

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ**

**ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

В этом разделе приведены примеры решения типовых задач по всем частям курса «Строительная теплофизика». Теоретические основы решения задач содержатся в конспекте лекций и в нормативном документе ТКП 45-2.04-43-2006 (02250) Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования.

### Задача №1.

Требуется определить расчетную зимнюю температуру наружного воздуха для нахождения требуемого сопротивления теплопередаче наружной стены жилого дома в г.Минске, конструкция которой включает два бетонных слоя, между которыми расположен утеплитель – пенополиуретан.

Расчетная температура воздуха  $t_b=18^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность внутреннего воздуха  $\phi_b=55\%$ , режим помещения – нормальный, условия эксплуатации ограждающих конструкций – Б.

Тепловую инерцию конструкций наружной стены определим по значению нормативного сопротивления теплопередаче, которое в соответствии с [2, табл. 5.1] составляет  $R_0=3,2\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

Термическое сопротивление бетонных слоев

$$R_1 = \frac{\delta_1 + \delta_2}{\lambda} = \frac{0,07 + 0,05}{2,04} = 0,059 \frac{\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}},$$

где  $\delta_1 = 0,07\text{ м}$ ,  $\delta_2 = 0,05\text{ м}$  – толщины внутреннего и наружного бетонных слоев;

$\lambda = 2,04\text{ Вт}/\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$  – коэффициент теплопроводности железобетона.

Термическое сопротивление слоя утеплителя

$$R_2 = R_0 - \left( \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{1}{\alpha_{н}} + R_1 \right) = 3,2 - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + 0,059 \right) = 2,98 \frac{\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}},$$

где  $\alpha_{в} = 8,7\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ ,  $\alpha_{н} = 23\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$  – коэффициенты теплоотдачи на внутренней и наружной поверхностях.

Тепловая инерция наружной стены

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 = 0,059 \cdot 19,7 + 2,98 \cdot 0,55 = 2,8,$$

где  $S_1 = 19,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ,  $S_2 = 0,55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  – коэффициенты теплоусвоения железобетона и пенополиуретана.

В соответствии с [2, табл. 5.2] при тепловой инерции ограждающей конструкции в пределах  $1,5 \div 4,0$  в качестве расчетной зимней температуры наружного воздуха принимается средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92, которая для г.Минска составляет  $t_{н} = -28^\circ\text{C}$ . [2, табл. 4.3]

Если при расчете сопротивления теплопередаче наружного ограждения его тепловая инерция выйдет из пределов  $1,5 \div 4,0$ , то производится уточнение расчетной зимней температуры наружного воздуха и требуемого сопротивления теплопередаче.

### Задача №2.

Требуется рассчитать сопротивление теплопередаче и толщину слоя утеплителя наружной стены жилого дома при условиях, указанных в задаче №1.

В соответствии с [2, п. 5.1] сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций  $R_t$  жилых зданий следует принимать не менее нормативного сопротивления теплопередаче  $R_{т.норм.}$

Нормативное сопротивление теплопередаче наружной стены  $R_{т.норм.} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  [2, табл. 5.1].

Требуемое сопротивление теплопередаче

$$R_{т.мп} = \frac{n(t_e - t_n)}{\alpha_e \cdot \Delta t_e} = \frac{1(18 + 28)}{8,7 \cdot 6} = 0,88 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}},$$

где  $n=1$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности по отношению к наружному воздуху

$\Delta t_e = 6^\circ\text{C}$  – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности;

$\alpha_e = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  – коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности.

Следовательно, сопротивление теплопередаче наружной стены должно быть равно нормативному, т.е.  $R_t = 3,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

В задаче №1 определено термическое сопротивление слоя утеплителя  $R_2 = 2,98 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , следовательно его толщина  $\delta_{ум} = R_2 \cdot \lambda = 2,98 \cdot 0,041 = 0,12 \text{ м}$ . тепловая инерция наружной стены оста-

ется равной  $D=2,8$  и уточнять расчетную зимнюю температуру наружного воздуха не требуется.

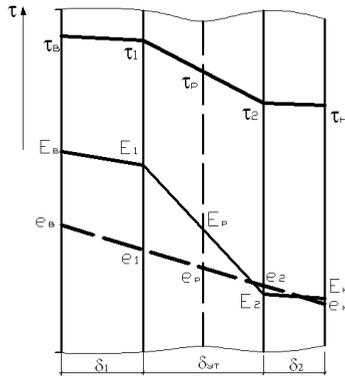
### Задача №3.

