

Содержание

Введение	7
1 Исходные данные	9
2 Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций	10
2.1 Порядок расчёта сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций	10
2.2 Определение сопротивления теплопередаче заданных ограждающих конструкций	13
3 Теплоустойчивость ограждающих конструкций	19
3.1 Методика расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций	19
3.2 Расчет на теплоустойчивость заданных ограждающих конструкций	21
4 Теплоусвоение поверхности пола	25
4.1 Порядок расчета теплоусвоения поверхности пола	25
4.2 Расчет теплоусвоения заданной поверхности пола (перекрытие над неотапливаемым подвалом)	26
5 Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций	28
5.1 Порядок расчета сопротивления воздухопроницанию ограждающих конструкций	28
5.2 Расчет сопротивления воздухопроницанию заданных ограждающих конструкций	29
6 Сопротивление паропроницанию ограждающих конструкций	31
6.1 Порядок расчета сопротивления паропроницанию ограждающих конструкций	31
6.2 Расчет сопротивления паропроницанию заданных ограждающих конструкций	34
7 Анализ возможного влажностного режима ограждений	39
7.1 Порядок анализа влажностного режима ограждения	39

7.2 Анализ влажностного режима заданных ограждений	41
8 Годовой баланс влаги в ограждении	48
8.1 Порядок расчета годового баланса влаги в ограждении	48
8.2 Расчет годового баланса влаги в заданных ограждениях	50
9 Расчёт влияния инфильтрации воздуха	52
9.1 Порядок расчёта влияния инфильтрации воздуха	52
9.2 Расчёт влияния инфильтрации воздуха для наружной стены	53
Библиография	55
Приложение №1	57
Приложение №2	58
Приложение №3	59
Приложение №4	60

Введение

В введении хочется упомянуть о нормативной проблеме с которой столкнулись строители при выполнении расчёта тепловлажностного режима наружных ограждающих конструкций, который произведется согласно СП 23-101-2004 и СНиП 23-02-2003. Дело в том, что СНиП 23-02-2003, был введён 1 октября 2003 г. взамен СНиП II-3-79* согласно постановлению Госстроя РФ от 26 июня 2003 г. № 113, о принятии и введении в действие строительных норм и правил "Тепловая защита зданий".

Постановлению Госстроя РФ от 26 июня 2003 г. № 113.

Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу постановляет:

1. Принять и ввести в действие с 1 октября 2003 г. строительные нормы и правила "Тепловая защита зданий".

2. Признать не действующими с 1 октября 2003 г. на территории Российской Федерации СНиП II-3-79 "Строительная теплотехника" (приказ Минстроя России от 4 июня 1992 г. № 135 "Об утверждении "Перечня нормативных документов в строительстве, действующих на территории Российской Федерации"). но согласно письму Минюста РФ от 18 марта 2004 г. № 07/2964-ЮД постановлению Госстроя РФ от 26 июня 2003 г. № 113, утвердившему настоящие СНиП, отказано в государственной регистрации.

"По вопросу действия СНиП, принятых в 2003 г. и не прошедших регистрацию в Минюсте России" - письмо Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (от 10 февраля 2005 г. N КС-7.).

По вопросу действия СНиП, принятых в 2003 г. и не прошедших регистрацию в Минюсте России, ТК 465 "Строительство" сообщает следующее.

В соответствии с пунктом 15 "Разъяснений о применении правил подготовки нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти и их государственной регистрации", утвержденных приказом Минюста России от 14.07.99 N 217, не подлежат представлению на государственную регистрацию технические акты (ГОСТы, СНиПы, СанПиНы, тарифно-квалификационные

справочники, формы статистического наблюдения и т.п.), если они не содержат правовых норм.

В связи с этим, утверждаемые Госстроем России строительные нормы и правила, которые содержат исключительно профессиональные технические нормы, на регистрацию не представлялись.

В 2003 году отдельные СНиПы были представлены в Минюст России по его специальному запросу. Однако Минюст России отказал в регистрации и предложил Госстрою России отменить эти документы по чисто формальным основаниям (не представлялись на регистрацию в установленном порядке, содержат ссылки на незарегистрированные документы и т.д.).

Госстрой России не согласился с предложениями Минюста России об отмене строительных норм и правил, как безосновательными и ведущими к разрушению существующей нормативно-технической базы строительства. В последующем позиция Госстроя России была практически поддержана Минпромэнерго России и в настоящее время вопрос рассматривается в соответствии с поручением Правительства Российской Федерации.

Таким образом, строительные нормы и правила, в регистрации которых было отказано, не отменены, продолжают действовать и сохраняют свою обязательную силу в соответствии с пунктом статьи 46 Федерального закона "О техническом регулировании", как технические нормы по вопросам безопасности строительства.

"О своде правил" - письмо Госстроя РФ от 26 марта 2004 г. N ЛБ-2013/9.

Госстрой России рассмотрел СП 23-101-2004 "Проектирование тепловой защиты зданий", разработанный ФГУП ЦНС Госстроя России, НИИСФ РААСН, АО ЦНИИпромзданий и ЦНИИЭП жилища.

Свод правил разработан взамен СП 23-101-2000 и устанавливает рекомендуемые, признанные и оправдавшие себя на практике положения, развивающие и обеспечивающие реализацию требований СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий".

Госстрой России одобряет представленный свод правил и рекомендует его для применения на добровольной основе в качестве нормативного документа Системы нормативных документов в строительстве.

1 Исходные данные

Рассчитываемое здание - жилое, число этажей - 10, высота этажа 3 м.
Город застройки здания - Воронеж, расчётная географическая широта - 52⁰, зона влажности - 3 (сухая, принимается по приложению В СНиП 23-02-2003).

Для города Воронежа температуры наружного воздуха для теплого периода года обеспеченностью 0,95 - 24,1⁰С и обеспеченностью 0,99 - 28,6⁰С (принимаемые по таблице 2 СНиП 23-01-99). Для холодного периода года температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 равняется -26⁰С; продолжительность периода со средней суточной температурой менее или равной 8⁰С - 196 суток, средняя температура этого периода будет -3,1⁰С; продолжительность периода со средней суточной температурой менее или равной 0⁰С - 134 суток /2, таблица 1/.

Таблица 1.1 - Средняя месячная и годовая температура воздуха, и упругость водяных паров наружного воздуха. /2, таблица 3/

Город		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Воронеж	t, ⁰ С	-9,8	-9,6	-3,7	6,6	14,6	17,9	19,9	18,6	13	5,9	-0,6	-6,2	5,6
	e, гПа	2,9	3,1	4,3	7	9,4	12,7	15	13,8	10,3	7,3	5,4	4	7,9

По ГОСТ 30494-96 принимаем, допустимые температуры воздуха в жилых помещениях, в холодный период года - 18-24⁰С при относительной влажности не более 60% (оптимальная - 20-22⁰С, 45-30%), в теплый период года - 20-28⁰С при относительной влажности не более 65% (оптимальная - 22-25⁰С, 60-30%).

Влажностный режим помещений - нормальный /1, таблица 1/.

Условия эксплуатации ограждающих конструкций - А /1, таблица 2/.

Конструкции ограждающих конструкций приняты по варианту 9.

2 Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

По существующим нормам и правилам при расчёте ограждающих конструкций на сопротивление теплопередаче необходимо выполнение следующих требований:

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_0 должно быть не менее R_{reg} - нормированного сопротивления теплопередаче, зависящего от назначения здания, типа ограждающих конструкций и градусосуток отопительного периода (ГСОП). ГСОП - определяет суровость климата.

Также по санитарно-гигиеническим требованиям температура внутренней поверхности ограждающей конструкции на $2..3^{\circ}\text{C}$ должна быть выше точки росы; перепад температуры от внутренней поверхности стенки до внутренней температуры помещения не должен превышать 4°C для наружных стен и 3°C для потолка и 2°C для пола.

2.1 Порядок расчёта сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

1. Определение градусо-суток отопительного периода

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{о.п}}) \cdot Z_{\text{о.п}} \quad (2.1)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, принимается согласно ГОСТ 30494-96 и нормам проектирования жилых зданий;

$t_{\text{о.п}}$, $Z_{\text{о.п}}$ – средняя температура, $^{\circ}\text{C}$, и продолжительность, сут., отопительного периода (периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 8^{\circ}\text{C}$), принимаются согласно /2/.

2. Определение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, исходя из условий энергосбережения, значение данного сопротивления принимается согласно /1/ в зависимости от значения ГСОП и вида ограждающей конструкции - R_{reg} , $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

3. Необходимые условия для приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций:

$$R_0^r \geq R_{reg} \quad (2.3)$$

4. Определение расчетной толщины тепловой изоляции, приняв значение

сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции равным R_{reg}

$$\delta_x^{расч} = (R_{reg} - (\frac{1}{\alpha_B} + R_k + \frac{1}{\alpha_H})) \times \lambda_{ут} \quad (2.4)$$

где R_k – термическое сопротивление конструкции ограждения, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$

а) для однородных слоев

$$R_k = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (2.5)$$

где δ_i – толщина i -го слоя, м;

λ_i – расчетный коэффициент теплопроводности материала i -слоя, $Вт/м \cdot ^\circ C$, принимается согласно /1/ в зависимости от условий эксплуатации;

б) для неоднородных слоев

$$R_k = \sum \frac{(R_a + 2R_b)_i}{3}, \quad (2.6)$$

где R_a – термическое сопротивление ограждающей конструкции, полученное путем мысленного разрезания конструкции плоскостями параллельными тепловому потоку, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$;

R_b – термическое сопротивление ограждающей конструкции, полученное путем мысленного разрезания конструкции плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$.

Эти термические сопротивления вычисляются по формулам:

$$R_a = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{\frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}, \quad (2.7)$$

$$R_b = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (2.8)$$

где A_1, A_2, \dots, A_n – площади отдельных участков конструкции;

R_1, R_2, \dots, R_n -- термические сопротивления указанных отдельных участков конструкции, полученных при мысленном разрезании конструкции параллельными и перпендикулярными направлению теплового потока плоскостями;

α_H и α_B – коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной и внутренней поверхности ограждающей конструкции, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$, принимается согласно /1/;

$\lambda_{ут}$ – коэффициент теплопроводности материала утеплителя, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$.

5. Округление полученной расчетной толщины теплоизоляционного слоя до

величины, обеспечивающей стандартный размер всей ограждающей конструкции:
для кирпичной кладки 250, 380, 510, 640, 770 мм.

6. Расчет фактического значения сопротивления теплопередаче ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, с учетом принятой толщины теплоизоляционного слоя, при этом должно соблюдаться условие:

$$R_0^r \geq R_{\text{рег}} \quad (2.9)$$

7. Определяем температуру внутренней поверхности ограждающей конструкции.

$$\tau_{\text{в}} = t_{\text{в}} - \frac{n(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{в}} \cdot R_0} \quad (2.10)$$

8. Определяем перепад температур Δt_0 .

$$\Delta t_0 = t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}} \quad (2.11)$$

9. Проверяем выполнение неравенств, по санитарно-гигиеническим нормам.

$$\tau_{\text{в}} > t_{\text{т.р.}} \quad (2.12)$$

$\Delta t_0 > 4^{\circ} \text{C}$ - для наружных стен

$$\Delta t_0 > 3^{\circ} \text{C} \quad \text{- для потолка} \quad (2.13)$$

$\Delta t_0 > 2^{\circ} \text{C}$ - для пола

$t_{\text{т.р.}}$ - принимаем по /3/

10. Выводы о результатах расчета.

2.2 Определение сопротивления теплопередаче заданных ограждающих конструкций

2.2.1 Определение сопротивления теплопередаче наружной стены

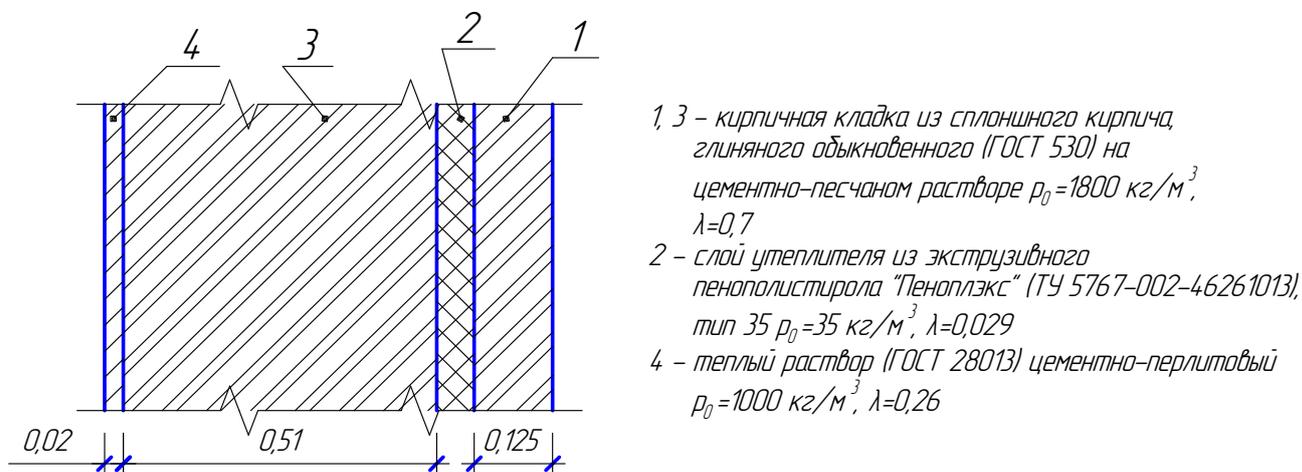


Рисунок 2.1 – Схема наружной стены

1. Градусо-сутки отопительного периода, рассчитываем по формуле (2.1)

$$\text{ГСОП} = (21 + 3,1) \cdot 196 = 4723,6 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$$

2. Сопротивление теплопередаче, исходя из условий энергосбережения, в зависимости от значения ГСОП для наружных стен:

$$R_{\text{рег}} = 0,00035 \cdot 4723,6 + 1,4 = 3,05 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

3. Расчетное сопротивление теплопередаче $R_0 = R_{\text{рег}} = 3,05 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

4. Расчетная толщина тепловой изоляции рассчитывается по формуле (2.4)

$$\delta_x^{\text{расч}} = \left[3,05 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,125}{0,7} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,02}{0,26} + \frac{1}{23} \right) \right] \cdot 0,029 = 0,0553 \text{ м}$$

Термическое сопротивление наружной стены определено как для однородной конструкции по формуле (2.5).

