

Строительная физика

Задание1. Определить приведенное сопротивление теплопередаче и толщину утеплителя наружной кирпичной стены слоистой кладки с внутренним утепляющим слоем из пенополистирольных плит плотностью 100 кг/м^3 (г. Белгород) из условия целевого сопротивления теплопередачи.

Исходные данные

Место строительства – г. Белгород.

Зона влажности – нормальная.

Продолжительность отопительного периода $z_{от} = 191$ суток.

Расчетная температура отопительного периода $t_{от} = -1,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Температура холодной пятидневки, $t_h = -28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Температура внутреннего воздуха, $t_v = +20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Относительная влажность внутреннего воздуха, 85%.

Влажностный режим помещения – нормальный.

Условия эксплуатации ограждающих конструкций – Б.

Коэффициент тепловосприятости внутренней поверхности ограждения $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$.

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения $\alpha_{н} = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$.

Состав стенового ограждения приведен в табл.1

Таблица 1

Состав стенового ограждения и нормируемые теплотехнические показатели материалов

№ п/п	Наименование материала	γ_0 , кг/м ³	δ , м	λ Вт/(м·°C)	R , (м ² ·°C)/Вт
1	Известково-песчаный раствор	1600	0,02	0,81	0,024
2	Кирпичная кладка из сплошного кирпича	1800	0,510	0,81	0,629
3	Плиты пенополистирольные	100	X	0,05	X
4	Кирпичная кладка из пустотного кирпича (облицовочного)	1600	0,120	0,64	0,187

Согласно раздела 7 «Алгоритм расчета приведенного сопротивления теплопередаче» [22] для плоских элементов толщину утеплителя определяют с помощью целевого сопротивления теплопередаче, которое должно быть не ниже требуемого. Для этого целевое сопротивление теплопередаче стены умножают на 1,5 и рассчитывают толщину утеплителя со значением $R_o^{усл} = 1,5R_{ц}$. При этом, полученное расчетным путем приведенное сопротивление теплопередаче должно быть не меньше целевого сопротивления теплопередаче и отличаться от него не более чем:

- на 10% для $R_o^{усл} < 3,5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт;
- на 7% для $3,5 \leq R_o^{усл} < 5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт;
- на 5% для $5 \leq R_o^{усл}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт.

Сначала определяем величину градус суток отопительного периода (ГСОП) по формуле (5.2) СП 50.13330.2012:

$$\text{ГСОП} = (t_g - t_{om}) \cdot z_{om} = (20 + 1,9) \times 191 = 4183 \text{ °C сут/год}.$$

Затем по табл.3 (примечание 1) СП 50.13330.2012 вычисляем значение требуемого сопротивления теплопередаче стены здания по формуле

$$R_o^{тp} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,00035 \times 4183 + 1,4 = 2,8640 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

Принимаем величину целевого сопротивления теплопередаче $R_{ц}$, равной $R_o^{тp} = 2,8640$ ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт, и устанавливаем толщину утеплителя из условия $R_o^{усл} = 1,5R_{ц}$.

Толщину утеплителя ($\delta_{ут}$) определяем по формуле

$$\delta_{ут} = \lambda_{ут} (1,5R_{ц} - (\frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_k}{\lambda_k} + \frac{\delta_{шт}}{\lambda_{шт}} + \frac{\delta_{обл}}{\lambda_{обл}}));$$

где $\lambda_{ут}$ - коэффициент теплопроводности утеплителя, м;

δ_k , δ_{obl} , $\delta_{ут}$ и $\delta_{шт}$ - соответственно, толщина кирпичной кладки, облицовки, утеплителя и штукатурки, м;

λ_k , λ_{obl} , $\lambda_{ут}$ и $\lambda_{шт}$ - соответственно, коэффициенты теплопроводности кирпичной кладки, облицовки, утеплителя и штукатурки, Вт/(м·°C).

$$\begin{aligned}\delta_{ут} &= 0,05(1,5 \times 2,8640 - (\frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,12}{0,64} + \frac{0,02}{0,93})) = \\ &= 0,05 (4,298 - 0,366) = 0,196 \text{ м.}\end{aligned}$$

Принимаем толщину утеплителя из пенополистирольных плит равной 200 мм и рассчитываем условное сопротивление теплопередаче стенового ограждения по формуле (Е.6)

СП 50.13330.2012:

$$R_{оусл} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,20}{0,05} + \frac{0,12}{0,64} + \frac{1}{23} = 5,750 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт.}$$

Задание 2. Определить коэффициент теплотехнической однородности и достаточность выполнения санитарно-гигиенических требований стеновым ограждением, характеристики которого приведены в задании 1.

Коэффициент теплотехнической однородности (r) определяется по формуле (Е.4) СП 50.13330.2012:

$$r = \frac{R_o^{np}}{R_o^{ysl}} = \frac{4,296}{5,750} = 0,74$$

Проверка выполнения санитарно-гигиенических требований тепловой защиты здания

Проверяем выполнение условия на не выпадение конденсата на внутренней поверхности ограждения из условия:

$$\tau_b > t_p,$$

где t_b – температура на внутренней поверхности ограждения, °С;

t_p – температура точки росы, °С.

Рассчитываем температуру на внутренней поверхности ограждения τ_b по формуле (25) СП 23-101-04:

$$\tau_b = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_o^{ysl} \cdot \alpha_g} = 20 - \frac{(20 + 28)}{5,750 \cdot 8,7} = 20 - 1,05 = 19,04 \text{ °С.}$$

Согласно приложения (б) для температуры внутреннего воздуха $t_g = 20$ °С и относительной влажности $\phi = 85$ % температура точки росы составляет $t_p = 10,69$ °С, следовательно, условие $\tau_b = 19,04 > t_p = 10,69$ °С, выполняется.

Вывод: Ограждающая конструкция удовлетворяет нормативным требованиям тепловой защиты здания.

Задание 3. Определить толщину утеплителя холодного чердачного перекрытия, состоящего из ж/б панели $\delta=100$ мм, пароизоляция – 1 слой рубитекса; плоских асбестоцементных листов толщиной $\delta=20$ мм и утеплителя, приведенного в прилагаемой таблице

Определяем величину градусо-суток отопительного периода по формуле (5.2) СП 50.13330.2012:

$$\text{ГСОП} = (t_g - t_{om}) \cdot z_{om} = (20 + 1,9) \times 191 = 4183 \text{ }^\circ\text{C сут/год}.$$

Затем по табл.3 (примечание 1) СП 50.13330.2012 вычисляем значение требуемого сопротивления теплопередаче по формуле

$$R_o^{\text{TP}} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,00035 \times 4183 + 1,4 = 2,8640 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}.$$

Из условия равенства общего термического сопротивления требуемому ($R_0=R_o^{\text{TP}}$), определяем термическое сопротивление утепляющего слоя ($R_{\text{ут}}$):

$$R_{\text{ут}} = R_o^{\text{TP}} - (R_g + R_{\text{ж.б}} + R_{\text{п.и}} + R_n) = 4,481 - \left(\frac{1}{8,7} + 0,142 + \frac{0,003}{0,17} + \frac{1}{12} \right) = 2,8640 - 0,357 = 2,507 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт},$$

где R_g - термическое сопротивление тепловосприятия внутренней поверхности ограждения, равное $\frac{1}{\alpha_g}$;

R_n - термическое сопротивление теплоотдачи наружной поверхности ограждения, равное $\frac{1}{\alpha_n}$;

$R_{\text{ж.б}}$ - термическое сопротивление железобетонной плиты перекрытия, величина которого составляет 0,142 (м²·°C)/Вт;

$R_{\text{п.и}}$ - термическое сопротивление слоя пароизоляции;

Далее по формуле (6) СНиП 23-02-3 вычисляем толщину утепляющего слоя:

$$\delta_{\text{ут}} = R_{\text{ут}} \cdot \lambda_{\text{ут}} = 2,507 \times 0,07 = 0,175 \text{ м}.$$

Принимаем толщину утепляющего слоя 180 мм.

Вычисляем фактическое общее термическое сопротивление чердачного перекрытия с учетом принятой толщины утеплителя:

$$R_0^\phi = R_{si} + R_{жб} + R_{ни} + \frac{\delta_{yt}}{\lambda_{yt}} + R_{se} = \frac{1}{8,7} + 0,142 + \frac{0,3}{0,07} + \frac{1}{12} = 4,625 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Производим сравнение общего фактического и нормируемого термических сопротивлений чердачного перекрытия:

$$R_0^\phi = 4,642 > R_o^{TP} = 4,481 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Условие выполняется.

Задание 4. Для своего варианта определить достаточность выполнения санитарно-гигиенических требований чердачным перекрытием холодного чердака, характеристики которого приведены в задании 3.

Проверяем выполнение условия на не выпадение конденсата на внутренней поверхности ограждения из условия:

$$\tau_{\text{si}}^{\text{p}} > t_{\text{d}}$$

где τ_{e} – температура на внутренней поверхности ограждения, °С;

t_{p} – температура точки росы, °С.

Рассчитываем температуру на внутренней поверхности ограждения $\tau_{\text{в}}$ по формуле (25) СП 23-101-04:

$$\tau_{\text{si}}^{\text{p}} = t_{\text{int}} - \frac{t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}}{R_0 \cdot \alpha_{\text{int}}} = 20 - \frac{1(20 + 28)}{2,8640 \cdot 8,7} = 20 - 1,92 = 18,07 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Согласно приложения (6) для температуры внутреннего воздуха $t_{\text{int}} = 20$ °С и относительной влажности $\phi = 85$ % температура точки росы составляет $t_{\text{d}} = 10,69$ °С, следовательно, условие $\tau_{\text{si}}^{\text{p}} = 18,07 > t_{\text{d}} = 10,69$ °С выполняется.

Вывод: Чердачное перекрытие удовлетворяет нормативным требованиям тепловой защиты здания.