Необходимо выполнить для многослойной ограждающей конструкции, рассмотренной в задачах №1,2, тепловлажностный расчет, определить средние значения относительной влажности воздуха для каждого слоя конструкции и провести уточненный расчет сопротивления теплопередаче.

Для проведения такого расчета необходимо знать значения температур, максимальных и действительных уругостей водяного пара влажного воздуха на поверхностях каждого слоя конструкции наружного ограждения.

Значения температур

$$\tau_g = t_g - \frac{t_g - t_{н.ом}}{R_m} \cdot \frac{1}{\alpha_g} = 18 - \frac{18 + 1,6}{3,2} \cdot \frac{1}{8,7} = 17,3^0 C;$$



$$\tau_1 = t_g - \frac{t_g - t_{н.ом}}{R_m} \left( \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) = 18 - \frac{18 + 1,6}{3,2} \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,07}{2,04} \right) = 17,2^0 C;$$

$$\tau_2 = t_g - \frac{t_g - t_{н.ом}}{R_m} \left( \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{ым}}{\lambda_{ым}} \right) = 18 - \frac{18 + 1,6}{3,2} \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,07}{2,04} + \frac{0,09}{0,041} \right) = -0,74^0 C;$$

$$\tau_n = t_e - \frac{t_e - t_{n,om}}{R_m} \left( \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) =$$

$$= 18 - \frac{18 + 1,6}{3,2} \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,07}{2,04} + \frac{0,09}{0,041} + \frac{0,05}{2,04} \right) = -0,9^{\circ}C;$$

Средняя температура в слое утеплителя  $\tau_p = 0,5(16,8 - 0,4) = 8,2^{\circ}C$ .

Максимальные значения парциального давления водяного пара воздуха при этих температурах [2, прил.Е]:  $E_b = 1950 \text{ Па}$ ;  $E_p = 1004 \text{ Па}$ ;  $E_2 = 592 \text{ Па}$ ;  $E_n = 582 \text{ Па}$ .

Действительное значение парциального давления водяного пара внутреннего влажного воздуха

$$e_e = 0,01 \cdot \varphi_e \cdot E_e = 0,01 \cdot 55 \cdot 2064 = 1135 \text{ Па}.$$

Действительное значение парциального давления водяного пара наружного воздуха

$$e_n = 0,01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0,01 \cdot 85 \cdot 535 = 455 \text{ Па}.$$

Для нахождения действительных значений парциального давления водяного пара в слоях ограждения определим значение

$$\beta = tg\alpha = \frac{e_e - e_n}{\delta_1 + \delta_{ym} + \delta_2} = \frac{1135 - 455}{0,07 + 0,12 + 0,05} = 3238 \text{ Па / м}.$$

Действительны парциальны давления:

$$e_e - e_1 = \beta \cdot \delta_1, \text{ отсюда } e_1 = e_e - \beta \cdot \delta_1 = 1135 - 3238 \cdot 0,07 = 908 \text{ Па},$$

$$e_e - e_p = \beta \cdot (\delta_1 + 0,5 \cdot \delta_{ym}), \text{ отсюда}$$

$$e_p = e_e - \beta \cdot (\delta_1 + 0,5 \cdot \delta_{ym}) = 1135 - 3238(0,07 + 0,5 \cdot 0,12) = 763 \text{ Па};$$

$$e_e - e_2 = \beta \cdot (\delta_1 + \delta_{ym}), \text{ отсюда}$$

$$e_2 = e_e - \beta \cdot (\delta_1 + \delta_{ym}) = 1135 - 3238(0,07 + 0,12) = 617 \text{ Па}.$$

Относительные влажности воздуха:

$$\varphi_e = 55\%; \quad \varphi_1 = \frac{e_1}{E_1} \cdot 100 = \frac{908}{1780} \cdot 100 = 51\%;$$

$$\varphi_p = \frac{e_p}{E_p} \cdot 100 = \frac{763}{1004} \cdot 100 = 76\%; \quad \varphi_2 = \frac{e_2}{E_2} \cdot 100 = \frac{617}{592} \cdot 100 = 100\%;$$