5. Толщина всей конструкции наружной стены с учетом найденной толщины слоя тепловой изоляции:

$$\delta_{\text{п}} = 0,125 + 0,51 + 0,02 + 0,0553 = 0,7103 \text{ м}$$

Принимаем стандартную толщину тепловой изоляции

$$\delta_{\text{ут}} = 0,06 \text{ м, тогда } \delta_{\text{п}} = 0,715 \text{ м.}$$

6. Фактическое сопротивление теплопередаче наружной стены

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,125}{0,7} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,02}{0,26} + \frac{0,06}{0,029} + \frac{1}{23} = 3,21 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$$

7. Определяем температуру внутренней поверхности ограждающей конструкции по формуле (2.10)

$$\tau_{\text{в}} = 21 - \frac{1 \cdot (21 + 26)}{8,7 \cdot 3,21} = 19,32 \text{ °С}$$

8. Определяем перепад температур Δt_0 .

$$\Delta t_0 = 21 - 19,32 = 1,68 \text{ °С}$$

9. Проверяем выполнение неравенств, по санитарно-гигиеническим нормам.

$$\tau_{\text{в}} = 19,94 \geq t_{\text{т.р.}} = 11,62$$

$$\Delta t_0 \leq 4 \text{ °С} - \text{ для наружных стен}$$

10. Данная конструкция удовлетворяет санитарно-гигиеническим и комфортным условиям, а также условиям энергосбережения.

2.2.1 Определение сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия.

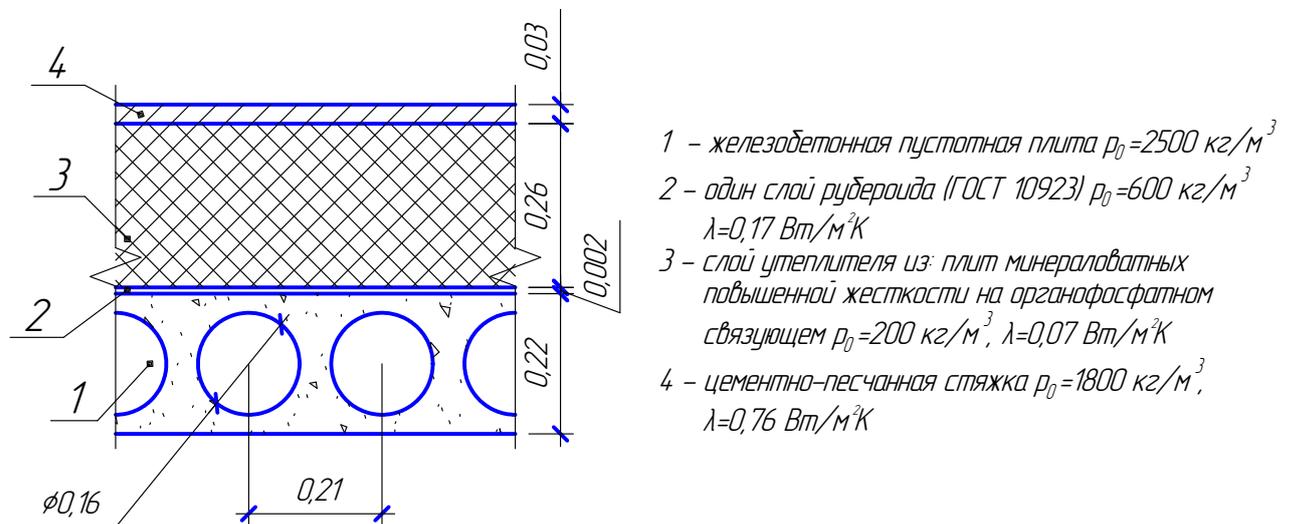


Рисунок 2.2 - Схема чердачного перекрытия.

1. Градусо-сутки отопительного периода, рассчитываем по формуле (2.1)

$$\text{ГСОП} = (21 + 3,1) \cdot 196 = 4723,6 \text{ °С} \cdot \text{сут}$$

2. Сопротивление теплопередаче, исходя из условий энергосбережения, в зависимости от значения ГСОП для чердачного перекрытия:

$$R_{\text{рег}} = 0,00045 \cdot 4723,6 + 1,9 = 4,03 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

3. Расчетное сопротивление теплопередаче $R_0 = R_{\text{рег}} = 4,03 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

4. Т.к. 1^{ый} слой - это неоднородная конструкция, находим приведенное термическое сопротивление для этого слоя.

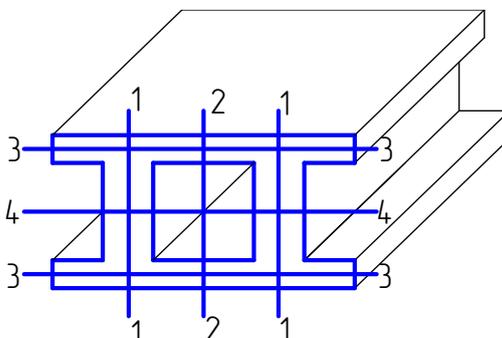


Рисунок 2.3 - Схема железобетонной пустотной плиты.

Для упрощения расчетов выделяется фрагмент плиты длиной 1000 мм и шириной 210 мм. Круглый воздушный канал диаметром 160 мм заменяется равным ему по площади квадратным, со стороной квадрата 140 мм.

Площади отдельных участков по поверхности ограждения

$$A_1 = 0,035 \cdot 1 = 0,035 \text{ м}^2$$

$$A_2 = 0,14 \cdot 1 = 0,14 \text{ м}^2$$

Термические сопротивления участков 1 будут:

$$R_1 = \frac{0,22}{1,92} = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Термическое сопротивление участка 2 будет:

$$R_2 = \frac{0,04}{1,92} + 0,15 + \frac{0,04}{1,92} = 0,192 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Термическое сопротивление ограждающей конструкции, полученное путем мысленного разрезания конструкции плоскостями параллельными тепловому потоку по формуле (2.7)

$$R_a = \frac{0,035 + 0,14 + 0,035}{\frac{0,035}{0,115} + \frac{0,14}{0,192} + \frac{0,035}{0,115}} = 0,157 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Термические сопротивления участков 3 будет:

$$R_3 = \frac{0,04}{1,92} = 0,021 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Термическое сопротивление участка 4 определим по формуле (2.7):

$$R_4 = \frac{0,035 + 0,14 + 0,035}{\frac{0,035}{1,92} + \frac{0,14}{0,15} + \frac{0,035}{1,92}} = 0,111 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Термическое сопротивление ограждающей конструкции, полученное путем мысленного разрезания конструкции плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, по формуле (2.8)

$$R_6 = 0,021 + 0,111 + 0,021 = 0,153 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Тогда, приведенное термическое сопротивление данного слоя, по формуле (2.6) будет:

$$R_k^{\text{пр}} = \frac{0,157 + 2 \cdot 0,153}{3} = 0,154 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

Определим на сколько величина R_a превышает величину R_6 :

$$\frac{R_a}{R_6} = \frac{0,157}{0,153} = 1,026 - \text{превышение не более 3\%, следовательно расчёт слоя}$$

по температурным полям не требуется.

Расчетная толщина тепловой изоляции рассчитывается по формуле (2.4)

$$\delta_x^{\text{расч}} = \left[4,03 - \left(\frac{1}{8,7} + 0,154 + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{1}{12} \right) \right] \cdot 0,07 = 0,254 \text{ м}$$

5. Толщина всей конструкции перекрытия с учетом найденной толщины слоя тепловой изоляции:

$$\delta_{\text{п}} = 0,22 + 0,002 + 0,254 + 0,03 = 0,506 \text{ м}$$

Принимаем стандартную толщину утеплителя

$$\delta_{\text{ут}} = 0,26 \text{ м, тогда } \delta_{\text{п}} = 0,22 + 0,002 + 0,26 + 0,03 = 0,512 \text{ м.}$$

6. Фактическое сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия.

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + 0,154 + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,26}{0,07} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{1}{12} = 4,12 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

7. Определяем температуру внутренней поверхности ограждающей конструкции по формуле (2.10)

$$\tau_{\text{в}} = 21 - \frac{1 \cdot (21 + 26)}{8,7 \cdot 4,12} = 19,69 \text{ °C}$$

8. Определяем перепад температур Δt_0 .

$$\Delta t_0 = 21 - 19,69 = 1,31^\circ\text{C} \quad (2.11)$$

9. Проверяем выполнение неравенств, по санитарно-гигиеническим нормам.

$$\tau_{\text{в}} = 19,69 > t_{\text{т.р.}} = 11,62 \quad (2.12)$$

$$\Delta t_0 = 1,31 < 3^\circ\text{C} - \text{для чердачных перекрытий}$$

10. Данная конструкция удовлетворяет санитарно-гигиеническим и комфортным условиям, а также условиям энергосбережения.

2.2.1 Определение сопротивления теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом.

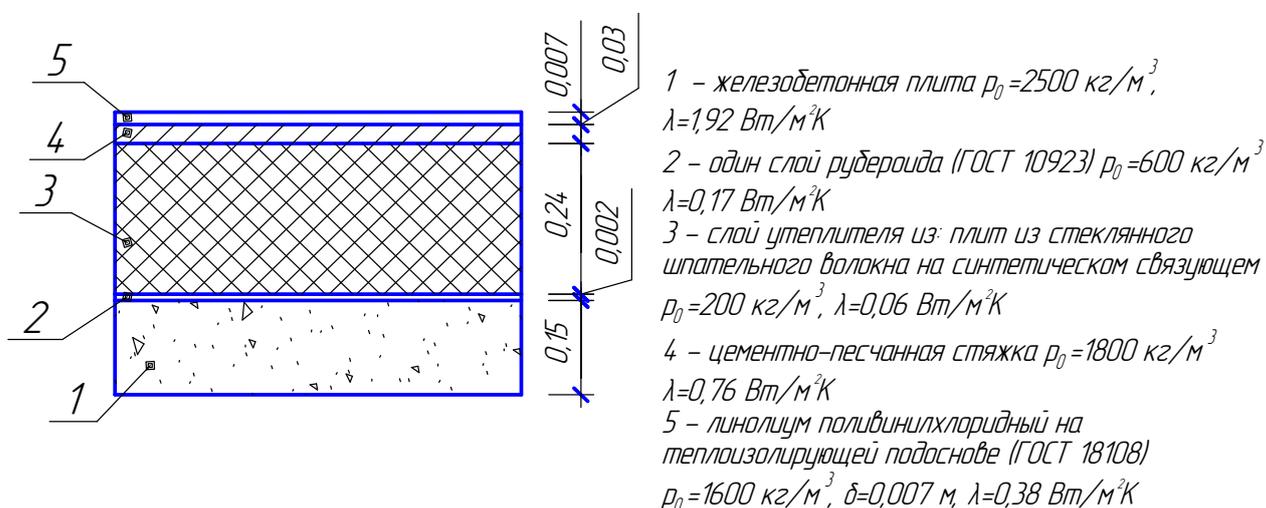


Рисунок 2.4 – Схема перекрытия над неотапливаемым подвалом

1. Градусо-сутки отопительного периода, рассчитываем по формуле (2.1)

$$\text{ГСОП} = (21 + 3,1) \cdot 196 = 4723,6^\circ\text{C}\cdot\text{сут}$$

2. Сопротивление теплопередаче, исходя из условий энергосбережения, в зависимости от значения ГСОП для наружных стен:

$$R_{\text{рег}} = 0,00045 \cdot 4723,6 + 1,9 = 4,03 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$$

3. Расчетное сопротивление теплопередаче $R_0 = R_{\text{рег}} = 4,03 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$.

4. Расчетная толщина тепловой изоляции рассчитывается по формуле (2.4)

$$\delta_x^{\text{расч}} = \left[4,03 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{1,92} + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{0,007}{0,33} + \frac{1}{17} \right) \right] \cdot 0,06 = 0,222 \text{ м}$$

Термическое сопротивление перекрытия определено как для однородной конструкции по формуле (2.5).