Задание 5. Проверить возможность конденсации водяных паров на внутренней поверхности наружной стены жилого здания выполненного из однослойных керамзитобетонных панелей толщиной 400 мм, оштукатуренных с внутренней стороны цементно-песчаным раствором толщиной 15 мм и офактуренных с наружной стороны мраморной крошкой толщиной 20 мм.

Определяем величину градусо-суток отопительного периода по формуле (5.2) СП 50.13330.2012:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}} = (20 + 1,9) \times 191 = 4183 \text{ } ^\circ\text{C сут/год}.$$

Затем по табл.3 (примечание 1) СП 50.13330.2012 вычисляем значение требуемого сопротивления теплопередаче по формуле

$$R_{\text{отр}} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,00035 \times 4183 + 1,4 = 2,8640 \text{ (м}^2 \text{ } ^\circ\text{C)/Вт}.$$

Для стеновых панелей промышленного изготовления приведенное сопротивление теплопередаче ($R_{\text{опр}}$), ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$), следует принимать по формуле

$$R_{\text{опр}} = R_o^{coo} \cdot r,$$

где R_o^{coo} - сопротивление теплопередаче i -го участка однородной ограждающей конструкции, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$).

r - коэффициент теплотехнической однородности, который для железобетонных стеновых панелей с утеплителем и гибкими связями составляет 0,7 (приложение 11).

Расчет ведется из условия равенства $R_{\text{опр}} = R_{\text{отр}}$, следовательно,

$$R_o^{com} = \frac{R_o^{mp}}{r} = \frac{2,8640}{0,7} = 4,091 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C) /Вт}.$$

Из условия равенства общего термического сопротивления требуемому ($R_0 = R_o^{com}$), определяем термическое сопротивление утепляющего слоя ($R_{\text{ут}}$):

$$R_{\text{ут}} = R_o^{coo} - (R_{\text{в}} + R_{\text{ж.б}} + R_{\text{н}}) = 4,091 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{2,04} + \frac{1}{12} \right) = 4,091 - 0,271 = 3,82 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт},$$

где $R_{в}$ - термическое сопротивление тепловосприятия внутренней поверхности ограждения, равное $\frac{1}{\alpha_{в}}$;

$R_{н}$ - термическое сопротивление теплоотдачи наружной поверхности ограждения, равное $\frac{1}{\alpha_{н}}$;

$R_{ж.б}$ – термическое сопротивление железобетонных скорлуп 3-х слойной стеновой панели;

$R_{п.и}$ – термическое сопротивление слоя пароизоляции;

По формуле (6) СНиП 23-02-2003 вычисляем толщину утепляющего слоя:

$$\delta_{ут} = R_{ут} \cdot \lambda_{ут} = 3,82 \times 0,06 = 0,23 \text{ м.}$$

Принимаем толщину утепляющего слоя 230 мм.

Вычисляем фактическое общее термическое сопротивление стеновой панели с учетом принятой толщины утеплителя:

$$R_0^{\phi} = R_{в} + R_{ж.б} + \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} + R_{н} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{2,04} + \frac{0,23}{0,06} + \frac{1}{12} = 3,36 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Производим сравнение общего фактического сопротивления теплопередаче и сопротивления теплопередаче i -го участка однородной ограждающей конструкции стеновой панели:

$$R_0^{\phi} = 3,36 < R_0^{com} = 3,82 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Из сравнения видно, что общее фактическое термическое сопротивление стеновой панели на 6,8% меньше, чем сопротивление теплопередаче i -го участка однородной ограждающей конструкции стеновой панели.

Для окончательного решения о толщине утеплителя необходимо произвести расчет из условия выполнения санитарно-гигиенических требований по температуре внутренней поверхности ограждения стеновой панели, которая должна быть не ниже температуры точки росы.

Задание 6. Проверить выполнение условия $\Delta t \leq \Delta t_n$ для чердачного перекрытия теплого чердака 9-этажного жилого дома

Проверяем наружные ограждающие конструкции «теплого» чердака на условия не выпадения конденсата на их внутренних поверхностях, т.е. на выполнение условия:

$$\tau_{\text{в}}^{\text{покр}} (\tau_{\text{в}}^{\text{ст}} \text{ и } \tau_{\text{в}}^{\text{чн}}) \geq t_p$$

Определяем температуры на внутренних поверхностях ограждающих конструкций «теплого «чердака:

– для покрытия над «теплым» чердаком, приняв

$$a_{\text{в}}^{\text{ч}} = 9,9 \text{ Вт /м}^2 \cdot \text{°С:}$$

$$\tau_{\text{в}}^{\text{покр}} = t_{\text{в}}^{\text{ч}} - \frac{t_{\text{в}}^{\text{ч}} - t_{\text{н}}}{R_0^{\text{покр}} \cdot \alpha_{\text{в}}^{\text{ч}}} = 15 - \frac{15 + 28}{1,87 \cdot 9,9} = 11,3 \text{°С.}$$

– для наружных стен «теплого» чердака, приняв

$$a_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт /м}^2 \cdot \text{°С;}$$

$$\tau_{\text{в}}^{\text{ст}} = t_{\text{в}}^{\text{ч}} - \frac{t_{\text{в}}^{\text{ч}} - t_{\text{н}}}{R_0^{\text{ст}} \cdot \alpha_{\text{в}}^{\text{ч}}} = 15 - \frac{15 + 28}{3,014 \cdot 8,7} = 15 - 2,84 = 12,165 \text{°С.}$$

– для чердачного перекрытия «теплого» чердака, приняв $a_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт /м}^2 \cdot \text{°С:}$

$$\tau_{\text{в}}^{\text{чн}} = t_{\text{в}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_0^{\text{ч}} \cdot \alpha_{\text{в}}} = 20 - \frac{20 + 15}{3,014 \cdot 8,7} = 20 - 1,33 = 18,67 \text{°С.}$$

Задание 7. Для города своего варианта определить нормируемые сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций технического подвала:

- надподвального перекрытия;
- не заглубленной части наружной стены;
- заглубленной части наружной стены.

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи для зимних условий α_n , Вт/(м ² ·°С)
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительно-климатической зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительно-климатической зоне	17
3. Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4. Перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

Задание 8. Для города своего варианта определить толщину утеплителя над подвальным перекрытием и не заглубленной части наружной стены. Стена выполнена из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе плотностью 1800 кг/м^3 , материал утеплителя над подвального перекрытия приведен в таблице.

1. Определяем требуемое сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия ($R_0^{\text{тп}}$) по формуле (29) СП 23-101-04:

$$R_0^{\text{тп}} = R_0^{\text{усл}} \cdot n,$$

где $R_0^{\text{усл}}$ – условное сопротивление теплопередаче;

n – понижающий коэффициент, определяемый по формуле (30) СП 23-101-04:

$$n = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{в}}^{\text{ч}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}} = \frac{20 - 15}{20 + 35} = 0,091$$

Для определения условного сопротивления теплопередаче ($R_0^{\text{усл}}$) сначала устанавливаем величину градусо-суток отопительного периода (ГСОП) по формуле (5.2) СП 50.13330.2012:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{ом}}) \cdot z_{\text{от}} = (20 + 5,5) \times 225 = 5737,5 \text{ } ^\circ\text{C сут/год}.$$

Значение условного сопротивления теплопередаче ($R_0^{\text{усл}}$) определяем при численных значениях коэффициентов $a = 0,0005$ и $b = 2,2$ (табл.3 СП 50.13330.2012):

$$(R_0^{\text{усл}}) = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,0005 \times 5737,5 + 2,2 = 5,06 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}.$$

Устанавливаем требуемое сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия ($R_0^{\text{тп}}$) по формуле (29) СП 23-101-2004:

$$R_0^{\text{тп}} = (R_0^{\text{усл}}) \cdot n = 5,16 \times 0,091 = 0,46 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}.$$

2. Определяем требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены теплого чердака ($R_o^{\text{ст}}$) при расчетной температуре внутреннего воздуха в чердачном пространстве $t_{\text{в}}^{\text{ч}} = +15 \text{ } ^\circ\text{C}$. Для этого предварительно устанавливаем величину ГСОП для наружной стены теплого чердака по формуле (5.2) СП 50.13330,2012:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{ом}}) \cdot z_{\text{ом}} = (15 + 1,9) \times 191 = 4219 \text{ } ^\circ\text{C сут/год}.$$

Вычисляем значение требуемого сопротивления теплопередаче наружных стен чердака ($R_o^{\text{тр.ст.}}$) при численных значениях коэффициентов $a = 0,00035$ и $b = 1.4$ (табл.3СП 50.13330.2012):

$$R_o^{\text{ст}} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,00035 \times 4219 + 1,4 = 3,014 \text{ (м}^2\text{°C/Вт)}.$$

3. Определяем требуемое сопротивление теплопередаче покрытия теплого чердака ($R_0^{\text{покр}}$) по формуле (32) СП 23-101-2004:

$$R_0^{\text{покр}} = \frac{(t_{\text{в}}^{\text{ч}} - t_{\text{н}})}{0,28 \cdot G_{\text{вен}} \cdot c \cdot (t_{\text{вен}} - t_{\text{в}}^{\text{ч}}) + \frac{(t_{\text{в}}^{\text{ч}} - t_{\text{в}})}{R_0^{\text{чп}}} + \frac{\sum_{i=1}^n g_{pi} l_{pi}}{A_{\text{чп}}} - \frac{(t_{\text{в}}^{\text{ч}} - t_{\text{н}})a}{R_0^{\text{см}}}}$$

где $G_{\text{вен}}$ - приведенный (отнесенный к 1 м² чердака) расход воздуха в системе вентиляции, определяемый по приложению (7) и равный 19,5 кг/(м²·ч);

c - удельная теплоемкость воздуха c , равную 1 кДж/(кг·°C);

$t_{\text{вен}}$ - температура воздуха, выходящего из вентиляционных каналов, $t_{\text{вен}}$, °C, принимаемая равной $t_{\text{вен}} + 1,5 = 20 + 1,5 = 21,5^\circ\text{C}$;

g_{pi} - линейная плотность теплового потока через поверхность теплоизоляции, приходящая на 1 м длины трубопровода; принимается для труб отопления равной 25, а для труб горячего водоснабжения – 12 Вт/м (приложение 8);

l_{pi} - длина трубопроводов горячего водоснабжения и отопления, м.