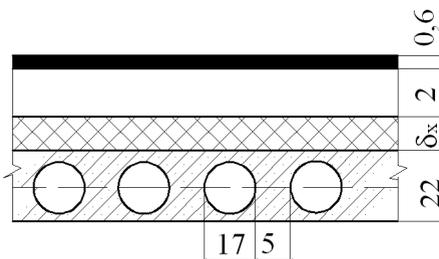
$$\varphi_n = 85\%.$$

Средние значения относительной влажности воздуха в слоях конструкции:

- первый слой  $\delta_1 = 0,07 м$ ,  $\varphi_{cp1} = \frac{55+51}{2} = 53\%$ ;
- второй слой  $\delta_{ym} = 0,09 м$ ,  $\varphi_{cp2} = \frac{51+76+100}{3} = 76\%$ ;
- третий слой  $\delta_2 = 0,05 м$ ,  $\varphi_{cp3} = \frac{100+85}{2} = 93\%$ .

Поскольку среднее значение относительной влажности первого слоя конструкции наружной стены менее 75%, то в соответствии с [2, п.5.14] необходимо выполнить уточненный расчет сопротивления теплопередаче ограждения, приняв условия эксплуатации А материала слоя, т.е. для железобетона коэффициент теплопроводности  $\lambda_1 = 1,92 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$  и уточненное термическое сопротивление теплопроводности первого слоя станет равным  $R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,07}{1,92} = 0,036 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$ , что на  $0,002 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  больше. Следовательно, толщина утеплителя должна быть уменьшена на величину  $\Delta\delta = 0,002 \cdot 0,041 = 0,0008 \text{ м} \approx 1 \text{ см}$ .

#### Задача №4.



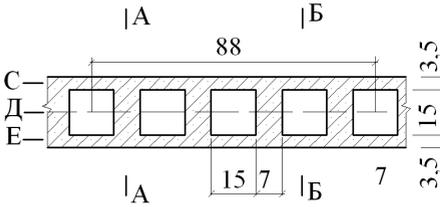
Размеры даны в см.

Требуется рассчитать сопротивление теплопередаче и толщину слоя утеплителя совмещенного покрытия, конструкция которого показана на рисунке. Совмещенное покрытие состоит из железобетонной плиты с пустотными отверстиями, слоя утеплителя – пенополиуретан, слоя цементно-песчаного раствора и слой рубероида.

Конструкция совмещенного покрытия является неоднородной, поскольку в слое железобетона однородность в параллельном и перпендику-

лярном направлениях движения теплового потока нарушена пустотными отверстиями.

В соответствии с [2, п. 5.11] термическое сопротивление железобетонной плиты вычислим отдельно для слоев параллельных и перпендикулярных направлению движения теплового потока. Для упрощения расчетов круглые отверстия в плите заменим равновеликими по площади квадратами со стороной  $l = \sqrt{\pi \cdot r^2} = \sqrt{3,14 \cdot 8,5^2} = 15 \text{ см}$ .



**А.** Термическое сопротивление  $R_A$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , в направлении параллельном движению теплового потока, вычислим для двух характерных сечений (А-А и Б-Б). В сечении А-А

слой бетона толщиной  $\delta_{AA} = 0,22 \text{ м}$  с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 2,04 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$  и его термическое сопротивление  $R_{AA} = \frac{0,22}{2,04} = 0,108 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ ; площадь этого участка

конструкции шириной в 1 м  $F_{AA} = 1 \cdot 0,07 \cdot 4 = 0,28 \text{ м}^2$ . В сечении Б-Б слой бетона  $\delta_{BB}^B = 2 \cdot 0,035 = 0,07 \text{ м}$  с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 2,04 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$  и термическим сопротивлением

$R_{BB}^B = \frac{0,07}{2,04} = 0,034 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ ; кроме того в этом сечении есть воздушная прослойка толщиной  $\delta_{BB}^{г.н.} = 0,15 \text{ м}$  с термическим сопротивлением

$R_{BB}^{г.н.} = 0,15 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$  [2, прил. Б]. Поэтому общее сопротивление конструкции

в сечении Б-Б  $R_{B-B} = R_{B-B}^B + R_{B-B}^{г.н.} = 0,034 + 0,15 = 0,184 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$ ; площадь этого участка  $F_{B-B} = 1 \cdot 4 \cdot 0,15 = 0,6 \text{ м}^2$ .

