 7:

$$\tau_7 = t_n - \frac{t_e - t_n}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_n} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 \right);$$

$$\tau_7 = 18 - \frac{18 - (-23)}{6,18} \left(\frac{1}{8,7} + 0,02 + 0,0088 + 0,135 + 5,476 + 0,286 + 0,057 \right) = -22,44 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

11. Строим график изменения температур:

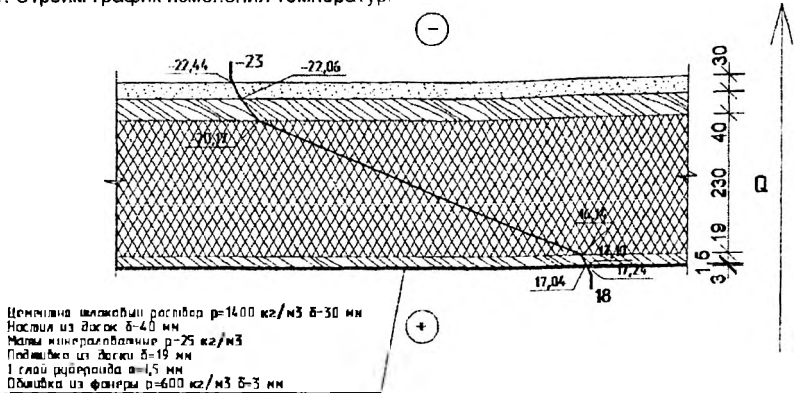


Рисунок 12 – График распределения температур в чердачном перекрытии

12. Определяем значение теплового потока:

$$Q_e = \alpha_e (t_e - t_{e,n}) = 8,7 (18 - 17,24) = 6,61 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_n = \alpha_n (t_{e,n} - t_n) = 12 \cdot (-22,44 - (-23)) = 6,72 \text{ Вт/м}^2$$

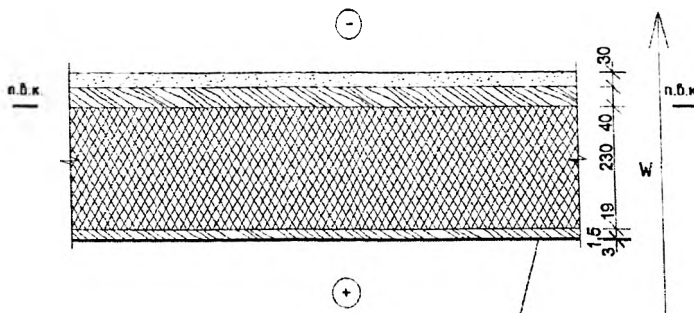
Т.к. $6,61 \approx 6,72$, график построен верно.

5.3. Расчет на сопротивление паропрооницанию

1. Определяем сопротивление паропрооницанию ограждения:

$$R_n = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_4}{\mu_4};$$

$$R_n = \frac{0,003}{0,02} + \frac{0,019}{0,06} + \frac{0,23}{0,61} = 0,84 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$



Цементно-шлаковый раствор $\rho=1400$ кг/м³ $\delta=30$ мм
 Настил из досок $\delta=40$ мм
 Маты минераловатные $\rho=25$ кг/м³
 Подшивка из доски $\delta=19$ мм
 1 слой рубероида $\delta=1,5$ мм
 Обшивка из фанеры $\rho=600$ кг/м³ $\delta=3$ мм

Рисунок 13 – Чердачное перекрытие

2. Определяем сопротивление паропроонианию слоёв ограждения от П.В.К. до наружной поверхности:

$$R_{\text{п.н}} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2}$$

$$R_{\text{п.н}} = \frac{0,03}{0,06} + \frac{0,04}{0,11} = 0,939 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

3. Определяем парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха:

$$\varphi_n = 55\% \text{ (табл. 4.1 [1])}$$

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

$$e_n = 0,01 \cdot 55 \cdot 2064 = 1135,2$$

4. Определяем температуру в П.В.К.:

$$R_{\text{пер}} = 6,18, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

$$t_{\text{н.от.}} = 0,2^\circ \text{C (табл. 4.4 [1] для Брестской области)}$$

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

$$t - t_n = \frac{t_n - t_{\text{н.от.}}}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right)$$

$$t = 18 - \frac{18 - 0,2}{6,18} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,003}{0,15} + \frac{0,0015}{0,17} + \frac{0,019}{0,18} + \frac{0,23}{0,042} \right) = 1,51^\circ \text{C}$$

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

$$E_n = 681 \text{ Па (методом интерполяции по прил. Е [1]).}$$

6. Определяем парциальное давление водяного пара наружного воздуха:

$$e_{\text{н.от.}} = 521 \text{ (по табл. 4.4 [1]).}$$

7. Определяем требуемое сопротивление паропроонианию:

$$R_{\text{н.тр}} = 0,939 \cdot \frac{1135,2 - 681}{681 - 521} = 2,839 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

По расчёту $R_n < R_{\text{н.тр}}$ ($0,84 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} < 2,839 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$), следовательно, в данной конструкции требуется дополнительная пароизоляция. В зависимости от разности

$R_{\text{н.тр}} - R_n = 1,99 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, по приложению Ж [1] определяем вид пароизоляции: 2 слоя рубероида.

6. РАСЧЕТ НЕОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРДАЧНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

6.1. Определение толщины утеплителя и фактического сопротивления теплопередаче

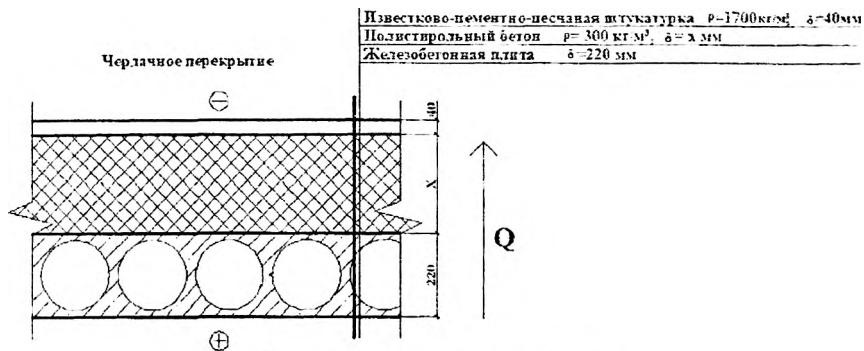


Рисунок 14 – Чердачное перекрытие

1. Принимаем по табл.4.2[1] режим эксплуатации А и определяем характеристики материалов:

1) известково-цементно-песчаная штукатурка:

$$\lambda=0,7 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, S=8,95 \text{ Вт/м}^2\text{С}, \mu=0,098 \text{ мг/мчПа (прил. А.1 [1], п.40);}$$

2) полистирольный бетон:

$$\lambda=0,092 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, S=1,42 \text{ Вт/м}^2\text{С}, \mu=0,08 \text{ мг/мчПа (прил. А.1 [1], п.119);}$$

3) железобетонная плита:

3.1) железобетон:

$$\lambda=1,92 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, S=17,98 \text{ Вт/м}^2\text{С}, \mu=0,03 \text{ мг/мчПа (прил. А.1 [1], п.1);}$$

3.2) замкнутая воздушная прослойка.