5. Толщина всей конструкции наружной стены с учетом найденной толщины слоя тепловой изоляции:

$$\delta_{\text{п}} = 0,15 + 0,002 + 0,222 + 0,03 + 0,007 = 0,411 \text{ м}$$

Принимаем стандартную толщину утеплителя

$$\delta_{\text{ут}} = 0,24 \text{ м, тогда } \delta_{\text{п}} = 0,429 \text{ м}$$

6. Фактическое сопротивление теплопередаче перекрытий над подвалом

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{1,92} + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,24}{0,06} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{0,007}{0,33} + \frac{1}{17} = 4,32 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$$

7. Определяем температуру внутренней поверхности ограждающей конструкции по формуле (2.10)

$$\tau_{\text{в}} = 21 - \frac{0,75 \cdot (21 + 26)}{8,7 \cdot 4,32} = 20,06 \text{ °C}$$

8. Определяем перепад температур Δt_0 .

$$\Delta t_0 = 21 - 20,06 = 0,94 \text{ °C}$$

9. Проверяем выполнение неравенств, по санитарно-гигиеническим нормам.

$$\tau_{\text{в}} = 20,06 > t_{\text{т.р.}} = 1,62$$

$$\Delta t_0 = 0,94 < 2^{\circ} \text{C} - \text{ для перекрытий над подвалом}$$

10. Данная конструкция удовлетворяет санитарно-гигиеническим и комфортным условиям, а также условиям энергосбережения.

2.2.1 Определение сопротивления теплопередаче для заполнений световых проёмов.

1. Градусо-сутки отопительного периода, рассчитываем по формуле (2.1)

$$\text{ГСОП} = (21 + 3,1) \cdot 196 = 4723,6 \text{ °C} \cdot \text{сут}$$

2. Сопротивление теплопередаче, исходя из условий энергосбережения, в зависимости от значения ГСОП для световых проёмов:

$$\text{ГСОП} = 4000 - R_{\text{рег}} = 0,45,$$

$$\text{ГСОП} = 6000 - R_{\text{рег}} = 0,6,$$

Тогда, методом интерполяции при $\text{ГСОП} = 4723,6 - R_{\text{рег}} = 0,504 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

3. Расчетное сопротивление теплопередаче принимается по /3/.

Принимаем двойное остекление с твёрдым селективным покрытием в спаренных деревянных или ПВХ переплётах $R_0 = 0,55 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

$R_0 > R_{\text{рег}}$ - данная конструкция удовлетворяет требованиям /1/.

3 Теплоустойчивость ограждающих конструкций.

3.1 Методика расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций

1. Определение требуемой амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности конструкции

$$A_{\tau_{\text{в}}}^{\text{ТР}} = 2,5 - 0,1(t_{\text{н}} - 21) \quad (3.1)$$

где $t_{\text{н}}$ – среднемесячная температура наружного воздуха за июль, °С, принимаемая согласно /2/.

2. Расчет коэффициента теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для летних условий

$$\alpha_{\text{н}} = 1,16(5 + 10\sqrt{w}) \quad (3.2)$$

где w – минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которых составляет 16% и более, принимаемая согласно /2/, но не менее 1 м/с.

3. Определение расчетной амплитуды колебаний наружного воздуха

$$A_{\text{тн}}^{\text{расч}} = 0,5A_{\text{тн}} + \frac{\rho(I_{\text{макс}} - I_{\text{ср}})}{\alpha_{\text{н}}} \quad (3.3)$$

где $A_{\text{тн}}$ – максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле, °С, принимаемая согласно /2/;

ρ – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции, принимается согласно /1/;

$I_{\text{макс}}$ и $I_{\text{ср}}$ – соответственно максимальное и среднее значения суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), $\text{Вт}/\text{м}^2$, принимаемые для наружных стен, как для вертикальных поверхностей западной ориентации, и для покрытий, как для горизонтальных поверхностей, по /1/;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для летних условий, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$, определяемый по формуле (3.2).

4. Определение коэффициентов теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции. Предварительно вычисляются тепловые инерции каждого слоя, используя формулы:

а) для первого слоя:

$$Y_1 = \frac{(R_1 S_1^2 + \alpha_B)}{(1 + R_1 \alpha_B)} \quad (3.4)$$

б) для i-го слоя:

$$Y_i = \frac{(R_i S_i^2 + Y_{i-1})}{(1 + R_i Y_{i-1})} \quad (3.5)$$

где R_i – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, определяется по формуле (2.5) или (2.6);

S_i – расчетный коэффициент теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, определяется по /1/;

Y_i – коэффициент теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$;

α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, принимается согласно /1/.

Тепловая инерция слоев конструкции вычисляется по формуле:

$$D_i = R_i S_i \quad (3.6)$$

где R_i – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, определяется по формуле (2.5) или (2.6);

S_i – расчетный коэффициент теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции определяется /1/.

5. Определение величины затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции

$$v = 0,9 \exp\left(\frac{D}{\sqrt{2}}\right) \frac{((S_1 + \alpha_B)(S_2 + Y_1) \dots (S_n + Y_{n-1})(\alpha_H + Y_n))}{((S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2) \dots (S_n + Y_n)\alpha_H)} \quad (3.7)$$

где D – тепловая инерция ограждающей конструкции, равная сумме тепловых инерций слоев, входящих в конструкцию;

S_n – расчетный коэффициент теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, определяется /1/;

γ_n – коэффициент теплоусвоения наружной поверхности отдельных слоев ограждающей конструкции, Вт/ м²·°С;

$\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/ м²·°С , принимается согласно /1/;

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для летних условий, Вт/ м²·°С, определяемый по формуле (3.2).

6. Определение амплитуды колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции по формуле:

$$A_{\tau_{в}} = \frac{A_{\tau_{н}}^{\text{расч}}}{\nu} \quad (3.8)$$

где $A_{\tau_{н}}^{\text{расч}}$ - расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха, °С;

ν – величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции.

7. Выводы о результатах расчета.

3.2 Расчет на теплоустойчивость заданных ограждающих конструкций

3.2.1 Расчет на теплоустойчивость наружной стены

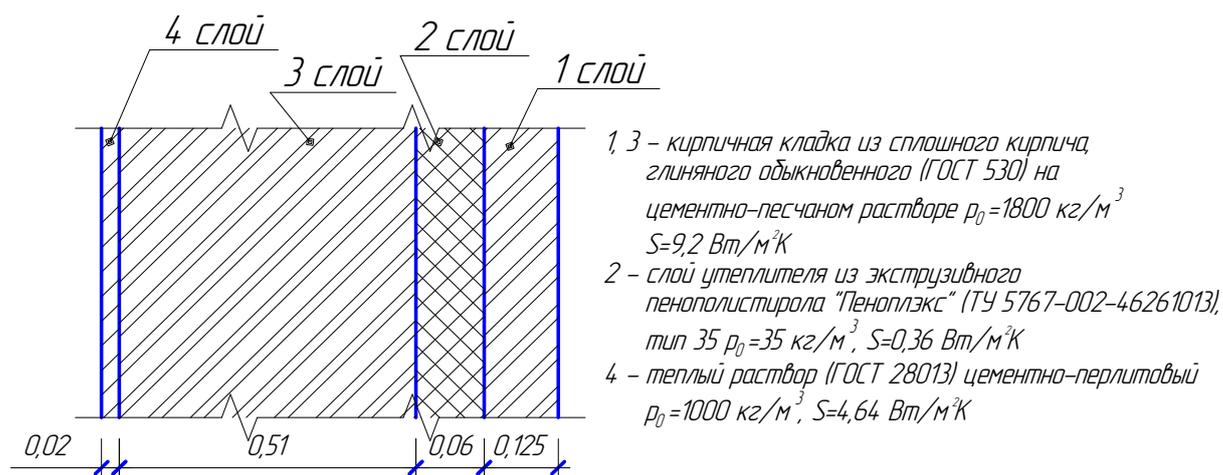


Рисунок 3.1 – Схема наружной стены

1. Требуемая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности конструкции рассчитывается по формуле (3.1)

$$A_{\text{в}}^{\text{ТР}} = 2,5 - 0,1 \cdot (21 - 21) = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для летних условий рассчитывается по формуле (3.2)

$$\alpha_{\text{н}} = 1,16 \cdot (5 + 10\sqrt{3,3}) = 26,87 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

3. Расчетная амплитуда колебаний наружного воздуха определяется по формуле (3.3)

$$A_{\text{тн}}^{\text{расч}} = 0,5 \cdot 19,9 + \frac{0,7(781 - 194)}{26,87} = 27,82 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где $A_{\text{тн}} = 19,9 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\rho = 0,7$ (для кирпича), $I_{\text{макс}} = 781 \text{ Вт/м}^2$, $I_{\text{ср}} = 194 \text{ Вт/м}^2$, (для вертикальных поверхностей западной ориентации) по /3/;

4. Тепловая инерция отдельных слоев ограждающей конструкции и коэффициенты теплоусвоения их наружных поверхностей:

$$1 - \text{ый слой: } D_1 = \frac{0,125}{0,7} \cdot 9,2 = 1,643 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

$$Y_1 = 9,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

$$2 - \text{ой слой: } D_2 = \frac{0,06}{0,029} \cdot 0,36 = 0,745 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

$$Y_2 = \frac{\frac{0,06}{0,029} \cdot 0,36^2 + 9,2}{1 + \frac{0,06}{0,029} \cdot 9,2} = 0,473 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

$$3 - \text{ий слой: } D_3 = \frac{0,51}{0,7} \cdot 9,2 = 6,703 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

$$Y_3 = 9,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

$$4 - \text{ий слой: } D_4 = \frac{0,02}{0,26} \cdot 4,64 = 0,357 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C};$$

$$Y_4 = \frac{\frac{0,02}{0,26} \cdot 4,64^2 + 9,2}{1 + \frac{0,02}{0,26} \cdot 9,2} = 6,36 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}.$$

5. Величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции рассчитывается по формуле (3.7)

$$v = 0,9 \cdot \exp\left(\frac{9,45}{\sqrt{2}}\right) \left(\frac{(9,2 + 8,7)(0,36 + 9,2)(9,2 + 0,473)(4,64 + 9,2)(26,87 + 6,36)}{(9,2 + 9,2)(0,36 + 0,473)(9,2 + 9,2)(4,64 + 6,36) \cdot 26,87} \right) = 6559$$

где $D = 1,643 + 0,745 + 6,703 + 0,357 = 9,45$.

6. Амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции определяется по формуле (3.8)

$$A_{\tau_B} = \frac{27,82}{6559} = 0,0042 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$7. A_{\tau_B} = 0,0042 \text{ } ^\circ\text{C} < A_{\tau_B}^{TP} = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Данная конструкция удовлетворяет санитарно-гигиеническим и комфортным условиям, согласно требованиям /1/.

3.2.2 Расчет на теплоустойчивость чердачного перекрытия

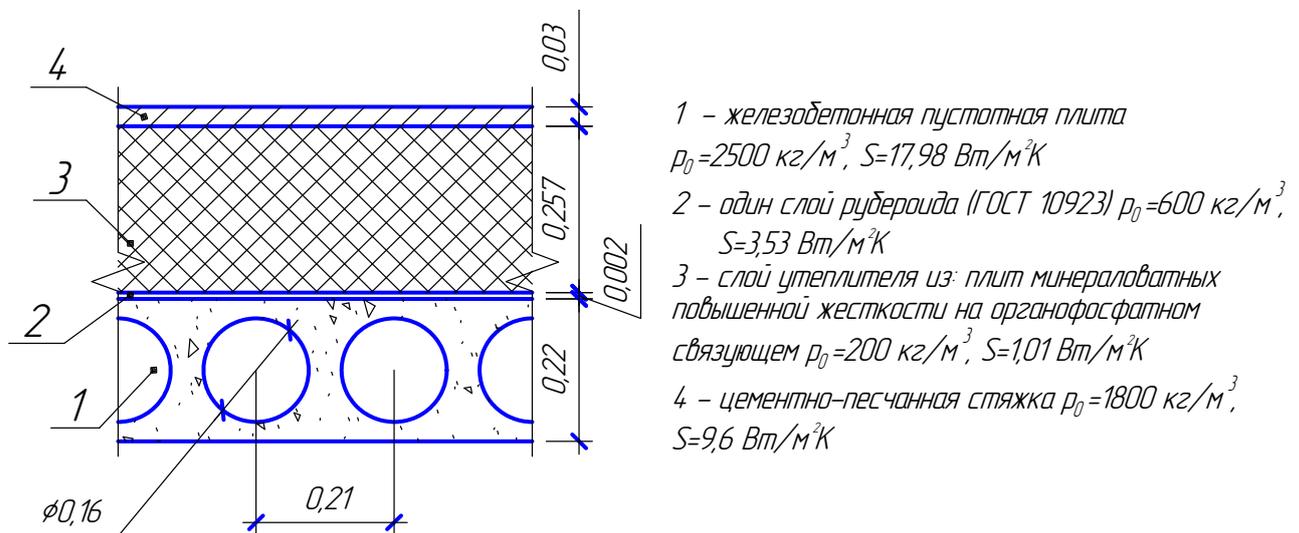


Рисунок 3.2 – Схема чердачного перекрытия

Пункты 1,2 аналогичны расчету 3.2.1.