Следовательно, термическое сопротивление

$$R_A = \frac{\frac{F_{AA} + F_{BB}}{R_{AA}} + \frac{F_{BB}}{R_{BB}}}{\frac{0,28}{0,108} + \frac{0,6}{0,184}} = \frac{0,28 + 0,6}{0,28 + 0,6} = 0,15 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

**Б.** Термическое сопротивление  $R_B$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , в направлении перпендикулярном движению теплового потока вычислим для характерных сечений

(С-С, Д-Д, Е-Е). В сечении С-С и Е-Е слой бетона  $\delta_{CC} = \delta_{EE} = 0,035\text{ м}$  с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 2,04\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$  и термическое сопротивление  $R_{CC} = R_{EE} = \frac{0,035}{2,04} = 0,017 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{С}}{\text{Вт}}$ . В сечении Д-Д слой бетона толщиной  $\delta_{DD}^B = 0,15\text{ м}$ , с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 2,04\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$  и его термическое сопротивление  $R_{DD}^B = \frac{0,15}{2,04} = 0,07 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{С}}{\text{Вт}}$ ; площадь этого участка  $F_{DD}^B = 1 \cdot 0,07 \cdot 4 = 0,28\text{ м}^2$ . Кроме того, в сечении Д-Д имеются воздушные прослойки толщиной  $\delta_{DD}^{в.п.} = 0,15\text{ м}$  с термическим сопротивлением  $R_{DD}^{в.п.} = 0,15 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{С}}{\text{Вт}}$  и площадью поверхности  $F_{DD}^{в.п.} = 1 \cdot 0,15 \cdot 4 = 0,6\text{ м}^2$ . Поскольку слой конструкции в сечении Д-Д неоднородный, то его термическое сопротивление равно

$$R_{DD} = \frac{F_{DD}^B + F_{DD}^{в.п.}}{\frac{F_{DD}^B}{R_{DD}^B} + \frac{F_{DD}^{в.п.}}{R_{DD}^{в.п.}}} = \frac{0,28 + 0,6}{\frac{0,28}{0,07} + \frac{0,6}{0,15}} = 0,113 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{С}}{\text{Вт}}.$$

Следовательно, термическое сопротивление

$$R_B = R_{CC} + R_{DD} + R_{EE} = 0,017 + 0,113 + 0,017 = 0,147 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{С}}{\text{Вт}}.$$

Поскольку термическое сопротивление  $R_A$  не превышает  $R_B$  более чем на 25%, то термическое сопротивление бетонной плиты определим по формуле [2, ф. 5.9]

$$R_{\kappa} = \frac{R_A + 3R_B}{3} = \frac{0,15 + 2 \cdot 0,147}{3} = 0,148 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{С}}{\text{Вт}}.$$

Нормативное термическое сопротивление совмещенного покрытия [2, табл.5.1]  $R_{т.норм.} = 6,0 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{С}}{\text{Вт}}$ . Следовательно, толщина утеплителя в конструкции совмещенного покрытия

$$\begin{aligned} \delta_{ут} &= \lambda_{ут} \left( R_{т.норм.} - \frac{1}{\alpha_в} - \frac{1}{\alpha_n} - R_{\kappa} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) = \\ &= 0,041 \cdot \left( 6 - \frac{1}{8,7} - \frac{1}{23} - 0,148 - \frac{0,02}{0,93} - \frac{0,006}{0,17} \right) = 0,23\text{ м}. \end{aligned}$$

здесь  $\delta_1=0,02\text{м}$ ;  $\delta_2=0,006\text{м}$ – толщины слоев цементно-песчаного раствора и рубероида;

$\lambda_1=0,93$ ;  $\lambda_2=0,17\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$  – их коэффициенты теплопроводности.

### Задача №5.

Необходимо рассчитать теплоустойчивость углового помещения последнего этажа жилого здания с поквартирным водяным отоплением периодического действия.

Характеристики помещения: длина  $L=8\text{м}$ ; ширина  $B=5\text{м}$ ; высота  $H=3\text{м}$ ; площадь световых проемов 30%; наружные стены – трехслойные панели КПД толщиной 210мм с утеплителем из пенополиуретана толщиной 90мм; внутренний слой – из тяжелого бетона толщиной 70мм; наружный– из тяжелого бетона толщиной 50мм; сопротивление теплопередаче –  $3,2\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

Оконное заполнение – двойное остекление в деревянных отдельных переплетах; сопротивление теплопередаче –  $0,6\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ . Внутренние стены – панели из тяжелого бетона толщиной 120мм.