2. Рассчитаем **термическое сопротивление железобетонной пустотной плиты R_3 как неоднородной конструкции.**

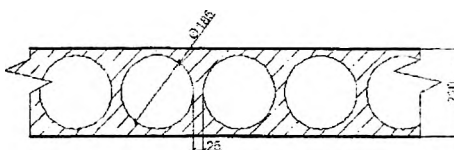


Рисунок 15 – Железобетонная плита с круглыми пустотами

2.1. Заменяем круглые пустоты на квадратные с равной площадью сечения. Сторона квадрата, площадь которого равна площади круга с диаметром $D = 185 \text{ мм}$, определяется по формуле:

$$a \quad \delta_{1,2} = \sqrt{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 185^2}{4}} = 164 \text{ мм}$$

Расстояние между пустотами:

$$b = 185 + 25 - 164 = 46 \text{ мм}$$

Расстояние от верха (низа) плиты до пустоты:

$$\delta_{3,1} = 0,5 \cdot (220 - 164) = 28 \text{ мм}$$

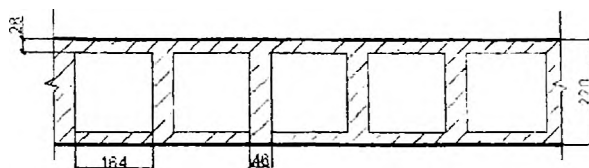


Рисунок 16 – Железобетонная плита с эквивалентными квадратными пустотами

2.2. Определим термическое сопротивление пустот. В конструкции чердачного перекрытия тепловой поток направлен снизу вверх, температура воздуха в пустотах плиты положительная. Следовательно, согласно приложению Б [1], термическое сопротивление воздуха в пустотах будет равным $R_{3,2} = 0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$

2.3. Выбираем участок для расчета:

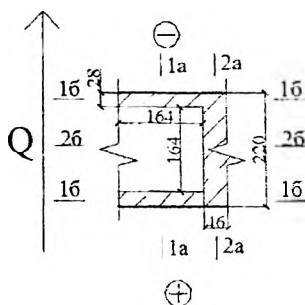


Рисунок 17 – Расчётный участок

2.4. Разбиваем расчетный участок плоскостями, параллельными направлению теплового потока (сечения 1а и 2а).

2.5. Вычисляем площади, соответствующие полученным сечениям:

$$F_{1a} = 0,220 \cdot 0,164 = 0,036 \text{ м}^2,$$

$$F_{2a} = 0,46 \cdot 0,22 = 0,01 \text{ м}^2,$$

2.6. Определяем термическое сопротивление в сечении 1а:

$$R_{1a} = \frac{\delta_{3,1}}{\lambda_{3,1}} + R_{3,2} + \frac{\delta_{2,1}}{\lambda_{2,1}} = \frac{0,028}{1,92} + 0,15 + \frac{0,028}{1,92} = 0,18 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

2.7. Определяем термическое сопротивление в сечении 2а.

$$R_{2a} = \frac{\delta_1}{\lambda_{3,1}} = \frac{0,22}{1,92} = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

2.8. Вычисляем R_a :

$$R_a = \frac{\frac{F_{1a}}{R_{1a}} + \frac{F_{2a}}{R_{2a}}}{\frac{F_{1a}}{R_{1a}} + \frac{F_{2a}}{R_{2a}}} = \frac{\frac{0,036}{0,18} + \frac{0,01}{0,115}}{\frac{0,036}{0,18} + \frac{0,01}{0,115}} = 0,16 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

2.9. Разбиваем участок плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока (сечения 1б и 2б).

2.10. Определяем термическое сопротивление в сечении 1б:

$$R_{1a} = \frac{\delta_{11}}{\lambda_{11}} = \frac{0,028}{1,92} = 0,015 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

2.11. Определяем сопротивление в сечении 2б:

$$F_{2б1} = 0,164 \cdot 0,164 = 0,027 \text{ м}^2$$

$$F_{2б2} = 0,164 \cdot 0,046 = 0,008 \text{ м}^2$$

$$R_{2б1} = R_{3,2} = 0,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

$$R_{2б2} = \delta_{3,1} / \lambda_{3,1} = 0,164 / 1,92 = 0,085 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

$$R_{2b} = \frac{F_{2б1} + F_{2б2}}{\frac{F_{2б1}}{R_{2б1}} + \frac{F_{2б2}}{R_{2б2}}} = \frac{0,027 + 0,008}{\frac{0,027}{0,15} + \frac{0,008}{0,085}} = 0,129 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

2.12. Вычисляем Rб:

$$R_b = R_{б1} + R_{б2} + R_{б3} = 0,015 + 0,128 + 0,015 = 0,159 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

2.13. Так как Rа не превышает Rб более чем на 25% $((0,16 - 0,159) / 0,16 = 0,013 = 1,3\% < 25\%)$, рассчитываем Rз по формуле:

$$R_3 = \frac{R_a + 2 \cdot R_b}{3} = \frac{0,16 + 2 \cdot 0,159}{3} = 0,16 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

3. Вычисляем толщину утеплителя:

$$R_{\text{утн}} = 6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \text{ (Наружные стены зданий по табл. 5.1 [1], п.2).}$$

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

$$\alpha_n = 12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C} \text{ (табл. 5.7, [1] п.3)}$$

$$R_r = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{X}{\lambda_2} + R_i + \frac{1}{\alpha_n}$$

$$6 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,04}{0,7} + \frac{X}{0,092} + 0,16 + \frac{1}{12}$$

$$X = 0,514 \text{ м.}$$

4. Толщина утеплителя получилась больше чем 0,35м, поэтому принимают более эффективный утеплитель – минеральную вату:

$$\lambda_{\text{мин.ваты}} = 0,046 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C},$$

$$S_{\text{мин.ваты}} = 0,6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C},$$

$$\mu_{\text{мин.ваты}} = 0,56 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C} \text{ (прил. А.1 [1], п.99).}$$

Тогда

$$6 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,04}{0,7} + \frac{X}{0,046} + 0,16 + \frac{1}{12}$$

$$X = 0,257 \text{ м.}$$

Принимаем $\delta_2 = 0,26 \text{ м.}$

5. Определяем сопротивление теплопередаче наружной стены при данной толщине утеплителя:

$$R_{i, \text{ст.н}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,04}{0,7} + \frac{0,26}{0,046} + 0,16 + \frac{1}{12} = 6,07 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