3. Расчетная амплитуда колебаний наружного воздуха определяется по формуле (3.3)

$$A_{\tau_{th}}^{расч} = 0,5 \cdot 21,2 + \frac{0,6(719 - 319)}{26,87} = 19,53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где $A_{\tau_{th}} = 19,9^\circ\text{C}$, $\rho = 0,6$ (штукатурка цементная темно-зеленая),
 $I_{\text{макс}} = 852 \text{ Вт/м}^2$, $I_{\text{ср}} = 329 \text{ Вт/м}^2$, (для горизонтальных поверхностей /3/);

4. Тепловая инерция отдельных слоев ограждающей конструкции и коэффициенты теплоусвоения их наружных поверхностей:

$$1 - \text{ый слой: } D_1 = 0,154 \cdot 17,98 = 2,769 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C};$$

$$Y_1 = 17,98 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C};$$

$$2 - \text{ой слой: } D_2 = \frac{0,002}{0,17} \cdot 3,53 = 0,0415 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C};$$

$$Y_2 = \frac{\frac{0,002}{0,17} \cdot 3,53^2 + 17,98}{1 + \frac{0,002}{0,17} \cdot 17,98} = 14,96 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C};$$

$$3 - \text{ий слой: } D_3 = \frac{0,26}{0,076} \cdot 1,01 = 3,455 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C};$$

$$Y_3 = 1,01 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}.$$

$$4 - \text{ий слой: } D_4 = \frac{0,03}{0,76} \cdot 9,6 = 0,379 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C};$$

$$Y_4 = \frac{\frac{0,03}{0,76} \cdot 9,6^2 + 1,01}{1 + \frac{0,03}{0,76} \cdot 1,01} = 4,47 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}.$$

5. Величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции рассчитывается по формуле (3.7)

$$v = 0,9 \exp\left(\frac{6,6445}{\sqrt{2}}\right) \left(\frac{(17,98 + 8,7)(3,53 + 17,98)(1,01 + 14,96)(9,6 + 1,01)(26,87 + 4,47)}{(17,98 + 17,98)(3,53 + 14,96)(1,01 + 1,01)(9,6 + 4,47) \cdot 26,87}\right) = 592,92$$

где $D = 2,769 + 0,0415 + 3,455 + 0,379 = 6,6445$.

6. Амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции определяется по формуле (3.8)

$$A_{\tau_B} = \frac{18,876}{592,92} = 0,032 \text{ °C}$$

$$7. A_{\tau_B} = 0,032 \text{ °C} < A_{\tau_B}^{\text{ТР}} = 2,5 \text{ °C};$$

Данная конструкция удовлетворяет санитарно-гигиеническим и комфортным условиям, согласно требованиям /1/.

4 Теплоусвоения поверхности пола.

4.1 Порядок расчета теплоусвоения поверхности пола.

Расчет производится для условий эксплуатации А.

1. Определение тепловой инерции первого, считая от внутренней среды, слоя конструкции пола по формуле (3.6).

2. Если $D_1 \geq 0,5$, то показатель теплоусвоения поверхности пола рассчитывается по формуле:

$$Y_1 = 2S_1 \quad (4.1)$$

где S_1 – расчетный коэффициент теплоусвоения материала первого слоя ограждающей конструкции, определяется по прил. 3 /3/.

3. Если $D_1 < 0,5$, то определяется тепловая инерция второго слоя конструкции пола по формуле (3.6).

Если $D_1 + D_2 \geq 0,5$, то показатель теплоусвоения поверхности пола определяется по формуле:

$$Y_{п} = Y_1 = \frac{(4R_1 S_1^2 + S_2)}{(1 + R_1 S_2)} \quad (4.2)$$

где R_1 – термическое сопротивление первого слоя ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, определяется по формуле (2.5) или (2.6);

4. Если $D_1 + D_2 < 0,5$, но $D_1 + D_2 + D_3 \geq 0,5$, то показатель теплоусвоения поверхности пола необходимо определять последовательно расчетом показателей теплоусвоения слоев конструкции, начиная со второго слоя, по формулам:

для n – го слоя:

$$Y_{п} = \frac{(2R_{п} S_{п}^2 + S_{п+1})}{(0,5 + R_{п} S_{п+1})} \quad (4.3)$$

где R_n – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, определяются по формуле (2.5) или (2.6);

S_n – расчетный коэффициент теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции, определяется /1/.

5. Показатель теплоусвоения поверхности пола принимается равным показателю теплоусвоения поверхности первого слоя.

6. Проверка выполнение условия

$$Y_{\text{п}} \leq Y_{\text{н}}^{\text{H}} \quad (4.4)$$

где $Y_{\text{н}}^{\text{H}}$ - нормативный показатель теплоусвоения поверхности пола, принимаемый в соответствии /1/.

7. Выводы о конструкции пола в отношении соответствия теплоусвоения его поверхности требованиям /1/.

4.2 Расчет теплоусвоения заданной поверхности пола (перекрытие над неотапливаемым подвалом)

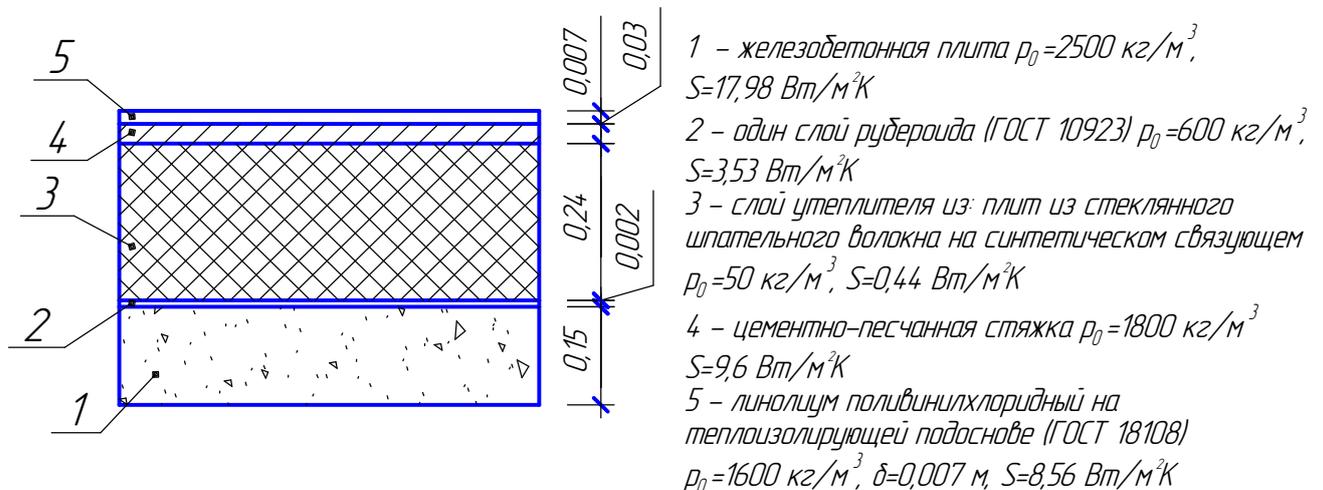


Рисунок 4.1 – Схема перекрытия над неотапливаемым подвалом

1. Тепловая инерция первого слоя конструкции пола определяется по формуле (3.6)

$$D_1 = \frac{0,007}{0,38} \cdot 8,56 = 0,158 < 0,5$$

2. Тепловая инерция второго слоя конструкции пола:

$$D_2 = \frac{0,03}{0,76} \cdot 9,6 = 0,379$$

$D_1 + D_2 = 0,158 + 0,379 = 0,537 > 0,5$, тогда показатель теплоусвоения поверхности пола определяется по формуле (4.2)

$$Y_{\text{п}} = \frac{4 \cdot \frac{0,007}{0,38} \cdot 8,56^2 + 9,6}{1 + \frac{0,007}{0,38} \cdot 9,6} = 12,745 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C};$$

3. Проверка выполнения условия (4.4)

$$Y_{\text{п}} = 12,745 > Y_{\text{н}}^{\text{H}} = 12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C},$$

где $Y_{\text{н}}^{\text{H}} = 12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ - нормативный показатель теплоусвоения поверхности пола.

4. Данная конструкция не удовлетворяет требованиям по теплоусвоению.

5. Рекомендуется заменить поливинилхлоридный на теплоизолирующей подоснове на линолеум поливинилхлоридный на тканевой подоснове (ГОСТ 7251-77), $\delta=0,007 \text{ м}$, $\rho_0=1400 \text{ кг/м}^3$, $\lambda=0,23 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$, $s=5,87 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$, тогда сопротивление теплопроводности перекрытия на подвалом будет: $R_0 = 4,32 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$

Тогда тепловая инерция первого слоя равна:

$$D_1 = \frac{0,007}{0,23} \cdot 5,87 = 0,18 < 0,5;$$

Тепловая инерция второго слоя конструкции пола:

$$D_2 = \frac{0,03}{0,76} \cdot 9,6 = 0,379;$$

$D_1 + D_2 = 0,18 + 0,379 = 0,559 > 0,5$, тогда показатель теплоусвоения поверхности пола определяется по формуле (4.2)

$$Y_{\text{п}} = \frac{(4 \cdot \frac{0,007}{0,23} \cdot 5,87^2 + 9,6)}{(1 + \frac{0,007}{0,23} \cdot 9,6)} = 10,68 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$$

$$Y_{\text{п}} = 10,68 < Y_{\text{н}}^{\text{H}} = 12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C},$$

Данная конструкция удовлетворяет требованиям по теплоусвоению.

5 Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций.

5.1 Порядок расчета сопротивления воздухопроницанию ограждающих конструкций.

1. Определение удельных весов наружного и внутреннего воздуха по формуле:

$$\gamma = \frac{3463}{(273 + t)} \quad (5.1)$$

где t – температура воздуха: внутреннего для определения $\gamma_{\text{в}}$ и наружного для определения $\gamma_{\text{н}}$ /1/.

2. Определение разности давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях

$$\Delta P = 0,55H(\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03\gamma_{\text{н}}w^2 \quad (5.2)$$

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

$\gamma_{\text{н}}$, $\gamma_{\text{в}}$ – удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м^3 , определяемые по формуле (5.1);

w – максимальная из средних скоростей за январь, принимаемая согласно /2/.

3. Определение нормативной воздухопроницаемости ограждения по /1/.

4. Определение требуемого сопротивления воздухопроницанию ограждения и заполнения светового проема для ограждения:

$$R_u^{\text{тр}} = \frac{\Delta P}{G^{\text{н}}} \quad (5.3)$$

где ΔP – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па;

$G^{\text{н}}$ - нормативная воздухопроницаемость ограждающей конструкции, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{ч}$;

для заполнения оконного проема:

$$R_u^{\text{тр}} = \frac{\left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{2/3}}{G^{\text{н}}} \quad (5.4)$$

где $\Delta P_0 = 10 \text{ Па}$ – разность давления воздуха, при которой определяется сопротивление воздухопроницанию.

5. Определение расчетных сопротивлений воздухопроницанию для ограждения

$$R_u = R_{u1} + R_{u2} + \dots + R_{un} \quad (5.5)$$

где $R_{u1}, R_{u2}, \dots, R_{un}$ – сопротивления воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$, принимаемые по /3/.

6. Выводы о соответствии сопротивления ограждающей конструкции требованиям /1/ по воздухопроницанию.

5.2 Расчет сопротивления воздухопроницанию заданных ограждающих конструкций.

5.2.1 Расчет сопротивления воздухопроницанию наружной стены.

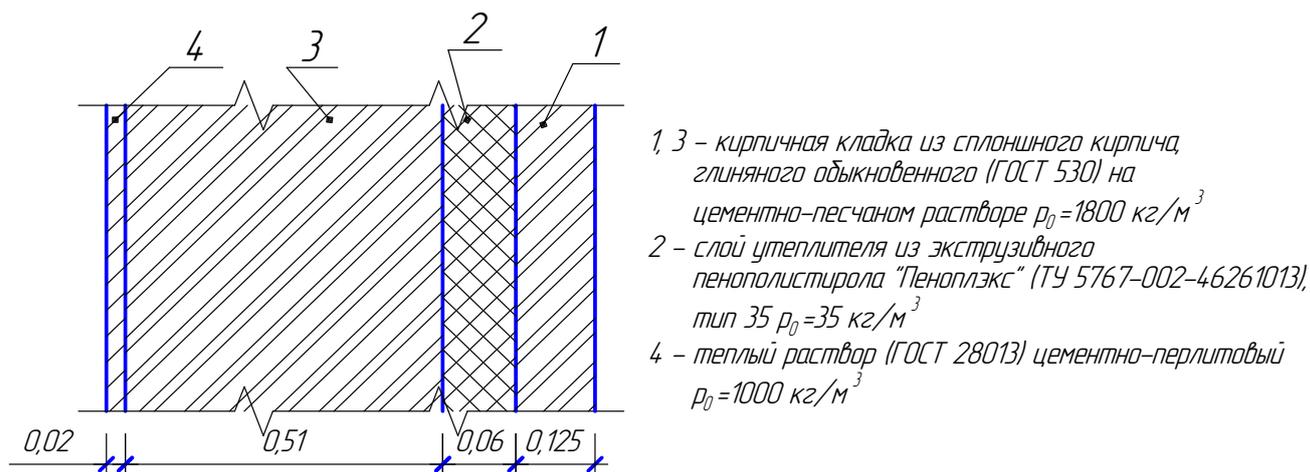


Рисунок 5.1 – Схема наружной стены

1. Удельные веса наружного и внутреннего воздуха рассчитываются по формуле (5.1):

$$\gamma_{\text{в}} = \frac{3463}{(273 + 21)} = 11,77 \text{ Н/м}^3;$$

$$\gamma_{\text{н}} = \frac{3463}{(273 - 26)} = 14,02 \text{ Н/м}^3.$$

2. Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях определяется по формуле (5.2)

$$\Delta P = 0,55 \cdot 32,7 \cdot (14,02 - 11,77) + 0,03 \cdot 14,02 \cdot 5,1^2 = 51,41 \text{ Па},$$

где $H = 10 \cdot 3 + 2 + 0,7 = 32,7 \text{ м}$; $w = 5,1 \text{ м/с}$.