$A_{\text{чп}}$ - площадь чердачного перекрытия, м²;

a - коэффициент, учитывающий приведенную площадь наружных стен чердака, м²/м²;

$R_o^{\text{ст}}$ - требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен чердака, (м²°C/Вт);

$R_0^{\text{чп}}$ - требуемое сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия, (м²°C/Вт).

4. Рассчитываем приведенные тепlopоступления от трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения из выражения:

$$\frac{\sum_{i=1}^n q_{pi} l_{pi}}{A_{чн}} = \frac{(25 \cdot 55 + 12 \cdot 30)}{367} = 4,73 \text{ Вт/м}^2,$$

5. Определяем приведенную площадь наружных стен чердака (a), $\text{м}^2/\text{м}^2$, по формуле (33) СП 23-101-2004:

$$a = \frac{A_{cm}}{A_{чн}} = \frac{108,2}{367} = 0,295 \text{ м}^2/\text{м}^2;$$

6. Подставляем найденные значения в формулу (32) СП 23-101-2004 и определяем требуемое сопротивление теплопередаче покрытия над теплым чердаком:

$$R_0^{\text{покр}} = \frac{(t_g^u - t_n)}{0,28 \cdot G_{веч} \cdot c \cdot (t_{веч} - t_g^u) + \frac{(t_g - t_g^u)}{R_0^{\text{чн}}} + \frac{\sum_{i=1}^n g_{pi} l_{pi}}{A_{чн}} - \frac{(t_g^u - t_n)a}{R_0^{\text{cm}}}} =$$

$$= \frac{15 + 35}{0,28 \cdot 19,5 \cdot (21,5 - 15) + \frac{(20 - 15)}{0,46} + 4,73 - \frac{(15 + 35) \cdot 0,295}{3,014}} = 1,09 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

7. Рассчитываем термическое сопротивление утепляющего слоя $R_{ут}$ чердачного перекрытия при $R_0^{\text{чн}} = 0,46 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$:

$$R_{ут} = R_0^{\text{чн}} - \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_{ж.б} + R_{руб} + \frac{1}{\alpha_n} \right) =$$

$$= 0,46 - \left(\frac{1}{8,7} - 0,142 - 0,029 - \frac{1}{12} \right) = 0,12 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

Вычисляем толщину утеплителя в чердачном перекрытии

$$\delta_{ут} = R_{ут} \cdot \lambda_{ут} = 0,12 \cdot 0,08 = 0,0096 \text{ м}.$$

Принимаем толщину утеплителя $\delta_{ут} = 20 \text{ мм}$, так как минимальная толщина минераловатных плит согласно (ГОСТ 10140) составляет 20 мм.

8. Определяем величину утеплителя в покрытии «теплого» чердака при $R_0^{\text{покр}} = 1,09 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$:

$$\delta_{ут} = (R_0^{\text{покр}} - \frac{1}{\alpha_g} - R_1 - R_2 - R_4 - R_5 - \frac{1}{\alpha_n}) \lambda_{ут} =$$

$$= (1,09 - \frac{1}{9,9} - 0,017 - 0,029 - 0,022 - 0,035 - \frac{1}{12}) \times 0,15 = 0,176 \text{ м.}$$

Принимаем толщину утеплителя (газобетонная плита) 180 мм.

Задание 9. Определить требуемое сопротивление теплопередачи покрытия теплого чердака R^{sc}_o , $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, 9-этажного жилого дома, оборудованного газовыми приборами. В теплом чердаке проходит трубопровод отопительной системы диаметром 100 мм при температуре теплоносителя $95^\circ C$. Высота наружных стен теплого чердака составляет 2 м. Размеры чердака и диаметр трубопроводов приведены в таблице.

1. Определяем требуемое сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия ($R_0^{чп}$) по формуле (29) СП 23-101-04:

$$R_0^{чп} = R_0^{ycl} \cdot n,$$

где R_0^{ycl} – условное сопротивление теплопередаче;

n – понижающий коэффициент, определяемый по формуле (30) СП 23-101-04:

$$n = \frac{t_e - t_e^u}{t_e - t_n} = \frac{20 - 15}{20 + 28} = 0,091$$

Для определения условного сопротивления теплопередаче (R_0^{ycl}) сначала устанавливаем величину градусо-суток отопительного периода (ГСОП) по формуле (5.2) СП 50.13330.2012:

$$ГСОП = (t_e - t_{om}) \cdot z_{om} = (20 + 5,5) \times 225 = 5737,5 \text{ } ^\circ C \text{ сут/год.}$$

Значение условного сопротивления теплопередаче (R_0^{ycl}) определяем при численных значениях коэффициентов $a = 0,0005$ и $b = 2,2$ (табл.3 СП 50.13330.2012):

$$(R_0^{ycl}) = a \cdot ГСОП + b = 0,0005 \times 5737,5 + 2,2 = 5,06 \text{ (} m^2 \cdot ^\circ C \text{) / Вт.}$$

Устанавливаем требуемое сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия ($R_0^{чп}$) по формуле (29) СП 23-101-2004:

$$R_0^{чп} = (R_0^{ycl}) \cdot n = 5,16 \times 0,091 = 0,46 \text{ (} m^2 \cdot ^\circ C \text{) / Вт.}$$

3. Определяем требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены теплого чердака (R_o^{ct}) при расчетной температуре внутреннего воздуха в чердачном пространстве $t_b^ч = +15^\circ C$. Для этого предварительно устанавли-

ваем величину ГСОП для наружной стены теплого чердака по формуле (5.2) СП 50.13330,2012:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{ом}}) \cdot z_{\text{ом}} = (15 + 5,5) \times 225 = 4612,5 \text{ } ^\circ\text{C сут/год} .$$

Вычисляем значение требуемого сопротивления теплопередаче наружных стен чердака ($R_o^{\text{тр.ст.}}$) при численных значениях коэффициентов $a = 0,00035$ и $b = 1.4$ (табл.3 СП 50.13330.2012):

$$R_o^{\text{ст}} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,00035 \times 4612,5 + 1,4 = 3,014 (\text{м}^2\text{ } ^\circ\text{C/Вт}).$$

3. Определяем требуемое сопротивление теплопередаче покрытия теплого чердака ($R_0^{\text{покр}}$) по формуле (32) СП 23-101-2004:

$$R_0^{\text{покр}} = \frac{(t_{\text{в}}^{\text{ч}} - t_{\text{н}})}{0,28 \cdot G_{\text{вент}} \cdot c \cdot (t_{\text{вент}} - t_{\text{в}}^{\text{ч}}) + \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{в}}^{\text{ч}})}{R_0^{\text{ст}}} + \frac{\sum_{i=1}^n g_{pi} l_{pi}}{A_{\text{чн}}} - \frac{(t_{\text{в}}^{\text{ч}} - t_{\text{н}}) a}{R_0^{\text{ст}}}}$$

где $G_{\text{вент}}$ - приведенный (отнесенный к 1 м² чердака) расход воздуха в системе вентиляции, определяемый по приложению (7) и равный 19,5 кг/(м²·ч);

c - удельная теплоемкость воздуха c , равную 1 кДж/(кг·°C);

$t_{\text{вент}}$ - температура воздуха, выходящего из вентиляционных каналов, $t_{\text{вент}}$, °C, принимаемая равной $t_{\text{вент}} + 1,5 = 20 + 1,5 = 21,5^\circ\text{C}$;

g_{pi} - линейная плотность теплового потока через поверхность теплоизоляции, приходящая на 1 м длины трубопровода; принимается для труб отопления равной 25, а для труб горячего водоснабжения – 12 Вт/м (приложение 8);

l_{pi} - длина трубопроводов горячего водоснабжения и отопления, м.

$A_{\text{чн}}$ - площадь чердачного перекрытия, м²;

a - коэффициент, учитывающий приведенную площадь наружных стен чердака, м²/м²;

$R_o^{\text{ст}}$ - требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен чердака, (м²°C/Вт);

$R_0^{\text{чн}}$ - требуемое сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия, (м²°C/Вт).

4. Рассчитываем приведенные тепlopоступления от трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения из выражения:

$$\frac{\sum_{i=1}^n q_{pi} l_{pi}}{A_{чп}} = \frac{(25 \cdot 55 + 12 \cdot 30)}{367} = 4,73 \text{ Вт/м}^2,$$

5. Определяем приведенную площадь наружных стен чердака (a), $\text{м}^2/\text{м}^2$, по формуле (33) СП 23-101-2004:

$$a = \frac{A_{сн}}{A_{чп}} = \frac{108,2}{367} = 0,295 \text{ м}^2/\text{м}^2;$$

6. Подставляем найденные значения в формулу (32) СП 23-101-2004 и определяем требуемое сопротивление теплопередаче покрытия над теплым чердаком:

$$\begin{aligned} R_0^{\text{покр}} &= \frac{(t_g^u - t_n)}{0,28 \cdot G_{всн} \cdot c \cdot (t_{всн} - t_g^u) + \frac{(t_g - t_g^u)}{R_0^{\text{чп}}} + \frac{\sum_{i=1}^n g_{pi} l_{pi}}{A_{чп}} - \frac{(t_g^u - t_n)a}{R_0^{\text{сн}}}} = \\ &= \frac{15 + 35}{0,28 \cdot 19,5 \cdot (21,5 - 15) + \frac{(20 - 15)}{0,46} + 4,73 - \frac{(15 + 35) \cdot 0,295}{3,014}} = 1,09 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}. \end{aligned}$$

7. Рассчитываем термическое сопротивление утепляющего слоя $R_{ут}$ чердачного перекрытия при $R_0^{\text{чп}} = 0,46 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$:

$$\begin{aligned} R_{ут} &= R_0^{\text{чп}} - \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_{ж.б} + R_{руб} + \frac{1}{\alpha_n} \right) = \\ &= 0,46 - \left(\frac{1}{8,7} + 0,142 + 0,029 + \frac{1}{12} \right) = 0,12 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}. \end{aligned}$$

Вычисляем толщину утеплителя в чердачном перекрытии

$$\delta_{ут} = R_{ут} \cdot \lambda_{ут} = 0,12 \cdot 0,08 = 0,0096 \text{ м.}$$

Принимаем толщину утеплителя $\delta_{ут} = 20 \text{ мм}$, так как минимальная толщина минераловатных плит согласно (ГОСТ 10140) составляет 20 мм.