6.2. Построение графика распределения температуры

1. Определяем тепловую инерцию железобетонной плиты:

$$D_3 = R_{16}S_{16} + R_{26} \cdot S_{26} + R_{6}S_{16}$$

$$R_{16} = 0.015 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт (п.6.1.)}$$

$$S_{16} = S_{3.1} = 17,98 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$$

$$R_{26} = 0.129 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт (п.6.1.)}$$

$$S_{26} = \frac{F_{261} \cdot S_{261} + F_{262} \cdot S_{262}}{F_{261} + F_{262}}$$

$$S_{261} = S_{3.2} = 0 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$$

$$S_{262} = S_{3.1} = 17,98 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$$

$$F_{261} = 0.164 \cdot 0.164 = 0,027 \text{ м}^2 \text{ (п.6.1.)}$$

$$F_{262} = 0.164 \cdot 0.046 = 0,008 \text{ м}^2 \text{ (п.6.1.)}$$

$$S_{26} = \frac{0.027 \cdot 0 + 0.008 \cdot 17.98}{0.027 + 0.008} = 4.11 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$$

$$D_3 = 0.015 \cdot 17.98 + 0.129 \cdot 4.11 + 0.015 \cdot 17.98 = 1.07$$

2. Определяем тепловую инерцию всей конструкции:

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} S_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} S_2 + D_3$$

$$D = \frac{0.04}{0.7} \cdot 8.95 + \frac{0.26}{0.046} \cdot 0.6 + 1.07 = 4,973$$

3. Т.к. $4 < D < 7$, то

$$t_w = \frac{t_{x,0.92} + t_{e5}}{2}$$

$t_{x,0.92} = -29 \text{ °C}$ (температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 табл. 4.3 [1] для Могилёвской области);

$t_{e5} = -25 \text{ °C}$ (температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 табл.

4.3 [1] для Могилёвской области)

$$t_w = (-29 - (-25))/2 = -27 \text{ °C}$$

$$t_w = 18 \text{ °C (табл. 4.1 [1])}$$

$$R_f = 6,07 \text{ м}^2\text{°C/Вт (из 6.1)}$$

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

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

$$t_1 = t_w - \frac{t_w - t_i}{\alpha_d \cdot R_d}$$

$$t_1 = 18 - \frac{18 - (-27)}{8.7 \cdot 6.07} = 17.15 \text{ °C}$$

5. Определяем температуру в точке 2:

$$t_2 = t_w - \frac{t_w - t_i}{R_d} \left(\frac{1}{\alpha_d} + R_1 \right)$$

$$t_2 = 18 - \frac{18 - (-27)}{6.07} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.16 \right) = 15.96 \text{ °C}$$

6. Определяем температуру в точке 3:

$$\tau_3 = t_{\text{в}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{г}}}{R_0} \left(\frac{1}{\alpha_{\text{г}}} + R_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right)$$

$$\tau_3 = 18 - \frac{18 - (-27)}{6.07} \left(\frac{1}{8.7} + 0.16 + \frac{0.26}{0.046} \right) = -25.94^\circ\text{C}$$

7. Определяем температуру в точке 4:

$$\tau_4 = t_{\text{г}} - \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R_0} \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_2 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right)$$

$$\tau_4 = 18 - \frac{18 - (-27)}{6.07} \left(\frac{1}{8.7} + 0.16 + \frac{0.26}{0.046} + \frac{0.04}{0.7} \right) = -26.36^\circ\text{C}$$

8. Строим график изменения температур:

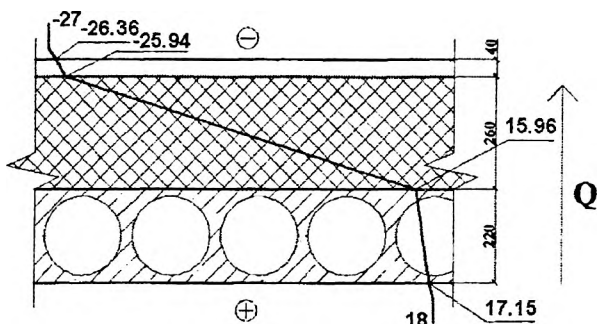


Рисунок 18 – График распределения температур в чердачном перекрытии

8. Определяем значение теплового потока:

$$Q_n = \alpha_{\text{в}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н.в}}) = 8.7 \cdot (18 - 17.15) = 7.4 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_n = \alpha_{\text{н}}(t_{\text{н.н}} - t_{\text{н}}) = 12 \cdot (-26.36 - (-27)) = 7.68 \text{ Вт/м}^2$$

Т.к. $7.40 \approx 7.68$, график построен верно.

6.3. Расчет на сопротивление паропроонианию

Расчет неоднородной конструкции на сопротивление паропроонианию ведется по наимудшему сечению (с наименее плотными материалами).

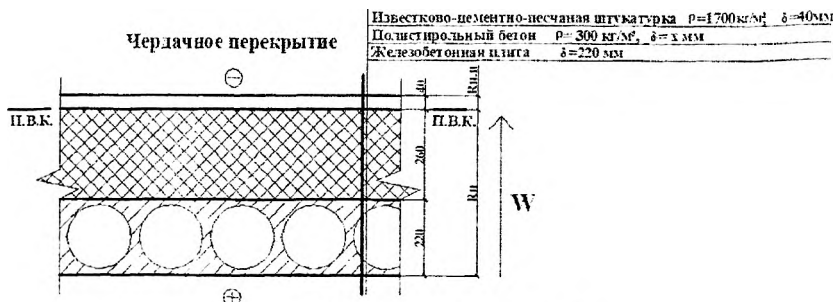


Рисунок 19 – Чердачное перекрытие

Согласно расчету 4.2.1, пенополистеролбетон в конструкции был заменен на минеральную вату с характеристиками:

$$\lambda_{\text{мин. ваты}} = 0,046 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С},$$

$$S_{\text{мин. ваты}} = 0,6 \text{ Вт/м}^2\text{С},$$

$$\mu_{\text{мин. ваты}} = 0,56 \text{ Вт/м}^2\text{С (прил. А.1 [1], п.99)}.$$

Круглые пустототы были заменены на квадратные размером 164х164мм с шагом 210мм. Расстояние от пустоты до края плиты сверху (снизу) составляет 28мм.