Междуэтажное перекрытие – керамзитобетонная плита толщиной 160мм с покрытием из паркетной доски толщиной 15мм.

Совмещенной покрытие– железобетонная плита с пустотными отверстиями толщиной 22см (термическое сопротивление –  $0,148\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ; слой утеплителя – пенополиуретан толщиной 23см; слой цементно-песчаного раствора толщиной 2см и слой рубероида 0,6см. Сопротивление теплопередаче совмещенного покрытия –  $6,0\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

Площади внутренних поверхностей:

- совмещенное покрытие  $F^{c.n.} = 40\text{ м}^2$ ; – пол  $F^{\text{п}} = 40\text{ м}^2$ ;
- внутренние стены  $F^{\text{в.с.}} = 39\text{ м}^2$ ; – световых проемов  $F^{\text{св.пр}} = 11,7\text{ м}^2$ ;
- наружных стен  $F^{\text{н.с.}} = 27,3\text{ м}^2$ .

Теплопотери помещения

$$Q = Q^{c.n.} + Q^{\text{н.с.}} + Q^{\text{св.пр}} = \left( \frac{F^{c.n.}}{R_{c.n.}} + \frac{F^{\text{н.с.}}}{R_{\text{н.с.}}} + \frac{F^{\text{св.пр}}}{R_{\text{св.пр}}} \right) \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot (1 + \beta) =$$

$$= \left( \frac{40}{6} + \frac{27,3}{3,2} + \frac{11,7}{0,6} \right) \cdot (18 + 28) \cdot (1 + 0,13) = 1700\text{Вт},$$

где  $\beta=0,13$  – добавочные потери теплоты при типовом проектировании угловых помещений.

Определим коэффициенты теплоусвоения и теплопоглощения внутренних поверхностей ограждающих конструкций.

Совмещенной покрытие.

Тепловая инерция первого слоя конструкции  
 $D_1 = R_1 \cdot S_1 = 0,148 \cdot 19,7 = 2,92$ .

Поскольку для первого слоя конструкции  $D > 1$ , то коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности совмещенного покрытия равен коэффициенту теплоусвоения материала первого слоя – железобетона

$$Y_{c.n.} = S_1 = 19,7 \text{ Bm} / (\text{M}^2 \cdot ^\circ \text{C})..$$

Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности совмещенного покрытия

$$B_{c.n.} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{Y_{c.n.}}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{1}{19,7}} = 6,02 \frac{\text{Bm}}{\text{M}^2 \cdot ^\circ \text{C}}.$$

Внутренние стены.

Коэффициент теплоусвоения поверхности внутренних стен определим по формуле для однородных конструкций

$$Y_{в.с.} = 0,5 \cdot R_m \cdot S^2 = 0,5 \cdot \frac{0,12}{1,86} \cdot 17,88^2 = 10,31 \frac{\text{Bm}}{\text{M}^2 \cdot ^\circ \text{C}}.$$

Коэффициент теплоусвоения поверхностей внутренних стен

$$B_{в.с.} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{Y_{в.с.}}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{1}{10,31}} = 4,72 \frac{\text{Bm}}{\text{M}^2 \cdot ^\circ \text{C}}.$$

Наружные стены.

Тепловая инерция первого слоя конструкции

$$D_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} S_1 = \frac{0,07}{2,04} \cdot 19,7 = 0,676 < 1.$$

Тепловая инерция первого и второго слоев

$$D_1 + D_2 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} S_1 + \frac{\delta_{ym}}{\lambda_{ym}} S_{ym} = 0,676 + \frac{0,08}{0,041} \cdot 0,55 = 1,75 > 1.$$

Коэффициент теплоусвоения поверхности наружных стен

$$Y_{н.с.} = \frac{R_1 S_1^2 + S_2}{1 + R_1 S_2} = \frac{0,034 \cdot 19,7^2 + 0,55}{1 + 0,034 \cdot 0,55} = 13,47 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C}.$$

Коэффициент теплопоглощения поверхности наружных стен

$$B_{н.с.} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_в} + \frac{1}{Y_{н.с.}}} = \frac{1}{8,7 + 13,47} = 5,29 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C}.$$

Заполнение световых проемов.