8. Определяем величину утеплителя в покрытии «теплого» чердака при $R_0^{\text{покр}} = 1,09 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$:

$$\delta_{\text{ут}} = (R_0^{\text{покp}} - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} - R_1 - R_2 - R_4 - R_5 - \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}) \lambda_{\text{ут}} =$$

$$= (1,09 - \frac{1}{9,9} - 0,017 - 0,029 - 0,022 - 0,035 - \frac{1}{12}) \times 0,13 = 0,113 \text{ м.}$$

Принимаем толщину утеплителя (газобетонная плита) 100 мм.

Задание 10. Для своего варианта по данным задания 9 проверить наружные стены теплового чердака на не выпадение конденсата на их внутренней поверхности.

Проверяем наружные ограждающие конструкции «теплого» чердака на условия не выпадения конденсата на их внутренних поверхностях, т.е. на выполнение условия:

$$\tau_{\text{в}}^{\text{покр}} (\tau_{\text{в}}^{\text{ст}} \text{ и } \tau_{\text{в}}^{\text{чн}}) \geq t_p$$

Определяем температуры на внутренних поверхностях ограждающих конструкций «теплого» чердака:

– для покрытия над «теплым» чердаком, приняв

$$a_{\text{в}}^{\text{ч}} = 9,9 \text{ Вт /м}^2 \cdot \text{°С:}$$

$$\tau_{\text{в}}^{\text{покр}} = t_{\text{в}}^{\text{ч}} - \frac{t_{\text{в}}^{\text{ч}} - t_{\text{н}}}{R_0^{\text{покр}} \cdot a_{\text{в}}^{\text{ч}}} = 15 - \frac{15 + 35}{1,87 \cdot 9,9} = 12,3 \text{°С.}$$

– для наружных стен «теплого» чердака, приняв

$$a_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт /м}^2 \cdot \text{°С;}$$

$$\tau_{\text{в}}^{\text{ст}} = t_{\text{в}}^{\text{ч}} - \frac{t_{\text{в}}^{\text{ч}} - t_{\text{н}}}{R_0^{\text{ст}} \cdot a_{\text{в}}} = 15 - \frac{15 + 35}{3,014 \cdot 8,7} = 15 - 2,84 = 12,165 \text{°С.}$$

- для чердачного перекрытия «теплого» чердака, приняв $a_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт /м}^2 \cdot \text{°С:}$

$$\tau_{\text{в}}^{\text{чн}} = t_{\text{в}}^{\text{ч}} - \frac{t_{\text{в}}^{\text{ч}} - t_{\text{н}}}{R_0^{\text{ч}} \cdot a_{\text{в}}} = 20 - \frac{20 + 15}{3,014 \cdot 8,7} = 20 - 1,33 = 18,67 \text{°С.}$$

Задание 11. Для своего варианта по данным задания 9 определить температуру точки росы для теплого чердака 9-этажного жилого дома.

Вычисляем температуру точки росы t_p , °С, в «теплом чердаке» и для этого:

– рассчитываем влагосодержание наружного воздуха f_n , г/м³, по формуле (37) СП 23-101-04 при расчетной температуре $t_n = -35$ °С и средней величине парциального давления в январе месяце $e_{я}=1,9$ ГПа (табл.5 СНиП 23-01-99*)

$$f_n = \frac{0,794e_n}{\left(1 + \frac{t_n}{273}\right)} = \frac{0,794 \cdot 1,9}{1 - \frac{35}{273}} = 1,73 \text{ г/м}^3;$$

– то же, воздуха «теплого» чердака по формуле (36) СП 23-101-04, приняв приращение влагосодержания Δf для домов с газовыми плитами, равным 4,0 г/м³ (п.9.2.5 СП 23-101-04):

$$f_u = f_n + \Delta f = 1,73 + 4,0 = 5,73 \text{ г/м}^3;$$

– то же, парциальное давление водяного пара воздуха в теплом чердаке по формуле (38) СП 23-101-04:

$$e_u = \frac{f_u \left(1 + \frac{t_u}{273}\right)}{0,794} = \frac{5,73 \left(1 + \frac{15}{273}\right)}{0,794} = 7,613 \text{ ГПа} = 7,613 \times 100 = 761,3 \text{ Па}.$$

При равенстве значений $E = e_u = 761,3$ Па, используя приложение(18) находим температуру точки росы, которая составляет: $t_p = 3,05$ °С.

Полученные значения температуры точки росы сопоставляем с соответствующими значениями температур на внутренних поверхностях ограждающих конструкций «теплого чердака»:

$$- \tau_{\text{в}}^{\text{покр}} = 12,3 > t_p = 3,05 \text{ °С};$$

$$- \tau_{\text{с}}^{\text{см}} = 12,17 > t_p = 3,05 \text{ °С};$$

$$- \tau_{\text{с}}^{\text{ш}} = 18,67 > t_p = 3,05 \text{ °С}.$$

Вывод: Температура точки росы значительно меньше соответствующих температур на внутренних поверхностях наружных ограждений «теплого» чердака, следовательно, конденсат на внутренних поверхностях покрытия, чердачного перекрытия и на стенах чердака выпадать не будет.

Задание 12. Расчетным путем определить удовлетворяют ли условиям паропроницаемости конструкция покрытия, состоящей из следующих конструктивных элементов:

- 4 слоя рубитекса
- цементная стяжка $\delta=20$ мм
- утеплитель -(см. таблицу)
- пароизоляция - слой рубитекса
- железобетонная пустотная плита $\delta=220$ мм

Расчет ведется в соответствии с требованиями раздела (8) СП 50.13330.2012 методом сравнения фактического сопротивления паропроницаемости ($R_{п}$), $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ рассматриваемого ограждения с требуемым сопротивлением ($R_{п}^{\text{тр}}$), $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, паропроницаемости.

Для определения фактического сопротивления паропроницаемости ($R_{п}$), чердачного перекрытия по приложению (19) устанавливаем коэффициенты паропроницаемости материала слоев ограждения, μ , которые равны:

- для железобетона – $\mu = 0,03 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$;
- для пенополистирола – $\mu = 0,05 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$.
- 4 слоя рубитекса – $\mu = 0,05 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$;
- цементная стяжка – $\mu = 0,03 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$;
- утеплитель -(см. таблицу) – $\mu = 0,8 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$;

Для листового материала (рубитекс) численное значение сопротивления паропроницаемости принимаем согласно приложения (14) - $R_{п} = 1,1 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$.

Фактическое сопротивление паропроницаемости ($R_{п.о}$) чердачного перекрытия определяется, как сумма сопротивлений паропроницаемости отдельных слоев, расположенных между плитой покрытия и наружной плоскостью утеплителя:

$$R_{п.о} = R_1 + R_2 + R_3,$$

где R_1 ; R_2 ; и R_3 – соответственно сопротивления паропроницанию слоев совмещенного покрытия – железобетонной плиты, пароизоляции и утеплителя).

$$R_{no} = \frac{0,22}{0,03} + 1,1 + \frac{0,1}{0,05} = 7,33 + 1,1 + 2 = 2,2 = 10,43 \text{ м}^2\text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Требуемое сопротивление паропроницанию вычисляется по формуле (8.16) СП 50.13330.2012:

$$R_{п\text{ TP}} = 0,0012 (e_{в} - e_{н.отр}),$$

где $e_{н.отр}$ - среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, определяемое по табл. 7.1 СП 131.13330.2011;

$e_{в}$ – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, рассчитываемое по формуле (8.3) СП 50.13330.2012

$$e_{в} = \frac{\varphi_{в} \cdot E_{в}}{100}$$

где $E_{в}$ – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре ($t_{в}$), принимается по приложению (16);

$\varphi_{в}$ - относительная влажность внутреннего воздуха, %, принимаемая в соответствии с п. 5.7 СП 50.13330.2012, равняется 55 %.

Подставляем численные значения в формулу (8.3) и рассчитываем действительное парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха помещения

$$e_{в} = \frac{55 \cdot 2338}{100} = 1285,9 \text{ Па}$$

Согласно табл. 5.1 СП 133.13330.2011 устанавливаем месяцы со среднемесячными отрицательными температурами, а затем по табл.

7.1 этого же СП определяем для этих месяцев значения действительного парциального давления наружного воздуха.

Для г. Перми к месяцам со среднемесячными отрицательными температурами относятся: январь, февраль, март, ноябрь и декабрь, для которых действительная упругость водяного пара наружного воздуха составляет соответственно 1,9; 2,0; 3,1; 3,7; и 2,4 гПа. Средняя величина действительного парциального давления наружного воздуха составляет:

$$e_n^0 = \frac{1,9 + 2,0 + 3,1 + 3,7 + 2,4}{5} = \frac{15,1}{5} = 2,62 \text{ гПа или } 261 \text{ Па.}$$

требуемое сопротивление паропроницания $R_n^{\text{со}}$ составляет

$$R_n^{\text{сп}} = 0,0012 \cdot (1285,9 - 262) = 1,23 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$$

Вывод: В связи с тем, что фактическое сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции $R_{\text{п.о}} = 10,443 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ выше требуемой величины $R_n^{\text{сп}} = 1,23 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$, следовательно, рассматриваемая конструкция совмещенного покрытия удовлетворяет требованиям сопротивления паропроницания.

Задание 13. Для города своего варианта определить достаточность сопротивления паропрооницанию (из условия недопустимости накопления влаги за годовой период) для слоистой кирпичной стены, состоящей из:

1 слой – кирп. кладки $\delta=380$ мм.