1. Определяем сопротивление паропроонианию ограждения:

$$R_{\Sigma} = \frac{\delta_2}{\mu_2} + \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_{3,2}}{\mu_{3,2}}$$

$$R_{\Sigma} = \frac{0,26}{0,56} + \frac{0,28}{0,03} + \frac{0,28}{0,03} = 19,131 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}.$$

2. Определяем сопротивление паропроонианию слоёв ограждения от П.В.К. до наружной поверхности:

$$R_{\text{в.к.}} = \frac{\delta_1}{\mu_1}$$

$$R_{\text{в.к.}} = \frac{0,04}{0,098} = 0,41 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}.$$

3. Определяем парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха:

$$\varphi_{\text{в}} = 55\% \text{ (табл. 4.1 [1])}$$

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

$$e_{\text{в}} = 0,01 \cdot 55 \cdot 2064 = 1135,2 \text{ Па}$$

4. Определяем температуру в П.В.К.:

$$R_{\text{T}} = 6,07 \text{ м}^2\cdot\text{С}/\text{Вт (п.6.1.)}$$

$$t_{\text{н.от.}} = -1,9^{\circ}\text{С (табл. 4.4 [1] Могилевской области)}$$

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

$$t = t_{\text{в}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н.от.}}}{R_{\text{T}}} \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_{\Sigma} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right)$$

$$t = 18 - \frac{18 - (-1,9)}{6,07} \left(\frac{1}{8,7} + 0,16 + \frac{0,26}{0,046} \right) = -1,43^{\circ}\text{С}$$

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

$$E_{\text{к}} = 681 \text{ Па (методом интерполяции по прил. Е [1]).}$$

6. Определяем парциальное давление водяного пара наружного воздуха:

$$e_{\text{н.от.}} = 439 \text{ (по табл. 4.4 [1] для Могилевской области)},$$

7. Определяем требуемое сопротивление паропроонианию:

$$R_{\text{т.об.}} = 0,41 \cdot \frac{1135,2 - 681}{681 - 439} = 0,77 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}$$

По расчёту $R_{\Sigma} > R_{\text{т.об.}}$ ($19,131 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/м} > 0,77 \text{ м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па/мг}$), следовательно, в данной конструкции не требуется дополнительная пароизоляция.

7. РАСЧЕТ ОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОЛА ПЕРВОГО ЭТАЖА

7.1. Определение толщины утеплителя и фактического сопротивления теплопередаче

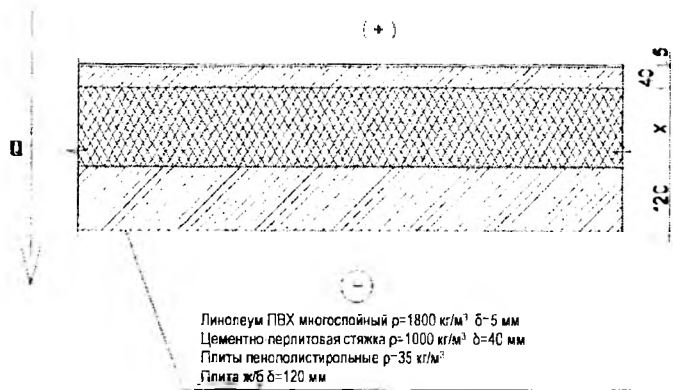


Рисунок 20 – Пол 1-го этажа

1. Принимаем режим эксплуатации А (табл. 4.2 [1] примечание) и определяем характеристики материалов.

1) линолеум ПВХ многослойный

$\lambda=0,38 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S=8,56 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $\mu=0,02 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$, (по приложению А[1], п.143);

2) цементно-перлитовая стяжка

$\lambda=0,26 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S=4,64 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $\mu=0,15 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$, (по приложению А[1], п.44);

3) плиты пенополистирольные

$\lambda=0,043 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S=0,46 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $\mu=0,05 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$, (по приложению А[1], п.108);

4) плита ж/б

$\lambda=1,92 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, $S=17,98 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $\mu=0,03 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$, (по приложению А[1], п.1).

2. Учитывая, что сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции должно быть не менее нормативного, определим толщину утеплителя

$R_{нн}=2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ (по табл.5.1, п.1). [1]

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

$\alpha_{н}=12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ (по табл. 5.7, п.3) [1]

$$R_r^* = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{x}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_n}$$

$$2,5 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,38} + \frac{0,04}{0,26} + \frac{x}{0,043} + \frac{0,12}{1,92} + \frac{1}{12}$$

$$x=0,089 \text{ м}$$

Принимаем $x=0,1 \text{ м}$

3. Определяем сопротивление теплопередаче пола первого этажа при данной толщине утеплителя:

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,38} + \frac{0,04}{0,26} + \frac{0,1}{0,043} + \frac{0,12}{1,92} + \frac{1}{12} = 2,75 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

7.2. Построение графика распределения температуры:

1. Определяем тепловую инерцию:

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

$$D = \frac{0,003}{0,38} 8,56 + \frac{0,04}{0,26} 4,64 + \frac{0,1}{0,043} 0,46 + \frac{0,12}{1,92} 17,98 = 3,0199$$

2. Т.к. $1,5 < D < 4$, то

$t_{в5} = -25$ °С (температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 табл. 4.3 [1]) для Брестской области.

$t_{в} = 18$ °С (табл. 4.1 [1]),

$R_T = 2,75$ м²°С/Вт (п. 7.1.),

$\alpha_в = 8,7$ Вт/(м²°С) (табл. 5.4 [1], п.1).

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

$$t_{в.пок-ми} = t_{в} - \frac{t_{в} - t_{н}}{\alpha_в \cdot R_T};$$

$$t_{в.пок-ми} = 18 - \frac{18 - (-25)}{8,7 \cdot 2,75} = 16,20$$
 °С.

4. Определяем температуру в точке 2:

$$t_2 = t_{в} - \frac{t_{в} - t_{н}}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_в} + R_1 \right);$$

$$t_2 = 18 - \frac{18 - (-25)}{2,75} \left(\frac{1}{8,7} + 0,0132 \right) = 15,99$$
 °С.

5. Определяем температуру в точке 3:

$$t_3 = t_{в} - \frac{t_{в} - t_{н}}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_в} + R_1 + R_2 \right);$$

$$t_3 = 18 - \frac{18 - (-25)}{2,75} \left(\frac{1}{8,7} + 0,0132 + 0,153 \right) = 13,59$$
 °С.

6. Определяем температуру в точке 4:

$$t_4 = t_{в} - \frac{t_{в} - t_{н}}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_в} + R_1 + R_2 + R_3 \right);$$

$$t_4 = 18 - \frac{18 - (-25)}{2,75} \left(\frac{1}{8,7} + 0,0132 + 0,153 + 2,325 \right) = -22,72$$
 °С.

7. Определяем температуру в точке 5:

$$t_5 = t_{н} - \frac{t_{в} - t_{н}}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_н} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \right);$$

$$t_5 = 18 - \frac{18 - (-25)}{2,75} \left(\frac{1}{8,7} + 0,0132 + 0,153 + 2,325 + 0,0625 \right) = -23,69$$
 °С.