3. Нормативная воздухопроницаемость наружной стены:

$$G^H = 0,5 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}.$$

4. Требуемое сопротивление воздухопроницанию наружной стены рассчитывается по формуле (5.3)

$$R_u^{\text{ТР}} = \frac{51,41}{0,5} = 102,82 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг};$$

5. Расчетное сопротивление воздухопроницанию для наружной стены рассчитывается по формуле (5.5)

$$R_u = 2 + 79 + 19 + 373 = 473 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг};$$

$$R_u = 473 > R_u^{\text{ТР}} = 102,82 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг};$$

Данная конструкция удовлетворяет требованиям /1/ по воздухопроницаемости ограждающей конструкции.

5.2.2 Расчет сопротивления воздухопроницанию оконного проема

Пункты 1,2 аналогичны расчету 5.2.1

3. Нормативная воздухопроницаемость оконного проема:

$$G^H = 6 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч};$$

4. Требуемое сопротивление воздухопроницанию оконного проема рассчитывается по формуле (5.4)

$$R_u^{\text{ТР}} = \frac{\left(\frac{51,41}{10}\right)^{2/3}}{6} = 0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг};$$

5. Расчетное сопротивление воздухопроницанию для оконного проема

$$R_u = 0,56 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$$

выбрано для тройного остекления в отдельно-спаренных переплетах с тремя уплотненными притворами заполнения из пенополиуретана, согласно/1/.

$$6. R_u = 0,56 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг} > R_u^{\text{ТР}} = 0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг},$$

Данная конструкция удовлетворяет требованиям /1/ по воздухопроницаемости.

6 Сопротивление паропрооницанию ограждающих конструкций

6.1 Порядок расчета сопротивления паропрооницанию ограждающих конструкций

1. Определение сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + R_k + \frac{1}{\alpha_H} \quad (6.1)$$

2. Нахождение сопротивления теплопередаче части конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации по формуле:

$$\sum R_{B-пвк} = \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (6.2)$$

3. Определение для зимнего, осенне-весеннего и летнего периодов среднесезонных температур t_H^3 , t_H^{OB} , $t_H^П$, °C, и продолжительности периодов Z_1 , Z_2 , Z_3 , мес.

4. Определение значений температур в плоскости возможной конденсации для каждой среднесезонной температуры наружного воздуха

$$\tau = t_B - \frac{n \cdot (t_B - t_H) \left(\frac{1}{\alpha_B} + \sum R_i \right)}{R_0} \quad (6.3)$$

5. Определение значений максимальных упругостей водяного пара E_1 , E_2 , E_3 для всех среднесезонных температур, получающихся в плоскости возможной конденсации по /3/

6. Расчет упругости водяного пара E , Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации

$$E = \frac{E_1 Z_1 + E_2 Z_2 + E_3 Z_3}{12} \quad (6.4)$$

7. Определение средней упругости водяного пара наружного воздуха e_n , Па, за годовой период.

8. Определение максимальной упругости водяного пара внутреннего воздуха E_B по t_B .

9. Определение упругости водяного пара внутреннего воздуха при относительной влажности φ_B

$$e_B = \frac{E_B \varphi_B}{100} \quad (6.5)$$

10. Вычисление сопротивления паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, $R_{п.н.}$

11. Определение требуемого сопротивления паропроницанию из условия недопустимости накопления влаги в конструкции за годовой период эксплуатации

$$R_{п1}^{тр} = \frac{(e_B - E)R_{п.н.}}{(E - e_H)} \quad (6.6)$$

12. Определение продолжительности Z_0 в сутках и средней температуры наружного воздуха периода отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха согласно /2/.

13. Определение температуры в плоскости возможной конденсации, $t_{пвк}$, °С, для периода с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха по формуле (6.2).

14. Определение максимальной упругости водяных паров E_0 , Па, в плоскости возможной конденсации.

15. Определение плотности материала увлажняемого слоя $\rho_{\square w}$, кг/м³, и толщины увлажняемого слоя конструкции δ_w , м.

16. Определение предельно-допустимого приращения расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя конструкции за период с отрицательными температурами $\Delta W_{ср.}$, %, /1/.

17. Определение средней упругости водяного пара наружного воздуха $e_{н.о.}$, Па, для периода с отрицательными среднемесячными температурами.

18. Определение коэффициента η

$$\eta = \frac{0,0024(E_0 - e_{н.о.})Z_0}{R_{п.н.}} \quad (6.7)$$

где $e_{н.о.}$ – средняя упругость водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, определяется согласно /2/;

E_0 - максимальная упругость водяных паров, Па, в плоскости возможной конденсации, определяется по /3/;

Z_0 - продолжительность в сутках периода с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха согласно /2/;

$R_{п.н}$ - сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации.

19. Определение требуемого сопротивления паропроницанию из условия ограничения накопления влаги в конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха

$$R_{п2}^{тр} = \frac{0,0024Z_0(e_B - E_0)}{\gamma_w \delta_w \Delta W_{cp} + \eta} \quad (6.8)$$

20. Определение сопротивления паропроницанию части конструкции, расположенной между внутренней поверхностью стены и плоскостью возможной конденсации

$$R_{в-пвк} = \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} \quad (6.9)$$

где δ_i - толщина слоя ограждающей конструкции, м;

μ_i - расчетный коэффициент паропроницаемости материала слоя ограждающей конструкции, мг/м·ч·Па.

21. Выводы о результатах расчета.

6.2 Расчет сопротивления паропрооницанию заданных ограждающих конструкций

6.2.1 Расчет сопротивления паропрооницанию наружной стены

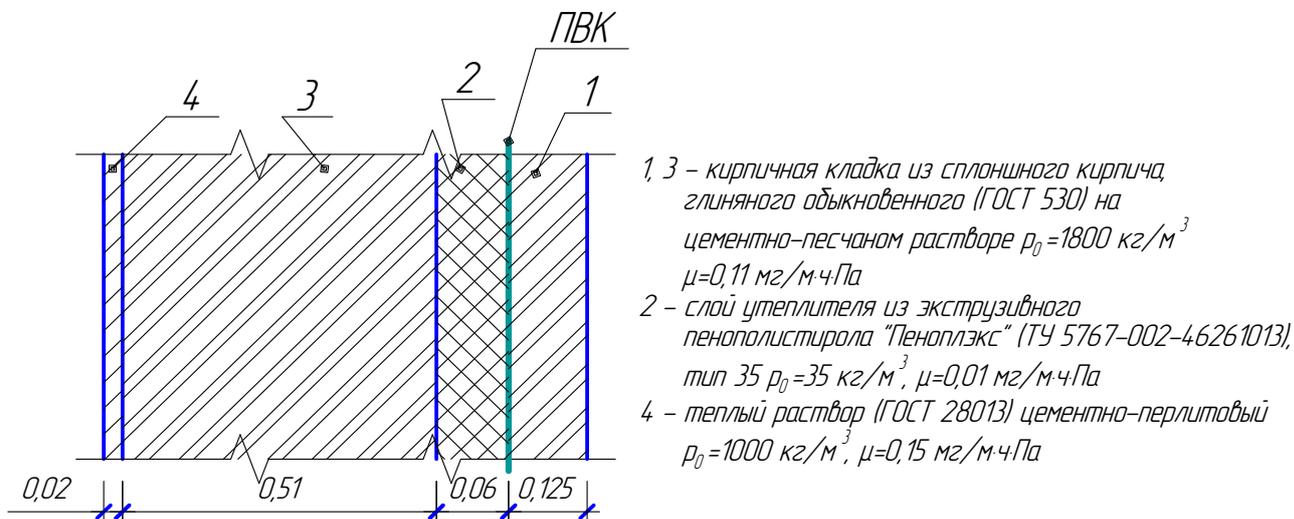


Рисунок 6.1 – Схема наружной стены

1. Сопротивление теплопередаче наружной стены, согласно п. 2.2.1:

$$R_0 = 3,21 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$$

2. Сопротивление теплопередаче части конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации определяется по формуле (6.2):

$$\sum R_{\text{в-пвк}} = \frac{0,02}{0,26} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,06}{0,029} = 2,87 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}.$$

3. Для зимнего, осенне-весеннего и летнего периодов среднесезонные температуры и продолжительности периодов:

Таблица 6.1 Средние температуры и продолжительности периодов

	Зимний период	Осенне-весенний период	Летний период	Период с отрицательными температурами
Z	3 мес	2 мес	7 мес	134 сут
t	-8,53 °C	-2,15 °C	13,79 °C	-5,98 °C

4. Температуры в плоскости возможной конденсации для каждой среднесезонной температуры наружного воздуха определяются по формуле (6.3)

$$\tau_{\text{п.в.к.}}^{\text{з.п.}} = 21 - \frac{1 \cdot (21 + 8,53)}{3,21} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 2,87 \right) = -6,46 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{\text{п.в.к.}}^{\text{о.в.}} = 21 - \frac{1 \cdot (21 + 2,15)}{3,21} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 2,87 \right) = -0,53 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{\text{п.в.к.}}^{\text{л.п.}} = 27,2 - \frac{1 \cdot (27,2 - 13,79)}{3,21} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 2,87 \right) = 14,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

5. Значения максимальной упругости водяного пара для всех среднесезонных температур, получающихся в плоскости возможной конденсации:

$$E_1 = 354,5 \text{ Па (для зимнего периода);}$$

$$E_2 = 584,85 \text{ Па (для осенне-весеннего периода);}$$

$$E_3 = 1672 \text{ Па (для летнего периода).}$$

6. Максимальная упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации определяется по формуле (6.4):

$$E = \frac{354,5 \cdot 3 + 584,85 \cdot 2 + 1675,3 \cdot 7}{12} = 1163,36 \text{ Па.}$$

7. Средняя упругость водяного пара наружного воздуха за годовой период:

$$e_n = 790 \text{ Па,}$$

8. Максимальная упругость водяного пара внутреннего воздуха:

$$E_v = 2488 \text{ Па (для зимнего периода, } t_v=21^\circ\text{C);}$$

$$E_v = 2488 \text{ Па (для осенне-весеннего периода, } t_v=21^\circ\text{C);}$$

$$E_v = 3608 \text{ Па (для летнего периода, } t_v=24,2+3=27,2^\circ\text{C).}$$

9. Упругость водяного пара внутреннего воздуха при относительной влажности $\phi_v=55\%$ определяется по формуле (6.5)

$$e_v^{\text{з.п.}} = e_v^{\text{о.в.}} = \frac{2488 \cdot 55}{100} = 1368,4 \text{ Па;}$$

$$e_v^{\text{л.п.}} = \frac{3608 \cdot 55}{100} = 1984,4 \text{ Па.}$$

10. Сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации определяется по формуле (6.9)

$$R_{\text{п.н.}} = \frac{0,125}{0,11} = 1,14 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг.}$$

11. Требуемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги в конструкции за годовой период эксплуатации определяется по формуле (6.6)

$$R_{п1}^{тр} = \frac{1368,4 - 1163,36}{1163,36 - 790} \cdot 1,14 = 0,63 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

12. Продолжительность в сутках Z_0 и средняя температура наружного воздуха $t_{н.0}$ периода с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха:

$$Z_0 = 134 \text{ сут};$$

$$t_{н.0} = -5,98 \text{ }^\circ\text{C}.$$

13. Температура в плоскости возможной конденсации для периода с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха равна:

$$\tau_0 = 21 - \frac{1 \cdot (21 + 5,98)}{3,21} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 2,87 \right) = -4,13 \text{ }^\circ\text{C}.$$

14. Максимальная упругость водяных паров в плоскости возможной конденсации для температуры в ПВК:

$$E_0 = 431,8 \text{ Па (для периода с отрицательными температурами)}.$$

15. Толщина и плотность материала увлажняемого слоя конструкции:

$$\gamma_{\square w} = 35 \text{ кг} / \text{м}^3;$$

$$\delta_w = 0,115 \text{ м}.$$

16. Предельно-допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя конструкции за период влагонакопления:

$$\Delta W_{\text{ср}} = 25 \text{ } \%$$

17. Средняя упругость водяного пара наружного воздуха для периода с отрицательными среднемесячными температурами:

$$e_{н.0} = (2,9 + 3,1 + 4,3 + 5,4 + 4) / 5 = 3,94 \text{ гПа} = 394 \text{ Па}.$$

18. Коэффициент η определяется по формуле (6.7)

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (431,8 - 394) \cdot 134}{1,14} = 10,66$$

19. Требуемое сопротивление паропрооницанию из условия ограничения накопления влаги в конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха определяется по формуле (6.8)

$$R_{п2}^{тр} = \frac{0,0024 \cdot 134 \cdot (1368,4 - 431,8)}{35 \cdot 0,06 \cdot 25 + 10,66} = 4,75 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

20. Сопротивление паропрооницанию части конструкции, расположенной между внутренней поверхностью стены и плоскостью возможной конденсации рассчитывается по формуле (6.9)

$$R_{п.в} = \frac{0,02}{0,15} + \frac{0,51}{0,11} + \frac{0,06}{0,01} = 10,77 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

$$21. R_{п.в} = 10,77 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} > R_{п2}^{\text{ТР}} = 4,75 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

22. Данная конструкция удовлетворяет требованиям /1/ по паропрооницанию.