2 слой – пенополистирольного утеплителя $\delta=150$ мм.

3 слой – кирпичной кладки $\delta=250$ мм.

Расчет ведется в соответствии с требованиями раздела (8)

СП 50.13330.2012 методом сравнения фактического сопротивления паропрооницанию ($R_{п}$) рассматриваемого ограждения с нормируемым сопротивлением паропрооницанию ($R_{п2}^{ТР}$). При этом должно соблюдаться условие:

$$(R_{п} \geq R_{п2}^{ТР}).$$

Согласно (п.8.5.5. СП50.13330.2012) плоскость возможной конденсации в многослойной конструкции с теплоизоляционным слоем и наружным защитным слоем допускается принимать на наружной плоскости утеплителя.

Используя данные табл.10 определяем величину общего термического сопротивления ограждающей конструкции (R_0):

$$R_0 = (R_{в} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{н}) = 0,115 + 0,469 + 2,5 + 0,187 + 0,043 = 3,314 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации (R_c) составляет:

$$R_c = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,15}{0,06} = 2,969 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

При расчете ограждающей конструкции из условия недопустимости накопления влаги за годовой период сопротивление паропрооницанию ($R_{п2}^{ТР}$) определяется по формуле (8.2) СП 50.13330.2012:

$$R_{п2}^{ТР} = \frac{0.0024z_0(e_s - E_o)}{(\rho_w \delta_w \Delta W_{aw} + \eta)},$$

где z_0 - продолжительность, сут., периода влагонакопления, принимаемая, равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по табл. 5.1 СП.131.13330.2011;

E_0 – парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации, определяемое по средней температуре наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами;

ρ_w – плотность материала увлажняемого слоя, кг/м³, в сухом состоянии;

δ_w – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м;

Δw_{av} – предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления z_o , принимаемое по приложению (17);

η – коэффициент, определяемый по формуле (8.5) СП 50.13330.2012:

$$\eta = \frac{0,0024(E_0 - e_{н.отр})z_o}{R_{п.н}},$$

где $e_{н.отр}$ – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, определяемое по табл. 5.1 СП 131.13330.2011 «Строительная климатология».

Для определения требуемого сопротивления паропроницанию ($R_{п2}^{TP}$) из условия ограничения влаги за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха сначала устанавливаем продолжительность в сутках периода с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха $z_o = 135$ сут и его среднюю температуру $t_i = -6,3$ °С:

z_o (январь, февраль, март, ноябрь и декабрь) = 31+28+31+30+31=135сут:

$$t_i = \frac{(-13,8) + (-12,3) + (-4,5) + (-5,6) + (-11,3)}{5} = -9,5^\circ\text{C}:$$

Далее определяем температуру τ_0 , °С, в плоскости возможной конденсации по формуле (74) СП 23-101-04:

$$\tau_0 = t_e - \frac{(t_e - t_i) \cdot (R_g + R_c)}{R_o} = 20 - \frac{(20 + 9,5) \cdot (0,115 + 2,969)}{3,314} = -7,45^\circ\text{C}$$

По приложению (16) устанавливаем парциальное давление водяного пара E_0 , Па, в плоскости возможной конденсации при

$$\tau_0 = -7,45 \text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ которое равняется } E_0 = 327 \text{ Па.}$$

Согласно п.8.5.5СП 50.13330.2012 в многослойной ограждающей конструкции увлажняемым слоем является утеплитель ($\rho_w = 100 \text{ кг/м}^3$, $\gamma_w = 0,1 \text{ м}$).

Предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале утеплителя, согласно табл.10 СП 50.13330.2012 составляет $\Delta w_{aw} = 1,5 \%$.

Для определения коэффициента (η) по данным табл.7.1СП 133.13330.2011 «Строительная климатология» устанавливаем среднюю упругость водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными средними месячными температурами:

$$e_{н.отр} = \frac{1,9 + 2,0 + 3,1 + 3,7 + 2,4}{5} = 2,62 \text{ гПа или } 262 \text{ Па.}$$

По значениям $E_0 = 327 \text{ Па}$, $e_{н.отр} = 262 \text{ Па}$, $z_0 = 135 \text{ сут}$ и

$R_{пн} = 86 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$ рассчитываем коэффициент η :

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (327 - 262) \cdot 135}{0,86} = 24,48$$

Далее определяем нормируемое сопротивление паропроницанию из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха.

$$R_{n2}^{mp} = \frac{0,0024 \cdot 135 \cdot (1286 - 327)}{100 \cdot 0,15 \cdot 1,5 + 24,48} = 6,61 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Согласно указаниям п.8.1 СП 50.13330. 2012 определяем сопротивление паропроницанию (R_n) в пределах от внутренней поверхности ограждающей конструкции до плоскости возможной конденсации

$$R_n = \frac{0,38}{0,11} + \frac{0,15}{0,05} = 3,45 + 3 = 7,45 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг.}$$

Вывод: В связи с тем, что сопротивление паропроницанию части ограждающей конструкции, расположенной между внутренней поверхностью ограждения и плоскостью возможной конденсации

$R_{п} = 7,45 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$ выше требуемого значения $R_{п2}^{тп} = 6,61 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$, следовательно, рассматриваемая ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям СП 50.13330. 2012 из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха.

Задание 14. Для города своего варианта определить достаточность сопротивления паропрооницанию (из условия ограничения влаги за период с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха) для ограждающей конструкции, характеристики которой приведены в задании 13.э

Расчет ведется в соответствии с требованиями раздела (8) СП 50.13330.2012 методом сравнения фактического сопротивления паропрооницанию ($R_{п}$), $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ рассматриваемого ограждения с требуемым сопротивлением ($R_{п}^{\text{тр}}$), $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, паропрооницанию.

Для определения фактического сопротивления паропрооницанию ($R_{п}$), чердачного перекрытия по приложению (19) устанавливаем коэффициенты паропрооницания материала слоев ограждения, μ , которые равны:

- для железобетона – $\mu = 0,03 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$;
- для пенополистирола – $\mu = 0,05 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$.

Для листового материала (рубитекс) численное значение сопротивления паропрооницанию принимаем согласно приложения (14) – $R_{п} = 1,1 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$.

Фактическое сопротивление паропрооницанию ($R_{п.о}$) чердачного перекрытия определяется, как сумма сопротивлений паропрооницанию отдельных слоев, расположенных между плитой покрытия и наружной плоскостью утеплителя:

$$R_{п.о} = R_1 + R_2 + R_3,$$

где R_1 ; R_2 ; и R_3 – соответственно сопротивления паропрооницанию слоев совмещенного покрытия – железобетонной плиты, пароизоляции и утеплителя).

$$R_{п.о} = \frac{0,22}{0,03} + 1,1 + \frac{0,1}{0,05} = 7,33 + 1,1 + 2 = 10,43 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}.$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию вычисляется по формуле (8.16) СП 50.13330.2012:

$$R_{п}^{\text{тр}} = 0,0012 (e_{в} - e_{н.отр}),$$

где $e_{н.отр}$ - среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, определяемое по табл. 7.1 СП 131.13330.2011;

$e_в$ – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и относительной влажности этого воздуха, рассчитываемое по формуле (8.3) СП 50.13330.2012

$$e_в = \frac{\varphi_в \cdot E_в}{100}$$

где $E_в$ – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре ($t_в$), принимается по приложению (16);

$\varphi_в$ - относительная влажность внутреннего воздуха, %, принимаемая в соответствии с п. 5.7 СП 50.13330.2012, равняется 55 %.

Подставляем численные значения в формулу (8.3) и рассчитываем действительное парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха помещения

$$e_в = \frac{55 \cdot 2338}{100} = 1285,9 \text{ Па}$$

Согласно табл. 5.1 СП 133.13330.2011 устанавливаем месяцы со среднемесячными отрицательными температурами, а затем по табл.

7.1 этого же СП определяем для этих месяцев значения действительного парциального давления наружного воздуха.

Для г. Белгорода к месяцам со среднемесячными отрицательными температурами относятся: январь, февраль, март, ноябрь и декабрь, для которых действительная упругость водяного пара наружного воздуха составляет соответственно 1,9; 2,0; 3,1; 3,7; и 2,4 гПа. Средняя величина действительного парциального давления наружного воздуха составляет:

$$e_n^0 = \frac{1,9 + 2,0 + 3,1 + 3,7 + 2,4}{5} = \frac{15,1}{5} = 2,62 \text{ гПа или } 261 \text{ Па.}$$

требуемое сопротивление паропроницаия R_n^{TP} составляет

$$R_n^{mp} = 0,0012 \cdot (1285,9 - 262) = 1,23 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Вывод: В связи с тем, что фактическое сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции $R_{п.о} = 10,443 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$ выше требуемой величины $R_{п.тп} = 1,23 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, следовательно, рассматриваемая конструкция совмещенного покрытия удовлетворяет требованиям сопротивления паропроницания.

Задание 15. Определить достаточность сопротивления воздухопроницанию стеновой панели, состоящей из 2-х слоев железобетона $\delta=100$ мм и внутреннего слоя утеплителя из пенополистирола толщиной 100 мм.

Фактическое сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции ($R_{о.и}$), $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$, определяется как сумма сопротивлений воздухопроницанию слоев ограждения:

$$R_{о.и} = R_{и1} + R_{и2} + \dots + R_{ин}$$

где $R_{и1}; R_{и2} + \dots + R_{ин}$, - сопротивления воздухопроницанию отдельных слоев ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$.

$$R_{о.и} = 19620 + 79 + 19620 = 39319 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}.$$

Определяем требуемое сопротивление воздухопроницанию ($R_{н}^{\text{тр}}$) по формуле (7.1) СП 50.13330.2012

$$R_u^{mp} = \frac{\Delta p}{G_n},$$

где G_n – нормируемая воздухопроницаемость ограждающих конструкций, $\text{кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, принимаемая по приложению (13);

Δp – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па, рассчитываемая по формуле (7.2) СП 50.13330.2012

$$\Delta p = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_n - \gamma_e) + 0,03 \cdot \gamma_n \cdot v^2,$$

где H – высота здания (от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты), м;

γ_n, γ_e - удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, $\text{Н} / \text{м}^3$,

v – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, принимаемая по табл. 3.1 СП 131.13330.2011.