8. Строим график изменения температур:

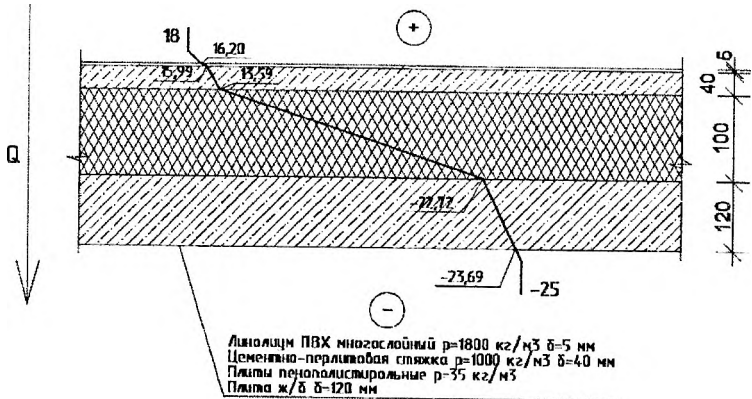


Рисунок 21 – График распределения температур в полу 1-го этажа

$$Q_a - \alpha_a(t_a - t_{a,n}) = 8.7 \cdot (18 - 16.2) = 15.66 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_n = \alpha_n(t_{n,n} - t_n) = 12 \cdot (-23.69 - (-25)) = 15.72 \text{ Вт/м}^2$$

Т.к. $15.66 \approx 15.72$, график построен верно.

7.3. Расчет на сопротивление паропроницанию

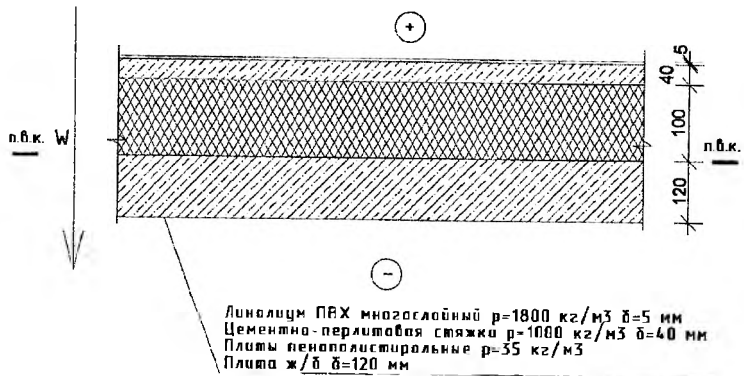


Рисунок 22 – Пол первого этажа

1. Определяем сопротивление паропроницанию ограждения:

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

$$R_n = \frac{0,005}{0,02} + \frac{0,04}{0,15} + \frac{0,1}{0,05} = 2,51 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

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

$$R_{n,n} = \frac{\delta_4}{\mu_4};$$

$$R_{n,n} = \frac{0,12}{0,03} = 4 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

3. Определяем парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха:

$$\varphi_n = 55\% \text{ (табл. 4.1 [1])}$$

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

$$e_n = 0,01 \cdot 55 \cdot 2064 = 1135,2$$

4. Определяем температуру в П.В.К.:

$$R_T = 2,75 \text{ м}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт} \text{ (п.7.1)}$$

$$t_{н.от.} = 0,2^\circ\text{C} \text{ (табл. 4.4 [1] для Брестской области)}$$

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

$$t = t_n - \frac{t_n - t_{н.от.}}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right)$$

$$t = 18 - \frac{18 - 0,2}{2,75} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,38} + \frac{0,04}{0,26} + \frac{0,1}{0,043} \right) = 1,12^\circ\text{C}$$

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

$$E_n = 662,8 \text{ Па (методом интерполяции по прил. Е [1]).}$$

6. Определяем парциальное давление водяного пара наружного воздуха:

$$e_{н.от.} = 521 \text{ (по табл. 4.4 [1]).}$$

7. Определяем требуемое сопротивление паропроницанию:

$$R_{n,тр} = 4 \cdot \frac{1135,2 - 662,8}{662,8 \cdot 521} = 13,326 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

По расчёту $R_n < R_{n,тр}$ ($2,51 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} < 13,326 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$), следовательно, в данной конструкции требуется дополнительная пароизоляция. В зависимости от разности

$R_{n,тр} - R_n = 10,816 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, по приложению Ж [1] определяем вид пароизоляции: 2 слоя полиэтиленовой пленки.

8. РАСЧЕТ НЕОДНОРОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОЛА ПЕРВОГО ЭТАЖА

8.1. Определение толщины утеплителя и фактического сопротивления теплопередаче

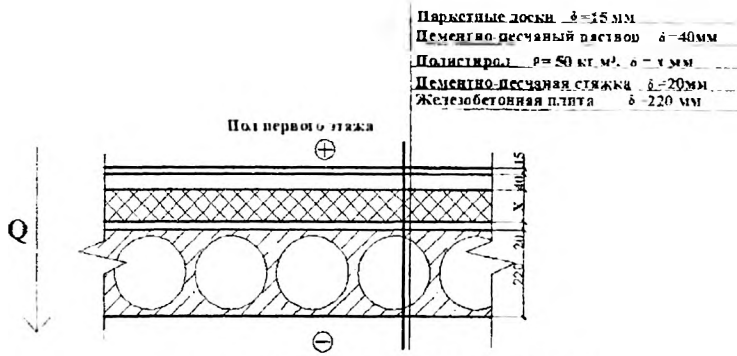


Рисунок 23 – Пол первого этажа

1. Принимаем режим эксплуатации А (табл. 4.2 [1] примечание) и определяем характеристики материалов.

1) паркетные доски:

$$\lambda = 0,14 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, S = 3,87 \text{ Вт/м}^2\text{С}, \mu = 0,06 \text{ мг/мчПа (прил. А.1 [1], п.77);}$$

2) цементно-песчаный раствор:

$$\lambda = 0,76 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, S = 9,60 \text{ Вт/м}^2\text{С}, \mu = 0,09 \text{ мг/мчПа (прил. А.1 [1], п.39);}$$

3) пенополистирол:

$$\lambda = 0,043 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, S = 0,46 \text{ Вт/м}^2\text{С}, \mu = 0,05 \text{ мг/мчПа (прил. А.1 [1], п.108);}$$

4) цементно-песчаный раствор:

$$\lambda = 0,76 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, S = 9,60 \text{ Вт/м}^2\text{С}, \mu = 0,09 \text{ мг/мчПа (прил. А.1 [1], п.39);}$$

5) железобетонная плита:

5.1) железобетон

$$\lambda = 1,92 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}, S = 17,98 \text{ Вт/м}^2\text{С}, \mu = 0,03 \text{ мг/мчПа (прил. А.1 [1], п.1);}$$

5.2) замкнутая воздушная прослойка.

