

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ПРАКТИЧЕСКИМ  
ЗАНЯТИЯМ**

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

### 14 часов

**Практическое занятие № 1.** Формирование микроклимата помещений (семинар). Теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций (Пример № 1, 2, 3).

**Практическое занятие № 2.** Выбор организации воздухообмена в зальных помещениях общественных зданий, в помещениях промышленных предприятий (семинар).

**Практическое занятие № 3.** Расчет теплового баланса и воздухообменов в теплый и холодный периоды года для зальных помещений. Конструирование и расчет системы отопления зрительного зала (Пример № 4,5).

**Практическое занятие № 4.** Конструирование и расчет системы вентиляции и кондиционирования зрительного зала. Подбор оборудования систем вентиляции и кондиционирования, определение размеров сечения воздухопроводов, вентиляционных решеток, шумоглушителей (Пример № 6).

**Практическое занятие № 5.** Тепловой баланс жилого дома в зимний период года. Расчет основных и добавочных теплопотерь через ограждения помещения. Расчет потерь теплоты на нагревание инфильтрующегося через наружные ограждения воздуха. Расчет тепловыделений в помещении. Расчет теплового баланса помещения (Пример № 7).

**Практическое занятие № 6.** Определение установочной тепловой мощности отопительных приборов и системы отопления. Конструирование системы водяного отопления. Расчет температуры и количества элементов отопительных приборов однотрубной системы водяного отопления. Расчет температуры и количества элементов отопительных приборов двухтрубной системы водяного отопления (Пример № 8).

**Практическое занятие № 7.** Проектирование энергоэффективных фасадов и планировочной структуры здания с помощью некоторых принципов биоклиматической и солнечной архитектуры. Формирование мусороудаления и ливневой канализации в многоэтажном жилом доме (семинар).

### Пример №1

Определить толщину утеплителя (маты минераловатные  $\rho=125 \text{ кг/м}^3$ ) и сопротивление теплопередаче наружной стены из кирпича силикатного  $\rho=2000 \text{ кг/м}^3$  здания, расположенного в г. Полоцк (рис. 1).

**Решение:** Термическое сопротивление слоя многослойной конструкции  $R_i$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ , определяется по формуле

$$R_i = d_i / I_i, \quad (1)$$

где  $d_i$  – толщина слоя, м;

$I_i$  – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции,  $\text{Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ .

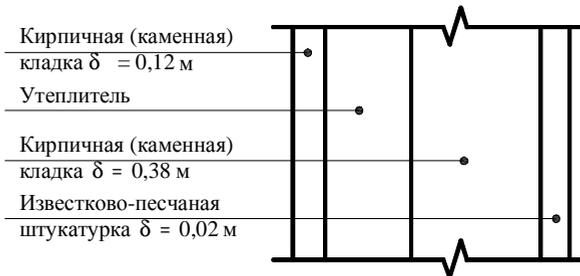


Рис.1. Конструкция наружной стены из ступенчатых материалов

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ , определяется по формуле:

$$R = \frac{1}{\alpha_g} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (2)$$

где  $R_1, R_2, R_3, R_4$  – термические сопротивления отдельных слоев наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;

$\alpha_g$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ;

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий,  $\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ .

По приложению А [12] по параметрам Б [12, табл. 4.2], принимаем значения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·°С), и теплоусвоения  $s$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), для каждого слоя наружной стены (таблица 1).

Таблица 1

**Значения коэффициентов теплопроводности и теплоусвоения для каждого слоя конструкции наружной стены**

№ п/п	Материал слоя	$\lambda$ , Вт/(м·°С)	$s$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1	2	3	4
1	Кирпич силикатный $\rho=2000$ кг/м <sup>3</sup>	1,63	12,13
2	Маты минераловатные $\rho=125$ кг/м <sup>3</sup>	0,051	0,66
3	Известково-песчаная штукатурка	0,81	9,76

Принимаем по [12, табл.5.4] коэффициент теплопроводности внутренней поверхности  $\alpha_g = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С), [12, табл. 5,7] коэффициент теплопроводности наружной поверхности наружной стены  $\alpha_n = 23$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Нормативное сопротивление теплопередаче наружной стены из штучных материалов принимаем равным  $R_{T,норм}^{н.с.} = 3,2$  (м<sup>2</sup>·°С)/Вт, [12, табл. 5.1].

Расчетное сопротивление теплопередаче наружной стены, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт, определяется по формуле

$$R_{T,расч}^{н.с.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{1,63} + \frac{x}{0,051} + \frac{0,38}{1,63} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23}.$$

Приравняем данное выражение к нормативному сопротивлению теплопередаче и выразим толщину утеплителя.

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{1,63} + \frac{x}{0,051} + \frac{0,38}{1,63} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23} = 3,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}; \quad x = 0,138 \text{ м.}$$

Для расчета принимаем толщину утеплителя равной 0,15 м (округленную в большую сторону с точностью до 0,05 м.).