Сначала рассчитываем удельный вес наружного γ_n и внутреннего γ_e воздуха по формуле (7.3) СП 50.13330.2012:

$$\gamma_n = \frac{3463}{(273 + t_n)} = \frac{3463}{(273 + (-29))} = 14,19 \text{ Н} / \text{м}^3;$$

$$\gamma_6 = \frac{3463}{(273 + t_6)} = \frac{3463}{(273 + 20)} = 11,82 \text{ Н/м}^3.$$

По табл. 3.1 СП 131.13330.2011 устанавливаем максимальную из средних скоростей ветра по румбам за январь, которая для г. Белгорода составляет 3,4 м/с.

Подставляем найденные в формулу (7.2) и вычисляем разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждения:

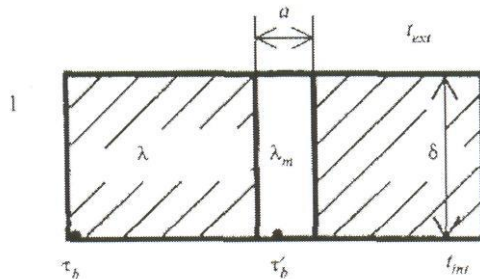
$$\Delta p = 0,55 \cdot 40 \cdot (14,19 - 11,82) + 0,03 \cdot 14,19 \cdot 3,4^2 = 47,22 \text{ Па}$$

Далее определяем требуемое сопротивление воздухопроницанию ограждающей конструкции ($R_{и}^{тр}$), по формуле (7.1):

$$(R_{и}^{тр}) = \frac{47,22}{0,5} = 94,44 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$$

Вывод: Условие, $R_{о,и} = 39319 > R_{и}^{тр} = 94,44 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}$, выполняется, следовательно, рассматриваемая ограждающая конструкция удовлетворяет по воздухопроницаемости требованиям СП 50.13330.2012.

Задание 16. Определить температуру на внутренней поверхности кирпичной кладки толщиной 510 мм с бетонным включением шириной 100 мм для следующих вариантов:



Для ограждающих конструкций с неметаллическими теплопроводными включениями температуру на внутренней поверхности по теплопроводному включению определяем по формуле (26) СП 23-101-2004:

$$t_{вн} = t_{вн} - \left[\frac{n \cdot (t_{вн} - t_{вн})}{(R_0 \cdot \alpha_{вн})} \right] \cdot \left[1 + \eta \cdot \left(\frac{R_0}{R_0^1} - 1 \right) \right]$$

где $t_{вн}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

$t_{вн}$ – расчетная температура наружного воздуха, °С;

n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, принимаемый по приложению (9);

R_0^1, R_0 – общие сопротивления теплопередаче по сечению ограждающей конструкции, (м²·°С)/Вт, соответственно в местах теплопроводных включений и вне этих мест.

η – коэффициент, учитывающий схему теплопроводного включения в ограждающую конструкцию, принимается по приложению (12);

$\alpha_{вн}$ – коэффициент тепловосприятости внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С).

Сначала определяем сопротивления теплопередаче по сечению ограждающей конструкции (R_0) и по сечению теплопроводного включения (R_0^1). В обоих случаях не учитываем сумму двух сопротивлений ($R_вн + R_{вн}$) в виду их равенства:

$$R_0 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,51}{0,81} = 0,63 (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})/\text{Вт};$$

$$R_0^1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,41}{0,81} + \frac{0,1}{1,86} = 0,56 (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})/\text{Вт},$$

где δ_1 и δ_2 - соответственно толщины кирпичной кладки и теплопроводного включения;

λ_1 и λ_2 - соответственно коэффициенты теплопроводности кирпичной кладки и теплопроводного включения, принимаемые по приложению (23).

Рассматриваемый пример относится к 3 схеме теплопроводного включения и для него, согласно приложения (12) коэффициент

$$\eta = 0,26.$$

Подставляем найденные значения R_0 , R_0^1 и η в формулу (26) и определяем значение температуры на внутренней поверхности ограждения по теплопроводному включению

$$\tau_g = 20 - \left[\frac{1 \cdot (20 + 28)}{(0,63 \cdot 8,7)} \right] \cdot \left[1 + 0,26 \cdot \left(\frac{0,58}{0,54} - 1 \right) \right] = 20 - 10,03 \cdot 1,03 = 12,16^\circ \text{C}.$$

Вывод: Температура на внутренней поверхности стены по теплопроводному включению равна $\tau_g = 12,16^\circ \text{C}$.

Задание 17. Определить достаточность звукоизоляции от воздушного и ударного шума междуэтажного перекрытия без звукоизолирующего слоя. Состав перекрытия приведен в таблице.

Рассчитать индекс приведенного уровня ударного шума под междуэтажным перекрытием, состоящим:

- из несущей железобетонной панели толщиной 140 мм и $\gamma = 2500 \text{ кг/м}^3$;
- звукоизолирующего материала «Пенотерм» (НПЛ-ЛЭ) толщиной 10 мм в необжатом состоянии;
- гипсобетонной панели основания пола $\gamma = 1300 \text{ кг/м}^3$ и толщиной 50 мм;
- линолеума $\gamma = 1100 \text{ кг/м}^3$, толщиной 3 мм.

Полезная нагрузка на перекрытие – 2000 Па.

Определяем поверхностные плотности элементов перекрытия:

- плиты перекрытия:

$$m_1 = \gamma_1 \cdot \delta_1 = 2500 \cdot 0,14 = 350 \text{ кг/м}^2;$$

- конструкции плиты и пола:

$$m_2 = \gamma_2 \cdot \delta_2 + \gamma_3 \cdot \delta_3 = 1300 \cdot 0,05 + 1100 \cdot 0,003 = 68,3 \text{ кг/м}^2.$$

Устанавливаем нагрузку (Р) на звукоизолирующие прокладки с учетом того, что 1 кг/м^2 равен 10 Па:

$$P = 2000 + 68,3 \cdot 10 = 4000 + 683 = 2683 \text{ Па.}$$

Для $m_1 = 350 \text{ кг/м}^2$ согласно приложения (30), находим значение $L_{\text{нво}} = 78$ дБ.

По приложению (28) устанавливаем динамический модуль упругости (E_d) и относительное сжатие (ε_d) звукоизоляционного слоя из звукоизолирующего материала «Пенотерм», которые составляют: $E_d = 6,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и $\varepsilon_d = 0,1$.

По формуле (12) СП 23-103-2003 вычисляем толщину звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии при $\varepsilon_d = 0,1$:

$$d = 0,01(1 - 0,1) = 0,009 \text{ м.}$$

Определяем частоту собственных колебаний пола по формуле (13) СП 23-103-2003 при $E_d = 6,6 \cdot 10^5$ Па:

$$f_0 = 0,16 \sqrt{\frac{E_d}{dm_2}} = 0,16 \sqrt{\frac{6,6 \times 10^5}{0,009 \times 68,3}} = 165 \approx 160 \text{ Гц.}$$

По приложению (27) устанавливаем индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием $L_{nw} = 60$ дБ.

Вывод. Индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием, состоящим: из несущей железобетонной панели толщиной 140 мм, звукоизолирующего материала «Пенотерм» (НПЛ-ЛЭ) толщиной 10 мм, гипсобетонной панели основания пола толщиной 50 мм и линолеума толщиной 3 мм, составляет $L_{nw} = 60$ дБ.

Задание 18. Построить расчетную частотную характеристику изоляции воздушного шума каркасно-обшивной перегородки, состоящей из двух тонких листов по каркасу из тонкостенного металлического профиля, при одинаковой толщине листов:

Строим частотную характеристику звукоизоляции для одного гипсокартонного листа в соответствии с п. 3.5 СП 23-103-03.

Координаты точек В и С определяем по приложению (22):

$$f_B = 19000/14 = 1337 \text{ Гц}; R_B = 34 \text{ дБ.}$$

$$f_C = 38000/14 = 2714 \text{ Гц}; R_C = 28 \text{ дБ.}$$

Округляем частоты f_B и f_C до стандартных в соответствии с табл. 9 СП 23-103-03:

$$f_B = 1250 \text{ Гц}; f_C = 2500 \text{ Гц.}$$

Строим вспомогательную линию ABCD в соответствии с п. 3.6 СП 23-103-03 (см. рис. к примеру2).

Устанавливаем поправку ΔR_1 по приложению (24) в зависимости от величины отношения:

$$m_{\text{общ}}/m_1 = 2 \times 850 \times 0,014/850 \times 0,014 = 2.$$

Согласно приложения (25) для $m_{\text{общ}}/m_1 = 2$ поправка $\Delta R_1 = 4,5$ дБ.

С учетом поправки $\Delta R_1 = 4,5$ дБ строим линию $A_1B_1C_1D_1$, которая на 4,5 дБ выше линии ABCD.

Определяем частоту резонанса по формуле (9) СП 23-103-03 с учетом поверхностной плотности гипсокартонного листа $m = 850 \cdot 0,014 = 11,9$ кг/м² и воздушного зазора между ними $d = 100$ мм;

$$f_p = 60 \sqrt{\frac{m_2 + m_1}{dm_1m_2}} = 60 \sqrt{\frac{11,9 + 11,9}{0,1 \cdot 11,9 \cdot 11,9}} = 77,8 \approx 80 \text{ Гц.}$$

На частоте $f_p = 80$ Гц находим точку F с ординатой на 4 дБ ниже соответствующей ординаты линии $A_1B_1C_1D_1$, т.е. $R_F = 16,5$ дБ.

На частоте $8f_p$ (630 Гц) устанавливаем точку K с ординатой R_K

$$R_K = R_F + H = 16,5 + 26 = 42,5 \text{ дБ.}$$

Значение H находим по приложению (25) в зависимости от толщины воздушного зазора, равного 100 мм: $H = 26$ дБ.