Коэффициент теплопоглощения

$$B_{св.пр} = \frac{1}{1,08 \cdot R} = \frac{1}{1,08 \cdot 0,6} = 1,54 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C}.$$

Междуэтажное перекрытие.

Междуэтажное перекрытие является несимметричной многослойной конструкцией, поэтому необходимо определить положение условной середины ее, находящейся в плоскости, для которой показатель тепловой инерции равен половине тепловой инерции всей конструкции.

Тепловая инерция междуэтажного перекрытия

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} S_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} S_2 = \frac{0,015}{0,18} \cdot 4,54 + \frac{0,16}{0,79} 10,77 = 2,56.$$

Условная середина междуэтажного перекрытия будет находиться в слое керамзитобетона на расстоянии от потолка ниже расположенного помещения, для которого тепловая инерция  $D = 0,5 \cdot 2,56 = 1,28$ , т.е.

$$\delta = \frac{D \cdot \lambda}{S} = \frac{1,28 \cdot 0,79}{10,77} = 0,094 м.$$

Коэффициент теплоусвоения верхней поверхности керамзитобетонной плиты

$$Y_{к.п.} = \frac{R_1 S_1^2 + S_2}{1 + R_1 S_2} = \frac{0,16 - 0,094}{0,79} \cdot 10,77^2 + 0}{1 + \frac{0,16 - 0,094}{0,79} \cdot 0} = 9,69 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C}.$$

Коэффициент теплоусвоения поверхности пола

$$Y_n = \frac{R_1 S_1^2 + Y_{\kappa.n.}}{1 + R_1 Y_{\kappa.n.}} = \frac{0,015 \cdot 4,54^2 + 9,69}{1 + \frac{0,015}{0,18} \cdot 9,69} = 6,3 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Коэффициент теплопоглощения поверхности пола

$$B_n = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{1}{6,3}} = 3,65 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Приняв значение коэффициента неравномерности теплоотдачи системы отопления  $m=1,5$  [2, табл. 6.1], определим амплитуду колебаний температуры внутреннего воздуха помещения

$$A_\theta = \frac{0,7 \cdot Q \cdot m}{B_{c.n.} \cdot F_{c.n.} + B_{\theta.c.} \cdot F_{\theta.c.} + B_{n.c.} \cdot F_{n.c.} + B_{cв.нр} \cdot F_{cв.нр} + B_n \cdot F_n} =$$

$$= \frac{0,7 \cdot 1700 \cdot 1,5}{40 \cdot 6,02 + 39 \cdot 4,72 + 27,3 \cdot 5,29 + 11,7 \cdot 2,2 + 40 \cdot 3,65} = 2,34^\circ C.$$

Следовательно, помещение удовлетворяет условию теплоустойчивости, т.к. амплитуда колебаний температуры внутреннего воздуха не превышает  $3^\circ C$ .

Минимальная температура внутренней поверхности наружной стены

$$t_{\theta.min}^{n.c.} = t_\theta - \frac{\left( \frac{1}{\alpha_\theta} + \frac{m}{Y_{n.c.}} \right) (t_\theta - t_n)}{R_{n.c.}} = 18 - \frac{\left( \frac{1}{8,7} + \frac{1,5}{13,47} \right) (18 + 28)}{3,2} = 14,7^\circ C.$$

Минимальная температура внутренней поверхности совмещенного покрытия

$$t_{\theta.min}^{c.n.} = t_\theta - \frac{\left( \frac{1}{\alpha_\theta} + \frac{m}{Y_{c.n.}} \right) (t_\theta - t_n)}{R_{c.n.}} = 18 - \frac{\left( \frac{1}{8,7} + \frac{1,5}{19,7} \right) (18 + 28)}{6,0} = 16,5^\circ C.$$

Полученные значения минимальных температур внутренних поверхностей наружных ограждений выше температуры точки росы, которая при  $t_b = 18^{\circ}\text{C}$  и  $\phi_b = 55\%$  равна  $t_p = 8,8^{\circ}\text{C}$ .

### Задача №6.

Требуется определить сопротивление воздухопроницанию светового проема помещения жилого дома в г.Минске.