6.2.2 Расчет сопротивления паропрооницанию чердачного перекрытия

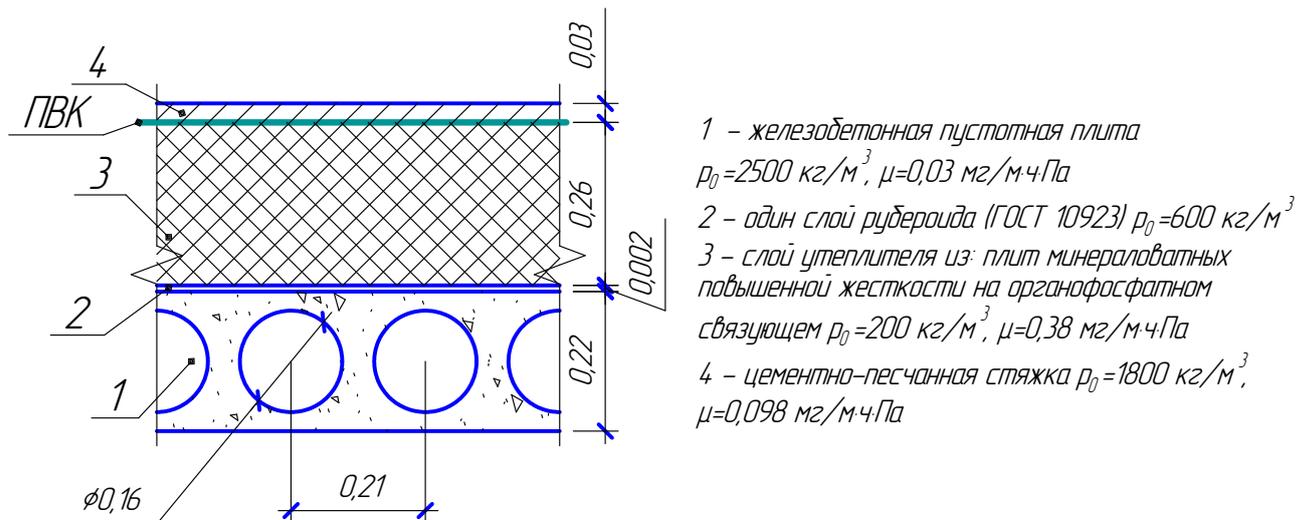


Рисунок 6.2 – Схема чердачного перекрытия

1. Сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия согласно п. 2.2.2:

$$R_0 = 4,12 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

2. Сопротивление теплопередаче части конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации определяется по формуле (6.2)

$$\sum R_{в-пвк} = 0,154 + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,26}{0,07} = 3,88 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

3. Аналогично п. 6.2.1

4. Температуры в плоскости возможной конденсации для каждой среднесезонной температуры наружного воздуха:

$$\tau_{п.в.к.}^{\text{з.п.}} = 21 - \frac{1 \cdot (21 + 8,53)}{4,12} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 3,88 \right) = -7,91 \text{ °C};$$

$$\tau_{п.в.к.}^{\text{о.в.}} = 21 - \frac{1 \cdot (21 + 2,15)}{4,12} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 3,88 \right) = -1,67 \text{ °C};$$

$$\tau_{\text{п.в.к.}}^{\text{л.п.}} = 27,2 - \frac{1 \cdot (27,2 - 13,79)}{4,12} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 3,88 \right) = 14,07 \text{ }^\circ\text{C}.$$

5. Значения максимальной упругости водяного пара для всех среднесезонных температур, получающихся в плоскости возможной конденсации:

$$E_1 = 312,25 \text{ Па (для зимнего периода);}$$

$$E_2 = 532,2 \text{ Па (для осенне-весеннего периода);}$$

$$E_3 = 1606 \text{ Па (для летнего периода).}$$

6. Максимальная упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации::

$$E = \frac{312,25 \cdot 3 + 532,2 \cdot 2 + 1606 \cdot 7}{12} = 1059,25 \text{ Па.}$$

Пункты 7, 8, 9 аналогичны п.6.6.

10. Сопротивление паропрооницанию части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации определяется по формуле (6.9)

$$R_{\text{п.н}} = \frac{0,03}{0,098} = 0,31 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

11. Требуемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги в конструкции за годовой период эксплуатации определяется по формуле (6.6)

$$R_{\text{п1}}^{\text{тр}} = \frac{1368,4 - 1059,25}{1059,25 - 790} \cdot 0,31 = 0,36 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

12. Аналогично п 6.2.1

13. Температура в плоскости возможной конденсации для периода с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха равна:

$$\tau_0 = 21 - \frac{21 + 5,98}{4,08} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 3,88 \right) = -5,42 \text{ }^\circ\text{C}.$$

14. Максимальная упругость водяных паров в плоскости возможной конденсации для температуры в ПВК:

$$E_0 = 387,3 \text{ Па.}$$

15. Толщина и плотность материала увлажняемого слоя конструкции:

$$\gamma_{\text{w}} = 200 \text{ кг/м}^3;$$

$$\delta_{\text{w}} = 0,26 \text{ м.}$$

Пункты 16, 17 аналогично п 6.2.1

18. Коэффициент η определяется по формуле (6.7)

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (387,3 - 394) \cdot 134}{0,31} = -6,95$$

19. Требуемое сопротивление паропрооницанию из условия ограничения накопления влаги в конструкции за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха определяется по формуле (6.8)

$$R_{п2}^{тр} = \frac{0,0024 \cdot 134 \cdot (1368,4 - 387,3)}{200 \cdot 0,26 \cdot 25 - 6,95} = 0,244 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

20. Сопротивление паропрооницанию части конструкции, расположенной между внутренней поверхностью стены и плоскостью возможной конденсации:

$$R_{п.в} = \frac{0,22}{0,03} + 1,1 + \frac{0,26}{0,38} = 9,12 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

$$21. R_{п.в} = 9,12 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг} > R_{п1}^{тр} = 0,29 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

22. Данная конструкция удовлетворяет требованиям /1/ по паропрооницанию.

7 Анализ возможного влажностного режима ограждений

7.1 Порядок анализа влажностного режима ограждения

1. Определение общего сопротивления паропрооницанию конструкции

$$R_{п.с} = R_{п.в} + \sum_{i=1}^s \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{п.н} \quad (7.1)$$

где $R_{п.в} = 0,026 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ – сопротивление влагообмену на внутренней поверхности ограждения;

$R_{п.н} = 0,01 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ - сопротивление влагообмену на наружной поверхности ограждения;

S – число конструктивных слоев в толще ограждения;

δ_i – толщина слоя ограждающей конструкции, м;

μ_i – расчетный коэффициент паропрооницаемости материала слоя ограждающей конструкции, мг/ м·ч·Па, принимаемый /3/.

2. Расчет интенсивности потока водяного пара через ограждающую конструкцию

$$i = \frac{(e_{в} - e_{н}')}{R_{п.с}} \quad (7.2)$$

где e_v - упругость водяного пара внутреннего воздуха, определяется по формуле (6.5);

e'_n - упругость водяного пара наружного воздуха, определяется по /2/.

Расчет температуры в характерных сечениях ограждающей конструкции

$$t_x = t_v - \frac{R_{v,x} (t_v - t'_n)}{R_0} \quad (7.3)$$

где $R_{v,x}$ - сопротивление теплопередаче от воздуха помещения до точки x внутри ограждения;

t'_n – средняя температура наружного воздуха;

R_0 – фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, определенное в разделе 2.

4. Определение фактических значений упругости водяного пара в характерных сечениях ограждения по формуле:

$$e_x = e_v - \frac{R_{n,x} (e_v - e'_n)}{R_{n,s}} \quad (7.4)$$

где $R_{n,x}$ - сопротивление паропроницанию от воздуха помещения до сечения x внутри ограждения.

5. Построение графиков зависимостей температуры, упругости и максимальной упругости водяных паров от сопротивления паропроницанию для периодов с отрицательными и положительными температурами.

Выводы по графикам.

7.2 Анализ влажностного режима заданных ограждений

7.2.1 Анализ влажностного режима наружной стены для периода с отрицательными температурами

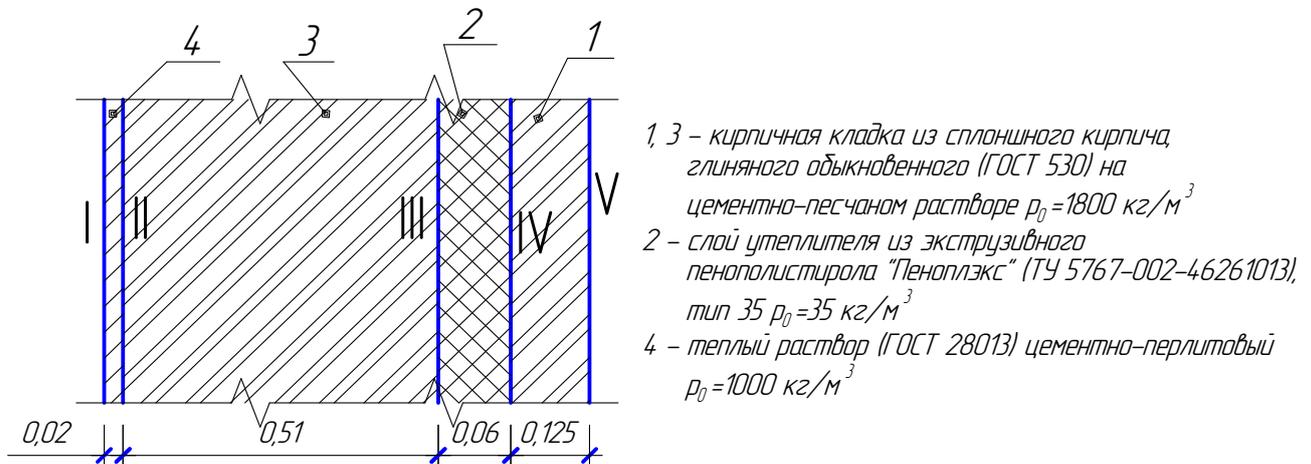


Рисунок 7.1 – Схема наружной стены

1. Общее сопротивление паропрооницанию конструкции рассчитывается по формуле (7.1)

$$R_{n,s} = 0,026 + \frac{0,02}{0,15} + \frac{0,51 + 0,125}{0,11} + \frac{0,06}{0,01} + 0,01 = 11,94 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}.$$

2. Интенсивность потока водяного пара через ограждающую конструкцию определяется по формуле (7.2)

$$i = \frac{1368,4 - 394}{11,94} = 81,61 \text{ Па};$$

$$\text{где } e_v = \frac{2488 \cdot 55}{100} = 1368,4 \text{ Па};$$

$$e'_n = 394 \text{ Па (средняя для периода)}.$$

3. Температуры в характерных сечениях ограждающей конструкции определяются по формуле (7.3).