От точки К вправо проводим отрезок KL до частоты $f_B = 1250$ Гц с наклоном 4,5 дБ на октаву. Ордината точки L составляет:

$$R_L = R_K + 4,5 = 42,5 + 4,5 = 47 \text{ дБ.}$$

Из точки L до частоты $1,25 f_B$ (до следующей 1/3-октавной полосы – 1600 Гц) проводим вправо горизонтальный отрезок LM.

На частоте $f_C = 2500$ Гц строим точку N с ординатой R_N :

$$R_N = R_{C1} + \Delta R_2 = 32,5 + 8,5 = 41 \text{ дБ.}$$

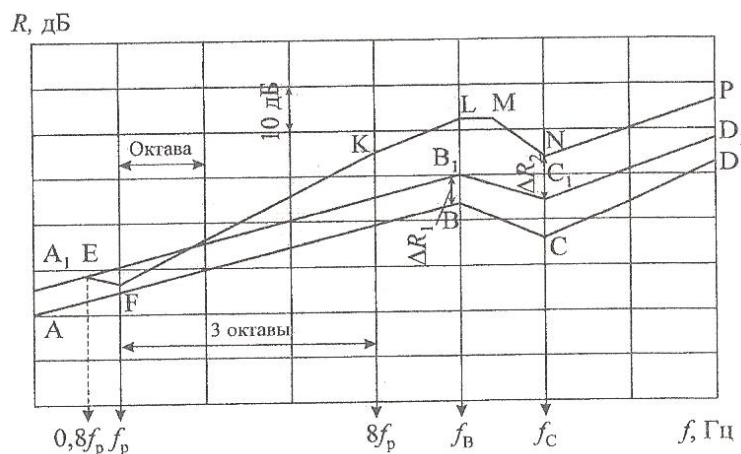


Рис. 3. Расчетные и нормативная частотные характеристики каркасно - обшивной перегородки

От точки N проводим отрезок NP с наклоном 7,5 дБ на октаву.

Полученная ломаная линия $A_1EFKLMNP$ (см. рис. к примеру 3) представляет собой частотную характеристику изоляции воздушного шума гипсокартонной перегородки.

В нормируемом диапазоне частот звукоизоляция воздушного шума перегородкой составляет:

f , Гц	R , дБ	f , Гц	R , дБ	f , Гц	R , дБ	f , Гц	R , дБ
100	19,5	250	31,0	630	42,5	1600	47,0
125	22,5	315	34,0	800	44,0	2000	44,0
160	25,0	400	36,5	1000	45,5	2500	41,0
200	28,0	500	39,5	1250	47,0	3150	43,5

Вывод. Полученная ломаная линия $A_1EFKLMNP$ (см. рис. к примеру 3) представляет собой частотную характеристику изоляции воздушного шума каркасно-обшивной перегородки, выполненной из двух гипсокартонных листов толщиной 14 мм каждый по деревянному каркасу с воздушным промежутком между листами 100 мм.

Задание 19. Рассчитать индекс изоляции воздушного шума (методом построения частотной характеристики) для межкомнатной перегородки при следующем конструктивном решении ее (см. таблицу):

Определить индекс изоляции воздушного шума междуэтажного перекрытия, состоящего из:

- железобетонной плиты плотностью $\gamma = 2500 \text{ кг/м}^3$ и толщиной 100 мм;
- дощатого пола 35 мм на деревянных лагах сечением 100×50 мм с шагом 600 мм;
- звукоизолирующих полосовых прокладок из жестких минераловатных плит плотностью $\gamma = 140 \text{ кг/м}^3$ и толщиной 40 мм в не обжатом состоянии.

Полезная нагрузка на перекрытие составляет 4000 Па.

Определяем поверхностную плотность элементов перекрытия:

- несущей плиты $m_1 = \gamma_1 \cdot \delta_1 = 2500 \times 0,1 = 250 \text{ кг/м}^2$;
- конструкции пола $m_2 = \gamma_2 \cdot \delta_2 = 600 \times 0,035(\text{доски}) + 600 \times 0,05 \times 0,1 \times 2(\text{лаги}) = 27 \text{ кг/м}^2$.

Устанавливаем нагрузку (P) на звукоизолирующие прокладки с учетом того, что 1 кг/м^2 равен 10 Па.

$$P = 4000 + 27 \times 10 = 4270 \text{ Па.}$$

Рассчитываем индекс изоляции воздушного шума R_{wo} для несущей плиты перекрытия по формуле (8) СП 23-103-2003:

$$R_{wo} = 37 \lg m_1 - 43 = 37 \lg 250 - 43 = 45,7 \approx 46 \text{ дБ.}$$

По приложению (28) устанавливаем динамический модуль упругости (E_d) и относительное сжатие (ε_d) звукоизоляционного слоя из жестких минераловатных плит плотностью $\gamma = 140 \text{ кг/м}^3$, которые составляют: $E_d = 8,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и $\varepsilon_d = 0,55$.

Находим толщину звукоизолирующей прокладки в обжатом состоянии по формуле (12) СП 23-103-2003:

$$d = d_0 \cdot (1 - \varepsilon) = 0,04(1 - 0,55) = 0,018 \text{ м.}$$

Определяем частоту резонанса конструкции перекрытия при

$E_d = 8,0 \cdot 10^5$ Па по формуле (11) СП 23-103-03:

$$f_p = 0,16 \sqrt{\frac{E_d(m_2 + m_1)}{dm_1m_2}} = 0,16 \sqrt{\frac{8 \cdot 10^5(250 + 27)}{0,018 \cdot 250 \cdot 27}} = 216 \approx 200 \text{ Гц.}$$

В зависимости от $R_{w0} = 46$ дБ и $f_{p.п} = 200$ Гц по приложению (29) находим индекс изоляции воздушного шума для вышеуказанной конструкции междуэтажного перекрытия, который составляет $R_w = 52$ дБ.

Вывод. Индекс изоляции воздушного шума междуэтажного перекрытия из железобетонной плиты толщиной 100 мм с дощатым полом на деревянных лагах, уложенных по звукоизолирующим полосовым прокладкам из жестких минераловатных плит, составляет $R_w = 52$ дБ.

Задание 20. Определить достаточность нормативной звукоизоляции от воздействия воздушного шума для междуэтажного перекрытия, состоящего из следующих конструктивных элементов (см. таблицу):

Рассчитать индекс приведенного уровня ударного шума под междуэтажным перекрытием, состоящим:

- из несущей железобетонной панели толщиной 140 мм и $\gamma = 2500 \text{ кг/м}^3$;
- звукоизолирующего материала «Пенотерм» (НПЛ-ЛЭ) толщиной 10 мм в необжатом состоянии;
- гипсобетонной панели основания пола $\gamma = 1300 \text{ кг/м}^3$ и толщиной 50 мм;
- линолеума $\gamma = 1100 \text{ кг/м}^3$, толщиной 3 мм.

Полезная нагрузка на перекрытие – 2000 Па.

Определяем поверхностные плотности элементов перекрытия:

– плиты перекрытия:

$$m_1 = \gamma_1 \cdot \delta_1 = 2500 \cdot 0,14 = 350 \text{ кг/м}^2;$$

– конструкции плиты и пола:

$$m_2 = \gamma_2 \cdot \delta_2 + \gamma_3 \cdot \delta_3 = 1300 \cdot 0,05 + 1100 \cdot 0,003 = 68,3 \text{ кг/м}^2.$$

Устанавливаем нагрузку (Р) на звукоизолирующие прокладки с учетом того, что 1 кг/м^2 равен 10 Па:

$$P = 2000 + 68,3 \cdot 10 = 4000 + 683 = 2683 \text{ Па.}$$

Для $m_1 = 350 \text{ кг/м}^2$ согласно приложения (30), находим значение $L_{нво} = 78$ дБ.

По приложению (28) устанавливаем динамический модуль упругости (E_d) и относительное сжатие (ε_d) звукоизоляционного слоя из звукоизолирующего материала «Пенотерм», которые составляют: $E_d = 6,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и $\varepsilon_d = 0,1$.

По формуле (12) СП 23-103-2003 вычисляем толщину звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии при $\varepsilon_d = 0,1$:

$$d = 0,01(1 - 0,1) = 0,009 \text{ м.}$$

Определяем частоту собственных колебаний пола по формуле (13) СП 23-103-2003 при $E_d = 6,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$:

$$f_0 = 0,16 \sqrt{\frac{E_d}{dm_2}} = 0,16 \sqrt{\frac{6,6 \times 10^5}{0,009 \times 68,3}} = 165 \approx 160 \text{ Гц.}$$

По приложению (27) устанавливаем индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием $L_{nw} = 60 \text{ дБ}$.

Вывод. Индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием, состоящим: из несущей железобетонной панели толщиной 140 мм, звукоизолирующего материала «Пенотерм» (НПЛ-ЛЭ) толщиной 10 мм, гипсобетонной панели основания пола толщиной 50 мм и линолеума толщиной 3 мм, составляет $L_{nw} = 60 \text{ дБ}$.

Задание 22. Определить площадь бокового остекления 3-х пролетного цеха по данным, приведенным в таблице. Здание отдельно стоящее.

Оптимальная площадь боковых световых проемов (S_0^δ) при двухстороннем освещении определяется по формуле (4.13) [1]:

$$S_0^\delta = \frac{S_n K_3 e_N \eta_0 K_{зд}}{100 \cdot \tau_0 r_1},$$

где S_n - площадь пола цеха, m^2 ;

K_3 – коэффициент запаса;

e_N нормированное значение КЕО при боковом освещении, принимаемое по табл. 1 согласно СП 52.13330.2011 в зависимости от разряда зрительной работы;

e_N - нормированное значение КЕО при боковом освещении;

η_0 - световая характеристика окон при боковом освещении;

$K_{зд}$ - коэффициент, учитывающий изменения внутренней отраженной составляющей КЕО в помещении при наличии противостоящих зданий;

τ_0 - общий коэффициент светопропускания окон;

r_1 - коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от внутренних поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию.