Расчетные температуры: внутреннего воздуха  $t_b = 18^{\circ}\text{C}$ , наружного воздуха  $t_n = -24^{\circ}\text{C}$  [2, табл. 4.3]; максимальная из средних скоростей ветра по румбам в январе  $v_{cp} = 4,0\text{ м/с}$  [2, табл. 4.5];  $C_n = 0,8$ ;  $C_n = -0,4$  – аэродинамические коэффициенты наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания;  $K_i = 0,85$  – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра;  $H = 17\text{ м}$  – высота здания от поверхности земли до верха карниза.

Удельный вес для наружного и внутреннего воздуха

$$\gamma_n = \frac{3463}{273 - 24} = 13,9 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}; \quad \gamma_b = \frac{3463}{273 + 18} = 11,9 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}.$$

Плотность наружного воздуха

$$\rho_n = \frac{\gamma_n}{9,81} = \frac{13,9}{9,81} = 1,42 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Расчетная разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхности окна

$$\begin{aligned} \Delta p &= H(\gamma_n - \gamma_b) + 0,5 \cdot \rho_n \cdot v_{cp}^2 (C_n - C_n) \cdot K_i = 17(13,9 - 11,9) + \\ &+ 0,5 \cdot 1,42 \cdot 4^2 (0,8 + 0,4) \cdot 0,85 = 45,6 \text{ кПа}. \end{aligned}$$

Требуемое сопротивление воздухопроницанию окна определим, приняв нормативную воздухопроницаемость окна  $G_{норм} = 10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  [2, табл. 8.1]

$$R_{e,mp} = \frac{0,216 \cdot \Delta p^{2/3}}{G_{норм}} = \frac{0,216 \cdot 45,6^{0,67}}{10} = 0,28 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}.$$

По [2, прил. Д] находим, что указанным условиям удовлетворяет заполнение светового проема – двойное остекление в отдельных переплетах с уплотнением из пенополиуретана.

### Задача №7.

Необходимо определить сопротивление паропрооницанию наружной стены жилого здания при условиях, указанных в задачах №1,2.

В соответствии с [2,п.9.2] плоскость возможной конденсации в многослойной конструкции совпадает с поверхностью теплоизоляционного слоя, ближайшей к наружной поверхности ограждения.

Температура в плоскости возможной конденсации

$$t_k = t_g - \frac{t_g - t_{н.от}}{R^{н.с.}} \left( \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) = 18 - \frac{18 + 1,6}{3,2} \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,07}{2,04} + \frac{0,12}{0,041} \right) = -0,74^{\circ}C$$

Максимальное парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации [2, прил. Е]  $E_k = 583 \text{ Па}$ .

Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха  $e_b = 0,01 \cdot \phi_b \cdot E_b = 0,01 \cdot 55 \cdot 2064 = 1135 \text{ Па}$ .

Парциальное давление водяного пара наружного воздуха при средней температуре за отопительный период

$$e_{н.от} = 0,01 \cdot \phi_{н.от} \cdot E_{н.от} = 0,01 \cdot 85 \cdot 538 = 457 \text{ Па}.$$

Сопротивление паропрооницанию в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности

$$R_{н.н.} = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0,05}{0,03} = 1,67 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{м}^2}.$$

Требуемое сопротивление паропрооницанию

$$R_{н.тп} = R_{н.н.} \cdot \frac{e_b - E_k}{E_k - e_{н.от}} = 1,67 \cdot \frac{1135 - 583}{583 - 457} = 7,3 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{м}^2}.$$

Сопротивление паропрооницанию в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации

$$R_n = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_{ym}}{\mu_{ym}} = \frac{0,07}{0,03} + \frac{0,12}{0,05} = 4,73 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{м}^2}.$$

Данная конструкция не отвечает требованиям [2] по сопротивлению паропрооницанию, т.к.  $R_n < R_{н.тп}$ , поэтому необходимо предусмотреть паро-

изоляцию с сопротивлением паропрооницанию  $R_{п.из} \geq (R_{п.тр} - R_{п})$ , т.е.

$$R_{п.из} \geq (7,3 - 4,73) \geq 2,57 \frac{м^2 \cdot ч \cdot Па}{м^2}.$$

В качестве слоя пароизоляции можно использовать полиэтиленовую пленку ( $\delta=0,16м$ ;  $R_{п}=7,3 м^2 \cdot ч \cdot Па/м^2$ ), которую необходимо разместить между внутренним бетонным слоем и теплоизоляционным слоем .