2. Рассчитаем термическое сопротивление железобетонной пустотной плиты R_s , как неоднородной конструкции:

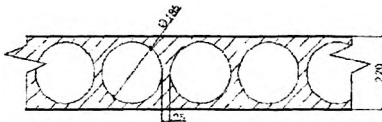


Рисунок 24 – Железобетонная плита с круглыми пустотами

2.1. Заменяем круглые пустоты на квадратные с равной площадью сечения. Сторона квадрата, площадь которого равна площади круга с диаметром 185 мм, определяется по формуле:

$$a = \delta_{s2} = \sqrt{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 185^2}{4}} = 164 \text{ мм}$$

Расстояние между пустотам:

$$b = 185 + 25 - 164 = 46 \text{ мм}$$

Расстояние от верха (низа) плиты до пустоты:

$$\delta_{5,1} = 0,5 \cdot (220 - 164).$$

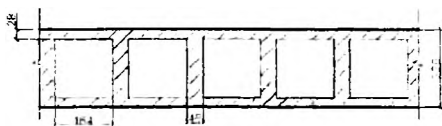
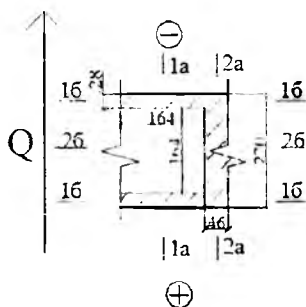


Рисунок 25 – Железобетонная плита с эквивалентными квадратными пустотами

2.2. В конструкции пола первого этажа тепловой поток направлен сверху вниз, а температура воздуха в пустотах плиты отрицательная. Следовательно, термическое сопротивление воздуха в пустотах принимаем $R_{5,2} = 0,24 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ (по приложение Б [1]).

2.3 Выбираем участок для расчета:



2.4. Разбиваем участок плоскостями, параллельными направлению теплового потока (сечение 1а и 2а).

2.5. Вычисляем площади, соответствующие сечениям:

$$F_{1a} = 0,220 \cdot 0,164 = 0,036 \text{ м}^2,$$

$$F_{2a} = 0,46 \cdot 0,22 = 0,101 \text{ м}^2,$$

Рисунок 26 – Расчётный участок

2.6. Определяем термическое сопротивление в сечении 1а:

$$R_{01} = \frac{\delta_{3,1}}{\lambda_{5,1}} + R_{5,2} + \frac{\delta_{5,1}}{\lambda_{5,1}} = \frac{0,028}{1,92} + 0,24 + \frac{0,028}{1,92} = 0,269 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

2.7. Определяем термическое сопротивление в сечении 2а:

$$R_{02} = \frac{\delta_5}{\lambda_{5,1}} = \frac{0,22}{1,92} = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

2.8. Вычисляем R_a :

$$R_a = \frac{F_{1a} + F_{2a}}{\frac{F_{1a}}{R_{01}} + \frac{F_{2a}}{R_{02}}} = \frac{0,036 + 0,101}{\frac{0,036}{0,269} + \frac{0,101}{0,115}}$$

2.9. Разбиваем участок плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока (сечение 1б и 2б):

2.10. Определяем термическое сопротивление в сечении 1б:

$$R_{011} = \frac{\delta_{3,1}}{\lambda_{5,1}} = \frac{0,028}{1,92} = 0,015 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

2.11. Определяем термическое сопротивление в сечении 2б:

$$F_{261} = 0,164 \cdot 0,164 = 0,027 \text{ м}^2$$

$$F_{262} = 0,164 \cdot 0,046 = 0,008 \text{ м}^2$$

$$R_{261} = R_{5,2} = 0,24 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

$$R_{262} = \delta_{5,2} / \lambda_{5,1} = 0,164 / 1,92 = 0,085 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$$

$$R_{22} = \frac{\frac{F_{12a} - F_{22a}}{F_{12a}} + \frac{F_{22a}}{F_{22a}}}{\frac{R_{12a}}{R_{12a}} + \frac{R_{22a}}{R_{22a}}} = \frac{0,027 + 0,008}{0,027 + 0,008} = 0,171 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

2.12. Рассчитываем R_6 :

$$R_6 = R_{22} + R_{22} + R_{22} = 0,015 + 0,171 + 0,015 = 0,201 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

2.13. Так как R_6 не превышает R_5 более чем на 25% $((0,208 - 0,201)/0,208 = 0,034 = 3,4\% < 25\%)$, рассчитываем R_5 по формуле:

$$R_5 = \frac{R_6 + 2 \cdot R_{22}}{3} = \frac{0,208 + 2 \cdot 0,201}{3} = 0,203 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

3. Вычисляем толщину утеплителя:

$$R_{\text{тн}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{X}{\lambda_3} + R_4 + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}$$

$R_{\text{тн}} = 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ (перекрытия над неотапливаемыми подвалами табл.5.1 [1], п.3).

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

$\alpha_{\text{н}} = 6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ (табл. 5.7 [1]),

$$2,5 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,04}{0,76} + \frac{X}{0,043} + \frac{0,02}{0,76} + 0,203 + \frac{1}{6}$$

$$X = 0,078 \text{ м.}$$

Принимаем $\delta_2 = 0,08 \text{ м.}$

4. Определяем сопротивление теплопередаче пола первого этажа при данной толщине утеплителя:

$$R_{\text{п}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,04}{0,76} + \frac{0,08}{0,043} + \frac{0,02}{0,76} + 0,203 + \frac{1}{6} = 2,53 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

8.2. Построение графика распределения температуры

1. Определяем тепловую инерцию железобетонной плиты:

$$D_5 = R_{16} \cdot S_{16} + R_{26} \cdot S_{26} + R_{17} \cdot S_{17}$$

$$R_{16} = 0,015 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \text{ (п.8.1.)}$$

$$S_{16} = S_{5,1} = 17,98 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$$

$$R_{26} = 0,171 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} \text{ (п.8.1.)}$$

$$S_{26} = \frac{F_{261} \cdot S_{261} + F_{262} \cdot S_{262}}{F_{261} + F_{262}}$$

$$S_{261} = S_{5,2} = 0 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$$

$$S_{262} = S_{5,1} = 17,98 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$$

$$F_{261} = 0,164 \cdot 0,164 = 0,027 \text{ м}^2 \text{ (п.8.1.)}$$

$$F_{262} = 0,164 \cdot 0,046 = 0,008 \text{ м}^2 \text{ (п.8.1.)}$$

$$S_{26} = \frac{0,027 \cdot 0 + 0,008 \cdot 17,98}{0,027 + 0,008} = 4,11 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$$

$$D_5 = 0,015 \cdot 17,98 + 0,171 \cdot 4,11 + 0,015 \cdot 17,98 = 1,242$$

2. Определяем тепловую инерцию:

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot S_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \cdot S_2 + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \cdot S_3 + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \cdot S_4 + D_5$$

$$D = \frac{0,015}{0,14} \cdot 3,87 + \frac{0,04}{0,76} \cdot 9,6 + \frac{0,08}{0,043} \cdot 0,46 + \frac{0,02}{0,76} \cdot 9,6 + 1,242 = 3,314$$