Рассмотрим сечения I, II, III, IV.

$$t_n = -5,98 \text{ }^\circ\text{C};$$

I-ое сечение:

$$\tau_1 = 21 - \frac{(21 + 5,98)}{3,21} \cdot \frac{1}{8,7} = 20,03 \text{ }^\circ\text{C}, \quad E_1 = 23422 \text{ Па};$$

II-ое сечение:

$$\tau_2 = 21 - \frac{(21+5,98)}{3,21} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,26} \right) = 19,39 \text{ }^\circ\text{C}, \quad E_2 = 2250,6 \text{ Па};$$

III-ье сечение:

$$\tau_3 = 21 - \frac{(21+5,98)}{3,21} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,26} + \frac{0,51}{0,7} \right) = 13,26 \text{ }^\circ\text{C}, \quad E_3 = 1523 \text{ Па};$$

IV-ое сечение:

$$\tau_4 = 21 - \frac{(21+5,98)}{3,21} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,26} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,06}{0,029} \right) = -4,13 \text{ }^\circ\text{C}, \quad E_4 = 431,8 \text{ Па};$$

V-ое сечение:

$$\tau_5 = 21 - \frac{(21+5,98)}{3,21} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,26} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,06}{0,029} + \frac{0,125}{0,7} \right) = -5,63 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$E_5 = 380,1 \text{ Па};$$

4. Фактические значения упругости водяного пара в характерных сечениях ограждения рассчитываются по формуле (7.4)

$$e_1 = 1368,4 - \frac{(1368,4 - 394)}{11,94} \cdot 0,026 = 1366,28 \text{ Па};$$

$$e_2 = 1368,4 - \frac{(1368,4 - 394)}{11,94} \cdot \left(0,026 + \frac{0,02}{0,15} \right) = 1355,4 \text{ Па};$$

$$e_3 = 1368,4 - \frac{(1368,4 - 394)}{11,94} \cdot \left(0,026 + \frac{0,02}{0,15} + \frac{0,51}{0,11} \right) = 977 \text{ Па};$$

$$e_4 = 1368,4 - \frac{(1368,4 - 394)}{11,94} \cdot \left(0,026 + \frac{0,02}{0,15} + \frac{0,51}{0,11} + \frac{0,06}{0,01} \right) = 487,4 \text{ Па};$$

$$e_5 = 1368,4 - \frac{(1368,4 - 394)}{11,94} \cdot \left(0,026 + \frac{0,02}{0,15} + \frac{0,51}{0,11} + \frac{0,06}{0,01} + \frac{0,125}{0,11} \right) = 394,65 \text{ Па};$$

5. Графики зависимостей температуры, упругости и максимальной упругости водяных паров от сопротивления паропрооницанию для наружной стены для периода с отрицательными температурами представлены в прил. 1

6. В период с отрицательными температурами в толще ограждения наблюдается зона возможной конденсации влаги, чтобы этого избежать следует применять дополнительный слой пароизоляции, располагаемый на внутренней поверхности ограждения.

7.2.2 Анализ влажностного режима наружной стены для периода с положительными температурами

1. Аналогично п 7.2.1.

2. Интенсивность потока водяного пара через ограждающую конструкцию:

$$i = \frac{1984,4 - 1079}{11,94} = 75,83 \text{ Па};$$

$$\text{где } e_v = \frac{3608 \cdot 55}{100} = 1984,4 \text{ Па};$$

$e'_n = 1079 \text{ Па}$ (средняя для периода).

3. Температуры в характерных сечениях ограждающей конструкции

$t_n = 13,79 \text{ }^\circ\text{C}$:

I-ое сечение:

$$\tau_1 = 27,2 - \frac{(27,2 - 13,79)}{3,21} \cdot \frac{1}{8,7} = 26,72 \text{ }^\circ\text{C}, \quad E_1 = 3502 \text{ Па};$$

II-ое сечение:

$$\tau_2 = 27,2 - \frac{(27,2 - 13,79)}{3,21} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,26} \right) = 26,4 \text{ }^\circ\text{C}, \quad E_2 = 3441 \text{ Па};$$

III-ье сечение:

$$\tau_3 = 27,2 - \frac{(27,2 - 13,79)}{3,21} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,26} + \frac{0,51}{0,7} \right) = 23,35 \text{ }^\circ\text{C}, \quad E_3 = 2529, \text{ Па};$$

IV-ое сечение:

$$\tau_4 = 27,2 - \frac{(27,2 - 13,79)}{3,21} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,26} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,06}{0,029} \right) = 14,7 \text{ }^\circ\text{C},$$

$E_4 = 1672 \text{ Па};$

V-ое сечение:

$$\tau_5 = 27,2 - \frac{(27,2 - 13,79)}{3,21} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,26} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,06}{0,029} + \frac{0,125}{0,7} \right) = 14 \text{ }^\circ\text{C},$$

$E_5 = 1599 \text{ Па};$

4. Фактические значения упругости водяного пара в характерных сечениях ограждения:

$$e_1 = 1984,4 - \frac{(1984,4 - 1079)}{11,94} \cdot 0,026 = 1982,43 \text{ Па};$$

$$e_2 = 1984,4 - \frac{(1984,4 - 1079)}{11,94} \cdot (0,026 + \frac{0,02}{0,15}) = 1972,32 \text{ Па};$$

$$e_3 = 1984,4 - \frac{(1984,4 - 1079)}{11,94} \cdot (0,026 + \frac{0,02}{0,15} + \frac{0,51}{0,11}) = 1620,75 \text{ Па};$$

$$e_4 = 1984,4 - \frac{(1984,4 - 1079)}{11,94} \cdot (0,026 + \frac{0,02}{0,15} + \frac{0,51}{0,11} + \frac{0,06}{0,01}) = 1165,77 \text{ Па};$$

$$e_5 = 1984,4 - \frac{(1984,4 - 1079)}{11,94} \cdot (0,026 + \frac{0,02}{0,15} + \frac{0,51}{0,11} + \frac{0,06}{0,01} + \frac{0,125}{0,11}) = 1079,6 \text{ Па};$$

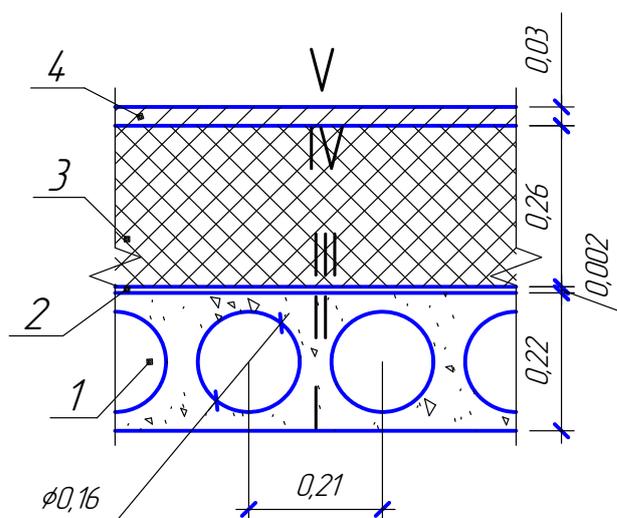
5. Графики зависимостей температуры, упругости и максимальной упругости водяных паров от сопротивления паропрооницанию для наружной стены для периода с положительными температурами представлены в прил. 2.

6. В период с положительными температурами в толще наружной стены зоны возможной конденсации влаги нет.

Таблица 7.1 - Расчётные данные к построению графиков

Наружная стена							
Уч.	период с отрицательными температурами			период с положительными температурами			R _{ns}
	τ	e	E	τ	e	E	
I	20,03	1366,28	2342,2	26,72	1982,43	3502	0,026
II	19,39	1355,4	2250,6	26,4	1972,32	3441	0,1593333
III	13,26	977	1523	23,35	1620,75	2851	4,795697
IV	-4,13	487,4	431,8	14,7	1165,77	1672	10,795697
V	-5,63	394,65	380,1	14	1079,6	1599	11,932061

7.2.3 Анализ влажностного режима чердачного перекрытия для периода с отрицательными температурами



- 1 - железобетонная пустотная плита
 $\rho_0 = 2500 \text{ кг/м}^3$
- 2 - один слой рубероида (ГОСТ 10923) $\rho_0 = 600 \text{ кг/м}^3$
- 3 - слой утеплителя из плит минераловатных повышенной жесткости на органофосфатном связующем $\rho_0 = 200 \text{ кг/м}^3$
- 4 - цементно-песчанная стяжка $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$

Рисунок 7.1 – Схема чердачного перекрытия

1. Общее сопротивление паропрооницанию конструкции рассчитывается по формуле (7.1)

$$R_{n.s} = 0,026 + \frac{0,22}{0,03} + 1,1 + \frac{0,26}{0,38} + \frac{0,03}{0,098} + 0,01 = 9,46 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

2. Интенсивность потока водяного пара через ограждающую конструкцию определяется по формуле (7.2)

$$i = \frac{1368,4 - 394}{9,46} = 103 \text{ Па;}$$

$$\text{где } e_v = \frac{2488 \cdot 55}{100} = 1368,4 \text{ Па;}$$

$$e'_n = 394 \text{ Па (средняя для периода).}$$

3. Температуры в характерных сечениях ограждающей конструкции определяются по формуле (7.3).

Рассмотрим сечения I, II, III, IV.

$$t_n = -5,98 \text{ }^\circ\text{C:}$$

I-ое сечение:

$$\tau_1 = 21 - \frac{(21 + 5,98)}{4,1} \cdot \frac{1}{8,7} = 20,24 \text{ }^\circ\text{C, } E_1 = 2372 \text{ Па;}$$

II-ое сечение:

$$\tau_2 = 21 - \frac{(21 + 5,98)}{4,1} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + 0,154 \right) = 19,22 \text{ }^\circ\text{C, } E_2 = 2227,6 \text{ Па;}$$

III-ье сечение:

$$\tau_3 = 21 - \frac{(21+5,98)}{4,1} \left(\frac{1}{8,7} + 0,154 + \frac{0,002}{0,17} \right) = 19,14 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad E_3 = 2216 \text{ Па};$$

IV-ое сечение:

$$\tau_4 = 21 - \frac{(21+5,98)}{4,1} \left(\frac{1}{8,7} + 0,154 + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,26}{0,07} \right) = -5,42 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad E_4 = 387,3 \text{ Па};$$

V-ое сечение:

$$\tau_5 = 21 - \frac{(21+5,98)}{4,1} \left(\frac{1}{8,7} + 0,154 + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,26}{0,07} + \frac{0,03}{0,76} \right) = -5,68 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$E_5 = 378,6 \text{ Па};$$

4. Фактические значения упругости водяного пара в характерных сечениях ограждения рассчитываются по формуле (7.4)

$$e_1 = 1368,4 - \frac{(1368,4 - 394)}{9,46} \cdot 0,026 = 1365,72 \text{ Па};$$

$$e_2 = 1368,4 - \frac{(1368,4 - 394)}{9,46} \cdot \left(0,026 + \frac{0,22}{0,03} \right) = 609,57 \text{ Па};$$

$$e_3 = 1368,4 - \frac{(1368,4 - 394)}{9,46} \cdot \left(0,026 + \frac{0,22}{0,03} + 1,1 \right) = 496,15 \text{ Па};$$

$$e_4 = 1368,4 - \frac{(1368,4 - 394)}{9,46} \cdot \left(0,026 + \frac{0,22}{0,03} + 1,1 + \frac{0,26}{0,38} \right) = 425,6 \text{ Па};$$

$$e_5 = 1368,4 - \frac{(1368,4 - 394)}{9,46} \cdot \left(0,026 + \frac{0,22}{0,03} + 1,1 + \frac{0,26}{0,38} + \frac{0,03}{0,098} \right) = 394,03 \text{ Па};$$

5. Графики зависимостей температуры, упругости и максимальной упругости водяных паров от сопротивления паропрооницанию для чердачного перекрытия для периода с отрицательными температурами представлены в прил.3

6. В период с отрицательными температурами в толще ограждения наблюдается зона возможной конденсации влаги, чтобы этого избежать следует применять дополнительный слой пароизоляции, располагаемый на внутренней поверхности ограждения.

7.2.4 Анализ влажностного режима чердачного перекрытия для периода с положительными температурами

1. Аналогично п 7.2.3.

2. Интенсивность потока водяного пара через ограждающую конструкцию:

$$i = \frac{1984,4 - 1079}{9,46} = 95,7 \text{ Па};$$

$$\text{где } e_v = \frac{3608 \cdot 55}{100} = 1984,4 \text{ Па};$$

$e'_n = 1079 \text{ Па}$ (средняя для периода).

3. Температуры в характерных сечениях ограждающей конструкции

$t_n = 13,79 \text{ }^\circ\text{C}$:

I-ое сечение:

$$\tau_1 = 27,2 - \frac{(27,2 - 13,79)}{4,08} \cdot \frac{1}{8,7} = 26,8 \text{ }^\circ\text{C}, \quad E_1 = 3523 \text{ Па};$$

II-ое сечение:

$$\tau_2 = 27,2 - \frac{(27,2 - 13,79)}{4,08} \left(\frac{1}{8,7} + 0,154 \right) = 26,32 \text{ }^\circ\text{C}, \quad E_2 = 3425 \text{ Па};$$

III-ье сечение:

$$\tau_3 = 27,2 - \frac{(27,2 - 13,79)}{4,08} \left(\frac{1}{8,7} + 0,154 + \frac{0,002}{0,17} \right) = 26,28 \text{ }^\circ\text{C}, \quad E_3 = 3417 \text{ Па};$$

IV-ое сечение:

$$\tau_4 = 27,2 - \frac{(27,2 - 13,79)}{4,08} \left(\frac{1}{8,7} + 0,154 + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,26}{0,07} \right) = 14,1 \text{ }^\circ\text{C},$$

$E_4 = 1609 \text{ Па};$

V-ое сечение:

$$\tau_5 = 27,2 - \frac{(27,2 - 13,79)}{4,08} \left(\frac{1}{8,7} + 0,154 + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,26}{0,07} + \frac{0,03}{0,76} \right) = 13,94 \text{ }^\circ\text{C},$$

$E_5 = 15924 \text{ Па};$

4. Фактические значения упругости водяного пара в характерных сечениях ограждения:

$$e_1 = 1984,4 - \frac{(1984,4 - 1079)}{9,46} \cdot 0,026 = 1981,9 \text{ Па};$$

$$e_2 = 1984,4 - \frac{(1984,4 - 1079)}{9,46} \cdot (0,026 + \frac{0,22}{0,03}) = 1280,05 \text{ Па};$$

$$e_3 = 1984,4 - \frac{(1984,4 - 1079)}{9,46} \cdot (0,026 + \frac{0,22}{0,03} + 1,1) = 1174,77 \text{ Па};$$

$$e_4 = 1984,4 - \frac{(1984,4 - 1079)}{9,46} \cdot (0,026 + \frac{0,22}{0,03} + 1,1 + \frac{0,26}{0,38}) = 1109,29 \text{ Па};$$

$$e_5 = 1984,4 - \frac{(1984,4 - 1079)}{9,46} \cdot (0,026 + \frac{0,22}{0,03} + 1,1 + \frac{0,26}{0,38} + \frac{0,03}{0,098}) = 1080 \text{ Па};$$

5. Графики зависимостей температуры, упругости и максимальной упругости водяных паров от сопротивления паропроницанию для чердачного перекрытия для периода с положительными температурами представлены в прил.4.