Площадь пола при двухстороннем расположении световых проемов определяется по формуле:

$$S_n = L \cdot Ш = 36 \cdot 18 = 648 m^2$$

Нормированное значение КЕО (e_N) определяется по формуле

$$e_N = e_H \cdot m_N, \%$$

где e_H - нормативное значение КЕО, принимаемое в зависимости от функционального назначения помещения по табл. 1 СП 52.13330.2011; для работ средней точности $e_H = 1,5\%$;

$$\frac{L_n}{B} = \frac{36}{9} = 4,0;$$

Отношение глубины помещения B к высоте от уровня условной рабочей поверхности (УРП) до верха окна h_1 равняется:

$$\frac{B}{h_1} = \frac{9,0}{9,4} = 0,96.$$

При полученных отношениях световая характеристика окон при боковом освещении согласно приложения (32) составляет $\eta_0 = 6,5$.

Значение коэффициента r_1 находим по приложению (35) в зависимости от следующих параметров: средневзвешенного коэффициента отражения (ρ_{cp}); отношения длины помещения L к его глубине B и отношения глубины помещения B к высоте от уровня условной рабочей поверхности (УРП) до верха окна (h_1).

Средневзвешенный коэффициент отражения (ρ_{cp}) определяется по формуле (4.16) [1]:

$$\rho_{cp} = \frac{\rho_1 s_1 + \rho_2 s_2 + \rho_3 s_3}{s_1 + s_2 + s_3}$$

где ρ_1 , ρ_2 и ρ_3 - коэффициента отражения потолка, стен и пола;

S_1 , S_2 и S_3 – соответственно, площади потолка, стен и пола цеха.

Площади потолка и пола составляют: $S_1 = S_3 = 36 \cdot 18 = 648 \text{ м}^2$; площади боковых стен равняются: $S_2 = 2 \cdot 36 \cdot 10,8 = 777 \text{ м}^2$

Подставляем значения в формулу (4.16) и определяем величину средневзвешенного коэффициента отражения при заданных параметрах коэффициентов отражения потолка, стен и пола: $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,6$, и $\rho_3 = 0,3$:

$$\rho_{cp} = \frac{0,7 \cdot 648 + 0,6 \cdot 777 + 0,3 \cdot 648}{648 + 777 + 648} = 0,53$$

Для отношений $\frac{L_n}{B} = 4,0$; $\frac{B}{h_1} = 0,96$ и $\rho_{cp} = 0,53$ величина

$r_1 = 2,11$ (см. приложение 35).

Коэффициент $K_{зд} = 1$, так как по условию задачи противостоящие здания отсутствуют.

Общий коэффициент светопропускания при боковом освещении τ_o^δ рассчитываем по формуле (4.15) [1]:

$$\tau_o^\delta = \tau_1 \cdot \tau_2 = 0,75 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,6.$$

Необходимая площадь боковых световых проемов составляет, (m^2):

$$S_o^\delta = \frac{648 \cdot 1,3 \cdot 1,5 \cdot 6,5 \cdot 1}{100 \cdot 0,6 \cdot 2,11} = 64,8 \text{ м}^2.$$

Задаемся шириной оконных проемов (3,0 м), их количеством (4 шт.) и определяем высоту остекления из отношения:

$$h_o^\delta = \frac{64,8}{4 \cdot 2 \cdot 3,0} = 2,7 \text{ м}$$

Высоту остекления округляем кратно 0,6 м и окончательно принимаем $h_o^\delta = 3,0 \text{ м}$.

Вывод: для двухстороннего освещения механосборочного цеха высота бокового остекления составляет $h_o^\delta = 3,0 \text{ м}$.

Задание 23. Определить площадь верхнего остекления, отдельно стоящего 3-х пролетного цеха по данным, приведенным в таблице.

Площадь световых проемов при верхнем освещении определяем по формуле (4.14) [1]:

$$S_0^\phi = \frac{S_n^e \cdot e_N^e \cdot \eta_\phi \cdot K_3}{100 \cdot \tau_0 r_2 K_\phi},$$

где S_n^e - площадь пола, принимаемая равной площади помещения за вычетом площади пола, которая использована при определении площади световых проемов при боковом освещении, $S_{\text{п}}$, м²;

e_N^e - нормированное значение КЕО при верхнем естественном освещении;

η_ϕ - световая характеристика фонаря или светового проема в плоскости покрытия;

K_ϕ - коэффициент, учитывающий тип фонаря;

K_3 - коэффициент запаса;

τ_0 - общий коэффициент светопропускания;

r_2 - коэффициент повышения КЕО при верхнем освещении светом, отраженным от внутренних поверхностей помещения.

Определяем площадь пола S_n^e

$$S_{\text{п}} = L \cdot Ш = 36 \cdot 18 = 648 \text{ м}^2$$

Нормированное значение КЕО согласно табл.1 СП 52.13330.2011 для работ средней точности при верхнем освещении $e_N = 4 \%$.

Значение световой характеристики η_ϕ находим по приложению (34) в зависимости от типа фонаря (прямоугольный с вертикальным двусторонним остеклением), количества пролетов (один), отношения длины помещения и ширины пролета ($L_{\text{п}}/A = 36/18 = 2$), и отношения высоты помещения и ширины пролета ($H/A = 10,8/18 = 0,6$). При этих параметрах $\eta_\phi = 6,8$ м.

Значение $K_{\phi} = 1,2$ (см. приложение 37).

Коэффициент запаса по заданию составляет $K_3 = 1,3$.

Величину r_2 устанавливаем по приложению (36) в зависимости от следующих параметров: отношения высоты помещения, принимаемой от условной рабочей поверхности до нижней грани остекления H_{ϕ} , к ширине пролета l_1 ; средневзвешенного коэффициента отражения (ρ_{cp}) и количества пролетов.

При высоте стропильной фермы в коньке – 3,0 м и высоте бортовой плиты фонаря равной 0,6 м, расстояние от уровня рабочей плоскости до низа фонарного остекления H_{ϕ} составляет (см. рис.6):

$$H_{\phi} = (10,8 + 3,0 + 0,6) - 0,8 = 13,6 \text{ м},$$

а отношение $H_{\phi}/l_1 = 10,8 / 18 = 0,6$.

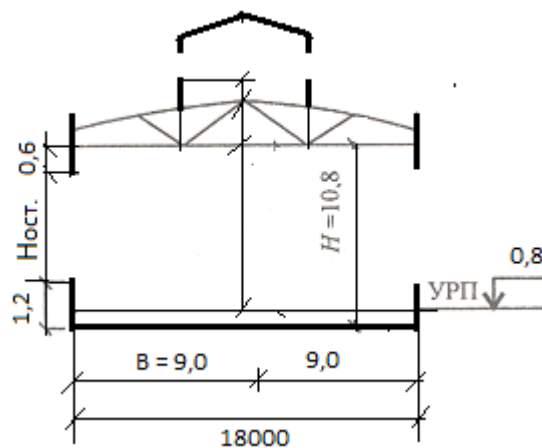


Рис.6. К примеру, расчета естественного освещения механосборочного цеха при верхнем освещении

При верхнем освещении в системе верхнего и бокового освещения ρ_{cp} определяют по формуле (4.16) [1]:

$$\rho_{cp} = \frac{0,5\rho_{II} + \rho_2 s_2 + \rho_3 s_3}{s_1 + s_2 + s_3},$$

где ρ_{II} - коэффициент отражения глухих частей покрытия и фонарей;

ρ_2 и ρ_3 - коэффициента отражения стен и пола;

S_1 , S_2 и S_3 – соответственно, площади потолка, стен и пола цеха.

Площади потолка и пола составляют: $S_1 = S_3 = 36 \cdot 18 = 648 \text{ м}^2$; площади боковых стен равняются: $S_2 = 2 \cdot 36 \cdot 10,8 = 777 \text{ м}^2$

Подставляем значения в формулу (4.16) и определяем величину средневзвешенного коэффициента отражения при заданных параметрах коэффициентов отражения потолка, стен и пола: $\rho_1 = 0,7$, $\rho_2 = 0,6$, и $\rho_3 = 0,3$:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{0,5 \cdot 0,7 \cdot 648 + 0,6 \cdot 777 + 0,3 \cdot 648}{648 + 777 + 648} = 0,42$$

При величине средневзвешенного коэффициента отражения $\rho_{\text{ср}} = 0,42$, отношения $H_{\Phi}/l_1 = 0,6$ и количестве пролетов – один, значение коэффициента r_2 составляет 1,3

Общий коэффициент светопропускания при верхнем освещении определяем по формуле (4.15) [1]:

$$\tau_o^6 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5,$$

где τ_1 - коэффициент светопропускания светопрозрачного материала;

τ_2 - коэффициент, учитывающий потери света в переплетах;

τ_3 - коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях покрытий;

τ_4 - коэффициент, учитывающий световые потери в солнцезащитных устройствах;

τ_5 - коэффициент, учитывающий световые потери в защитной сетке,

устанавливаемой под фонарями, принимаемый равным 0,9;

$$\tau_o^e = 0,6 \cdot 0,75 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,36.$$

Подставляем найденные значения коэффициентов в расчетную формулу и определяем площадь (m^2) световых проемов при верхнем освещении:

$$S_o^e = \frac{648 \cdot 4 \cdot 6,8 \cdot 1,3}{100 \cdot 0,36 \cdot 1,42 \cdot 1,2} = 373,5 m^2.$$

Длина фонарного остекления составляет:

$$l_\phi = 36 - (2 \cdot 6) = 24 \text{ м.}$$

Высоту фонарного остекления определяем из соотношения:

$$h_\phi = \frac{373,5}{24 \cdot 2} = 7,78 \text{ м.}$$

Стандартная высота фонарного остекления составляет: 1,25; 1,5 и 1,75 м. Принимаем высоту фонарного остекления в виде 4-х панелей по 1,75 м.

Вывод: для фонарного освещения механосборочного цеха принимаем 4 ленты остекления высотой 1,75 м каждая.