3. Т.к. $1,5 < D < 4$, то $t_{\text{в} 0,92} = -29 \text{ °C}$ (температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 табл. 4.3 [1] для Могилёвской области);

$$t_b = 18 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (табл. 4.1 [1]),}$$

$$R_T = 2,53 \text{ м}^2\text{C/Вт} \text{ (п.8.1),}$$

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

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

$$t_1 = t_s - \frac{t_s - t_b}{\alpha_s \cdot R_T}$$

$$t_1 = 18 - \frac{18 - (-29)}{8,7 \cdot 2,53} = 15,86^\circ\text{C}$$

5. Определяем температуру в точке 2:

$$t_2 = t_s - \frac{t_s - t_b}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right)$$

$$t_2 = 18 - \frac{18 - (-29)}{2,53} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,14} \right) = 13,87^\circ\text{C}$$

6. Определяем температуру в точке 3:

$$t_3 = t_s - \frac{t_s - t_b}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right)$$

$$t_3 = 18 - \frac{18 - (-29)}{2,53} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,04}{0,76} \right) = 12,90^\circ\text{C}$$

7. Определяем температуру в точке 4:

$$t_4 = t_s - \frac{t_s - t_b}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)$$

$$t_4 = 18 - \frac{18 - (-29)}{2,53} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,04}{0,76} + \frac{0,08}{0,043} \right) = 21,67^\circ\text{C}$$

8. Определяем температуру в точке 5:

$$t_5 = t_s - \frac{t_s - t_b}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \right)$$

$$t_5 = 18 - \frac{18 - (-29)}{2,53} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,04}{0,76} + \frac{0,08}{0,043} + \frac{0,02}{0,076} \right) = 22,15^\circ\text{C}$$

9. Определяем температуру в точке 6:

$$t_6 = t_s - \frac{t_s - t_b}{R_T} \left(\frac{1}{\alpha_s} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + R_T \right)$$

$$t_6 = 18 - \frac{18 - (-29)}{2,53} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,04}{0,76} + \frac{0,08}{0,043} + \frac{0,02}{0,076} + 0,203 \right) = 25,93^\circ\text{C}$$

10. Строим график изменения температур:

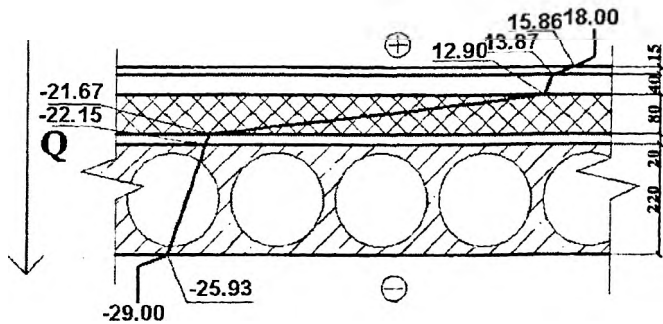


Рисунок 27 – График распределения температур в полу первого этажа

11. Определяем тепловой поток через конструкцию:

$$Q_e - \alpha_e (t_e - t_{e,n}) = 8.7 (18 - 15.86) = 18.62 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q_n - \alpha_n (t_n - t_{n,n}) = 6 \cdot (-29 - (-25.93)) = 18.42 \text{ Вт/м}^2$$

Т.к. $18.62 \approx 18.42$, график построен верно.

8.3. Расчет на сопротивление паропрооницанию

Расчет неоднородной конструкции на сопротивление паропрооницанию ведется по худшему сечению (с наименее плотными материалами).



Рисунок 28 – Пол первого этажа

Круглые пустоты были заменены на квадратные размером 164x164мм с шагом 210мм. Расстояние по пустоты до края плиты сверху (снизу) составляет 28мм.

1. Определяем сопротивление паропрооницанию ограждения:

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

$$R_e = \frac{0.015}{0.06} + \frac{0.04}{0.09} + \frac{0.08}{0.05} = 1.98 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

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

$$R_{n,в} = \frac{\delta_4}{\mu_4} + \frac{\delta_{31}}{\mu_{31}} + \frac{\delta_{22}}{\mu_{22}};$$

$$R_{n,в} = \frac{0.02}{0.09} + \frac{0.028}{0.03} + \frac{0.028}{0.03} = 2.09 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

3. Определяем парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха:

$$\varphi_e = 55\% \text{ (табл. 4.1 [1])},$$

$$E_e = 2064 \text{ Па (по прил. Е [1] при } t_e = 18^\circ\text{C (по табл. 4.1 [1])},$$

$$e_e = 0,01 \cdot 55 \cdot 2064 = 1135,2.$$

4. Определяем температуру в П.В.К.:

$$R_T = 2.53 \text{ м}^{20}\text{C} / \text{Вт (п. 8.1)},$$

$$t_{н,от} = -1,9^\circ\text{C (табл. 4.4 [1] Могилевской области)},$$

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

$$t = t_e - \frac{t_e - t_{н,от}}{R_T} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \right)$$

$$t = 18 - \frac{18 - (-1,9)}{2.53} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,015}{0,14} + \frac{0,04}{0,76} + \frac{0,08}{0,043} \right) = 12,1^\circ\text{C}$$

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

$$E_k = 661,7 \text{ Па (методом интерполяции по прил. Е [1])}.$$

6. Определяем парциальное давление водяного пара наружного воздуха:

$$e_{н,от} = 439 \text{ (по табл. 4.4 [1] для Могилевской области)}.$$

7. Определяем требуемое сопротивление паропроницанию:

$$R_{т,в} = 2,09 \cdot \frac{1135,2 - 661,7}{661,7 - 439} = 4,447 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

По расчёту $R_n > R_{н,тр}$ ($1,98 \text{ м}^2\text{чПа/м} < 4,447 \text{ м}^2\text{чПа/мг}$), следовательно, в данной конструкции требуется дополнительная пароизоляция. $R_{н,тр} - R_n = 2,47 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, по приложению Ж [1] определяем вид пароизоляции: 3 слоя полиэтиленовой пленки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительная теплотехника: ТКП 45-2.04-43-2006. / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн.: 2007.
2. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85 / ГОССТОЙ СССР. – М.: 1988.
3. Строительная физика / Н.М. Гусев, П.П. Климов. – Москва, 1976.
4. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций: Пособие 2.04.01-96 к СНБ 2.01.01. / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн.:1996. – 67 с.
5. Маты прошивные из минеральной ваты теплоизоляционные. Технические условия: ГОСТ 21880-93 / МНТКС. – Мн.: 1993. – 14 с.
6. Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем теплоизоляционные. Технические условия: ГОСТ 9573-96 / МНТКС. – Мн.: 1997 – 10 с.
7. Плиты минераловатные повышенной жесткости на синтетическом связующем. Технические условия: ГОСТ 22950-95/ МНТКС. – Мн.: 1995. – 10 с.
8. Плиты пенополистирольные. Технические условия: ГОСТ 15588-86 / ГОССТРОЙ СССР. – М.:1986. – 12 с.
9. Плиты теплоизоляционные из пенопласта на основе резольных фенолформальдегидных смол. Технические условия: ГОСТ 20916-87/ ГОССТРОЙ СССР. – М.:1989. – 7 с.
10. Материалы теплоизоляционные из пенопласта на основе карбамидоформальдегидной смолы. Технические условия: СТБ 1246-2005 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн.:2005. – 8 с.
11. Изделия теплоизоляционные из пенополиуретана. Технические условия: СТБ 1495-2004 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн.:2005. – 5 с.
12. Плиты древесноволокнистые технические условия: ГОСТ 4598-86 / ГОССТРОЙ СССР. – М.:1986. – 11 с.
13. Плиты древесностружечные. Технические условия: ГОСТ 10632-89 / ГОССТРОЙ СССР. – М.:1996. – 14 с.
14. Плиты древесностружечные для строительства. Технические условия: СТБ 1554-2005 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн.:2005. – 11 с.
15. Плиты льнокостричные теплоизоляционные. Технические условия: СТБ 989-95 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн.:1995. – 10 с.
16. Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия: СТБ 1117-98 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Мн.:1999. – 29 с.