6. В период с положительными температурами в толще чердачного перекрытия зоны возможной конденсации влаги нет.

Таблица 7.2 - Расчётные данные к построению графиков

Чердачное перекрытие							
Уч.	период с отрицательными температурами			период с положительными температурами			R _{нс}
	τ	e	E	τ	e	E	
I	20,24	1365,72	2372	26,8	1981,9	3523	0,026
II	19,22	609,57	2227,6	26,32	1280,05	3425	7,3593333
III	19,14	496,15	2216	26,28	1174,77	3417	8,4593333
IV	-5,42	425,6	387,3	14,1	1109,29	1609	9,1435439
V	-5,68	394,03	378,6	13,94	1080	1592,4	9,4496663

8 Годовой баланс влаги в ограждении

8.1 Порядок расчета годового баланса влаги в ограждении

1. Определение количества влаги, которое накапливается в плоскости возможной конденсации за период с отрицательными температурами наружного воздуха

$$i_1 = \frac{e_v - E_0}{R_{в-пвк}} \quad (8.1)$$

где i_1 - интенсивность потока водяного пара из внутренней среды через ограждение, мг/м²·ч;

$$i_2 = \frac{E_0 - e_{н.о}}{R_{н.с} - R_{в-пвк}} \quad (8.2)$$

где i_2 - интенсивность потока водяного пара из плоскости возможной конденсации в наружную среду, мг/м²·ч;

$$G_{з.п} = 24(i_1 - i_2)Z_0 \cdot 10^{-6} \quad (8.3)$$

где $G_{з.п}$ – количество влаги, кг/м², накопившейся за период с отрицательными среднемесячными температурами.

2. Расчет количества влаги, которое удаляется из плоскости возможной конденсации за период с положительными температурами наружного воздуха, используя формулы:

$$i_3 = \frac{E_{пвк} - e_в}{R_{в-пвк}} \quad (8.4)$$

где i_3 - интенсивность потока водяного пара из зоны конденсации во внутреннюю среду, мг/м²·ч;

$$i_4 = \frac{E_{пвк} - e_{н.л}}{R_{н.с} - R_{в-пвк}} \quad (8.5)$$

где i_4 - интенсивность потока водяного пара из плоскости возможной конденсации в наружную среду, мг/м²·ч;

$$G_{л.п} = 24(i_3 + i_4)(365 - Z_0) \cdot 10^{-6} \quad (8.6)$$

где $G_{л.п}$ – количество влаги, кг/м², удаляемой за период с положительными среднемесячными температурами.

8.2 Расчет годового баланса влаги в заданных ограждениях

8.2.1 Расчет годового баланса влаги в наружной стене

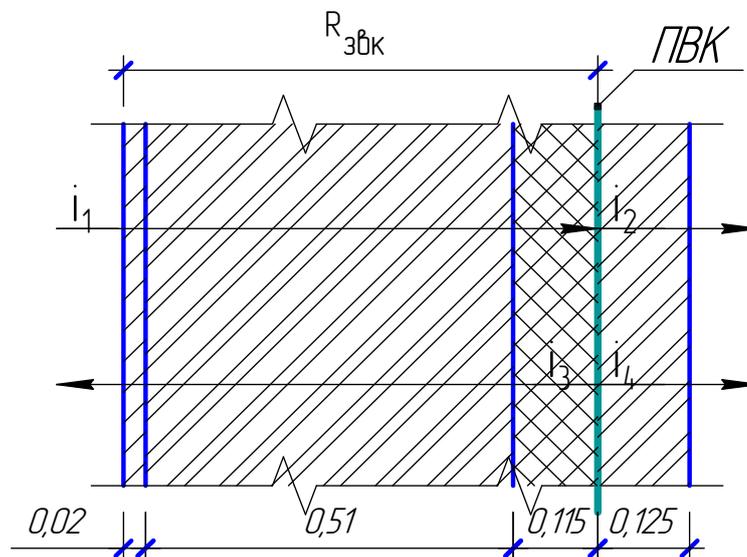


Рисунок 8.1 – Схема движения потока водяного пара через наружную стену для периодов с отрицательными и положительными среднемесячными температурами наружного воздуха

1. Количество влаги, которое накапливается в плоскости возможной конденсации за период с отрицательными температурами наружного воздуха рассчитывается по формулам (8.1) - (8.3)

$$i_1 = \frac{1368,4 - 431,8}{10,8} = 86,72 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{ч};$$

$$i_2 = \frac{431,8 - 394}{11,94 - 10,8} = 33,16 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{ч};$$

$$G_{з.п} = 24 \cdot (86,72 - 33,16) \cdot 134 \cdot 10^{-6} = 0,172 \text{ кг/м}^2.$$

2. Количество влаги, которое удаляется из плоскости возможной конденсации за период с положительными температурами наружного воздуха рассчитывается по формулам (8.4) - (8.6)

$$i_3 = \frac{1672 - 1984,4}{10,8} = -28,93 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{ч};$$

$i_3 < 0$, значит влага переносится в обратном направлении, то есть от внутренней среды к ПВК.

$$i_4 = \frac{1672 - 1079}{11,94 - 10,8} = 520,18 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{ч};$$

$$G_{\text{л.п}} = 24 \cdot (-28,93 + 520,18) \cdot (365 - 134) \cdot 10^{-6} = 2,72 \text{ кг/м}^2.$$

3. $G_{\text{л.п}} = 2,72 \text{ кг/м}^2 > G_{\text{з.п}} = 0,172 \text{ кг/м}^2$, значит в конструкции влага не будет накапливаться.

8.2.2 Расчет годового баланса влаги в чердачном перекрытии

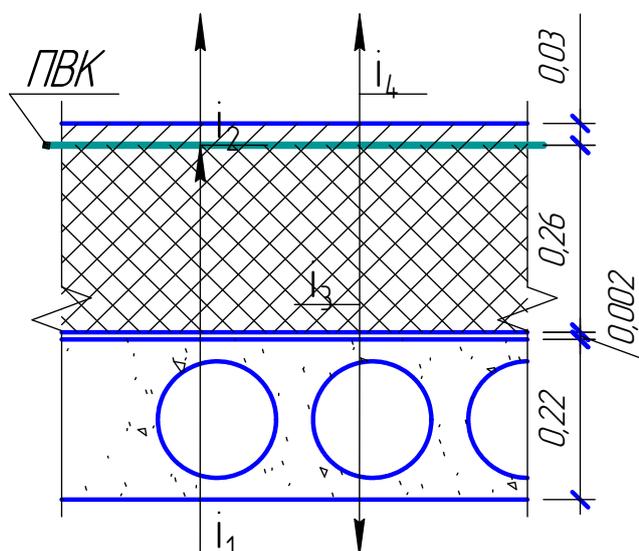


Рисунок 8.2 – Схема движения потока водяного пара через чердачное перекрытие для периодов с отрицательными и положительными среднемесячными температурами наружного воздуха

1. Количество влаги, которое накапливается в плоскости возможной конденсации за период с отрицательными температурами наружного воздуха рассчитывается по формулам (8.1)- (8.3)

$$i_1 = \frac{1368,4 - 387,3}{9,14} = 102,3 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{ч};$$

$$i_2 = \frac{387,3 - 394}{9,46 - 9,14} = -20,94 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{ч};$$

$i_2 < 0$, значит влага переносится в обратном направлении, то есть от наружной среды к ПВК.

$$G_{з.п} = 24 \cdot (102,3 + 20,94) \cdot 134 \cdot 10^{-6} = 0,41 \text{ кг/м}^2.$$

2. Количество влаги, которое удаляется из плоскости возможной конденсации за период с положительными температурами наружного воздуха рассчитывается по формулам (8.4)- (8.6)

$$i_3 = \frac{1606 - 1984,4}{9,14} = -41,4 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{ч};$$

$i_3 < 0$, значит влага переносится в обратном направлении, то есть от внутренней среды к ПВК.

$$i_4 = \frac{1606 - 1079}{9,46 - 9,14} = 1647 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{ч};$$

$$G_{л.п} = 24 \cdot (-41,4 + 1647) \cdot (365 - 134) \cdot 10^{-6} = 8,9 \text{ кг/м}^2.$$

3. $G_{л.п} = 8,9 \text{ кг/м}^2 > G_{з.п} = 0,41 \text{ кг/м}^2$, значит конструкция за летний период высыхает и влага не будет в ней накапливаться.

9 Расчёт влияния инфильтрации воздуха.

9.1 Порядок расчёта влияния инфильтрации воздуха.

1. Определение количества воздуха, проникающего через наружную ограждающую конструкцию.

$$G_u = \frac{\Delta P}{R_u^{\phi}} \quad (9.1)$$

где ΔP - разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях,

R_u^{ϕ} - фактическое сопротивление воздухопроницанию для ограждения.

2. Определение температуры внутренней поверхности с учётом инфильтрации воздуха.

$$\tau_B^u = t_H + (t_B - t_H) \frac{e^{C_B \cdot G_u \cdot R_{xi}} - 1}{e^{C_B \cdot G_u \cdot R_0^{\phi}} - 1} \quad (9.2)$$

R_{xi} - термическое сопротивление ограждающих конструкций начиная от наружного воздуха до данного сечения.

$$R_{xi} = (R_0^\phi - \frac{1}{\alpha_B}) \quad (9.3)$$

где $C_B = 1000$ Дж/кг °С - теплоёмкость воздуха.

G_u - количество воздуха, проникающие через наружное ограждение.

3. Определение коэффициента теплопередачи с учётом инфильтрации воздуха.

$$K_u = \frac{C_B \cdot G_u \cdot e^{C_B \cdot G_u \cdot R_0^\phi}}{e^{C_B \cdot G_u \cdot R_0^\phi} - 1} \quad (9.4)$$

4. Определение коэффициента теплопередач без учёта инфильтрации воздуха.

$$K = \frac{1}{R_0^\phi} \quad (9.5)$$

5. Сравнение полученных результатов. Выводы о соответствии температуры внутренней поверхности и коэффициента теплопередачи с учётом влияния инфильтрации воздуха.

9.2 Расчёта влияния инфильтрации воздуха для наружной стены.

1. Количество воздуха, проникающего через наружную стену, определяется по формуле (9.1).

$$G_u = \frac{51,41}{473} = 0,109 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{ч}$$

ΔP , R_u^ϕ - аналогично пункту 5.2.1

2. Температуры внутренней поверхности наружной стены с учётом инфильтрации воздуха определяется по формулам (9.2) и (9.3).

$$\tau_B^u = -26 + (21 + 26) \frac{2,7^{1,0,109 \cdot 3,095} - 1}{2,7^{1,0,109 \cdot 3,21} - 1} = 19,02^\circ\text{C}$$

$$R_{xi} = (3,21 - \frac{1}{8,7})$$

Из пункта 2.2.1 $\tau_B = 19,32^\circ\text{C}$ - температура внутренней поверхности без учёта инфильтрации.

3. Коэффициент теплопередачи наружной стены с учётом инфильтрации воздуха определяется по формуле (9.4).

$$K_u = \frac{1 \cdot 0,109 \cdot 2,7^{1,0,109 \cdot 3,21}}{2,7^{1,0,109 \cdot 3,21} - 1} = 0,369$$

4. Коэффициент теплопередачи наружной стены без учёта инфильтрации воздуха определяется по формуле (9.5).

$$K = \frac{1}{3,21} = 0,312$$

5. Температура на внутренней поверхности с учётом инфильтрации больше температуры точки росы, что удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам.

$$t_{\text{в}} = 19,02 \geq t_{\text{т.р.}} = 11,62$$

Перепад температур между внутренней поверхностью и температурой внутреннего воздуха удовлетворяет требованиям.

$$\Delta t_0 = 21 - 19,02 = 1,98 \text{ } ^\circ\text{C} > 4 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{ для наружных стен.}$$

Коэффициент теплопередачи наружной стены с учётом инфильтрации больше, чем коэффициент теплопередачи без учёта инфильтрации.

$$K_u = 0,369 > K = 0,312$$

Список литературы.

1. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». - М. Госстрой России, 2003.
2. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология». - М. Госстрой России, 2000.
3. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». - М. Госстрой России, 2004.
4. Магнитова Н.Т., Панферов В.И. «Теплофизические расчёты ограждающих конструкций зданий и сооружений»: Учебное пособие - Ч. ЮУрГУ, 2001.
5. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. - 2- изд. Перераб. и доп. - М. Высшая школа, 1982 - 415 стр.