КОЭФФИЦИЕНТ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ДАВЛЕНИЯ ВЕТРА

Табл.6 [2]

Высота z, м	Коэффициенты k для типов местности		
	A	B	C
≤5	0,75	0,5	0,4
10	1	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1
80	1,85	1,45	1,15
100	2	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55
200	2,45	2,1	1,8
250	2,65	2,3	2
300	2,75	2,5	2,2
350	2,75	2,75	2,35
>=480	2,75	2,75	2,75

A, B, C – типы местности.

A — открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра;

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

C — городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м.

Сооружение считается расположенным в местности данного типа, если эта местность сохраняется с наветренной стороны сооружения на расстоянии $30h$ — при высоте сооружения h до 60 м и 2 км — при большей высоте.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

	Материалы и конструкции	Толщина слоя, мм	Сопротивление воздухопроницанию, R (м ² ·ч·Па)/кг
1	Бетон сплошной	100	19620
2	Газосиликат сплошной	140	21
3	Известняк ракушечник	500	6
4	Картон строительный (без швов)	1,3	64
5	Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе	250 и более	18
6	Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-песчаном растворе	120	2
7	Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе	250 и более	9
8	Кирпичная кладка из сплошного кирпича на цементно-шлаковом растворе	120	1
9	Кирпичная кладка из кирпича керамического пустотного на цементно-песчаном растворе	120	2
10	Кладка из легкобетонных камней на цементно-песчаном растворе	400	13
11	Кладка из легкобетонных камней на цементно-шлаковом растворе	400	1
12	Листы асбестоцементные с заделкой швов	6	196
13	Обшивка из обрезных досок, соединенных впритык или четверть	20-25	0,1
14	Обшивка из обрезных досок, соединенных в шпунт	20-25	1,5
15	Обшивка из досок двойная с прокладкой между обшивками строительной бумаги	50	98
16	Обшивка из фибролита или из древесноволокнистых безцементных мягких плит с заделкой швов	15-70	2,5
17	Обшивка из фибролита или из древесноволокнистых безцементных мягких плит без заделки швов	15-70	0,5
18	Обшивка из жестких древесноволокнистых плит с заделкой швов	10	3,3
19	Обшивка из гипсовой сухой штукатурки с заделкой швов	10	20
20	Пенобетон автоклавный (без швов)	100	1960
21	Пенобетон не автоклавный	100	196
22	Пенополистерол	50-100	79
23	Пеностекло сплошное	120	воздухонепроницаемо
24	Плиты минераловатные жесткие	50	2
25	Рубероид	1,5	воздухонепроницаем
26	Толь	1,5	490
27	Фанера клееная (без швов)	3-4	2940
28	Шлакобетон сплошной	100	13
29	Штукатурка цементно-песчаным раствором по камневой или кирпичной кладке	15	373
30	Штукатурка известковая по камневой или кирпичной кладке	15	142
31	Штукатурка известково-гипсовая по дереву	20	17

ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Наименование материала	Плотность кг/м ³	Нормативный документ	Толщина, мм
Маты порошковые из минеральной ваты	50-135	ГОСТ 21880-93	40, 50, 60, 70, 80, 100, 120
Плиты из минеральной ваты	75	ГОСТ 9573-96	60; 70; 80; 90; 100; 110; 120
Плиты из минеральной ваты	125	ГОСТ 9573-96	50; 60; 70; 80; 90; 100
Плиты из минеральной ваты	175; 225	ГОСТ 9573-96	40; 50; 60; 70; 80
Плиты минераловатные повышенной жесткости	200	ГОСТ 22950-95	40; 50; 60; 70; 80
Плиты минераловатные повышенной жесткости гофрированной структуры	175; 200	ГОСТ 22950-95	50; 60; 70; 80; 90; 100;
Плиты из пенополистерола	15; 25; 35; 50	ГОСТ 15588-86	от 20 до 500 с интервалом 10
Плиты из пенопласта на основе резольных феноло-формальдегидных смол	40-100	ГОСТ 20916-87	от 50 до 170 с интервалом 10
Изделия из пенопласта на основе карбамидоформальдегидной смолы	10; 20; 30; 40	СТБ 1246-2005	от 50 до 250 с интервалом 20
Изделия из пенополиуретана	30-60	СТБ 1495-2004	от 25 до 70 с интервалом 5
Плиты пенополистеролбетонные	150-350	СТБ 1102-2005	от 60 до 200 с интервалом 20
Древесноволокнистые плиты	100-400	ГОСТ 4598-86	8; 12; 16
Древесноволокнистые плиты	800-1100	ГОСТ 4598-86	2,5; 3,2; 4,0; 5,0
Древесностружечные плиты	550-820	ГОСТ 10632-89	от 8 до 28 с интервалом 1
Древесностружечные плиты	700-900	СТБ 1554-2005	от 16 до 22 с интервалом 1
Плиты льнокостричные	200; 250	СТБ 989-95	25
Блоки стеновые из ячеистых бетонов	350-1100	СТБ 1117-98	100; 120; 200; 250; 300; 400; 500

Составители:
Русак Николай Николаевич
Матчан Виктор Александрович
Давыдюк Анна Ивановна
Тур Светлана Александровна

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения курсового проекта

«Теплотехнический расчет жилого здания»

для студентов специальностей

1-69 01 01 «Архитектура»,

1-70 04 02 «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана
воздушного бассейна» и

1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»

Ответственный за выпуск Русак Н.Н.
Редактор Строкач Т.В.
Компьютерная верстка Боровикова Е.А.
Корректор Никитчик Е.В.

Подписано к печати 1.04.2011 г. Формат 60х84 1/16. Бумага «Снегурочка».

Усл. п.л. 2,8. Уч. изд. л. 3,0. Заказ № 372. Тираж 100 экз.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.