Определим расчетное сопротивление теплопередаче наружной стены

$$R_{T,расч}^{м.с.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{1,63} + \frac{0,15}{0,051} + \frac{0,38}{1,63} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23} = 3,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Тепловая инерция ограждения  $D$  определяется по формуле

$$D = \sum R_i \cdot S_i = \sum \frac{d_i}{I_i} \cdot S_i, \quad (3)$$

где  $R_1, R_2, R_3, R_4$  – термические сопротивления отдельных слоев конструкции наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;

$s_1, s_2, s_3, s_4$  – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Тепловую инерцию наружной стены  $D$ , определим по формуле

$$D = \frac{0,12}{1,63} \cdot 12,13 + \frac{0,15}{0,051} \cdot 0,66 + \frac{0,38}{1,63} \cdot 12,13 + \frac{0,02}{0,81} \cdot 9,76 = 5,9.$$

Так как  $D = 5,9$  входит в предел от 4 до 7, [12, табл. 5.2], следовательно, принимаем температуру наружного воздуха равной средней температуре наиболее холодных трех суток обеспеченностью 0,92 (среднее арифметическое между температурой наиболее холодных суток и температурой наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92).

$$\text{Для г. Полоцк } t_n = \frac{-30 + (-25)}{2} = -27,5 \text{ °C}.$$

Полученное значение сопротивления теплопередаче  $R$  ограждающей конструкции должно быть не менее требуемого сопротивления  $R^{mp}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ , определяемого по формуле

$$R^{mp} = \frac{n(t_e - t_n)}{\alpha_e \Delta t_e}, \quad (4)$$

где  $t_e$  – расчетная температура внутреннего воздуха,  $\text{°C}$ ;

$t_n$  – расчетная зимняя температура наружного воздуха,  $\text{°C}$ ;

$n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху;

$\alpha_g$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$\Delta t_g$  – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С.

Коэффициент  $n$ , учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, для наружной стены, принимается равным 1, [12, табл. 5.3].

Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_g = 18$  °С, [12, табл. 4.1].

Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности,  $\Delta t_g$ , °С, в соответствии с [12, табл. 5.5] принимаем для наружной стены равным 6.

Требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены из штучных материалов, определим по формуле

$$R_{T,гр}^{н.с.} = \frac{1 \cdot (18 - (-27,5))}{8,7 \cdot 6} = 0,87 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Согласно [12, пункт 5.1], должно выполняться следующее условие:

$$R_{T,гр}^{н.с.} \leq R_{T,норм}^{н.с.} \leq R_{T,расч}^{н.с.}, \quad (5)$$

$$0,87 < 3,2 < 3,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

Следовательно, для составления теплового баланса, термическое сопротивление наружной стены принимаем  $R_T^{н.с.} = 3,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ . Толщина конструкции наружной стены составит 670 мм.

## Пример № 2

Определить толщину утеплителя (плиты полистирольные  $\rho = 50 \text{ кг/м}^3$ ) и сопротивление теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом здания, расположенного в г. Полоцк (рис. 2).

**Решение:** По приложению А [12] по параметрам А [12, табл. 4.2], принимаем значения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·°С) и теп-

лоусвоения  $S$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С) для каждого слоя перекрытия над неотапливаемым подвалом (таблица 2).

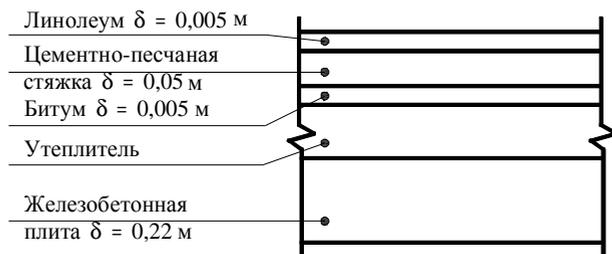


Рис.2. Конструкция перекрытия над неотапливаемым подвалом

Таблица 2

**Значения коэффициентов теплопроводности и теплоусвоения для каждого слоя конструкции перекрытия над неотапливаемым подвалом**

№ п/п	Материал слоя	$\lambda$ , Вт/(м·°С)	$S$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1	2	3	4
1	Линолеум	0,38	8,56
2	Цементно-песчаная стяжка	0,76	9,6
3	Битум	0,27	6,8
4	Плиты полистирольные $\rho=50$ кг/м <sup>3</sup>	0,043	0,46
5	Железобетонная плита	1,92	17,98

Принимаем по [12, табл.5.4] коэффициент теплопроводности внутренней поверхности  $\alpha_g = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С), [12, табл. 5,7] коэффициент теплопроводности наружной поверхности перекрытия над неотапливаемым подвалом  $\alpha_n = 12$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Нормативное сопротивление перекрытия над неотапливаемым подвалом принимаем равным  $R_{T,норм}^{пов.} = 2,5$  (м<sup>2</sup>·°С)/Вт, [12, табл. 5.1].

Расчетное сопротивление теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом, м<sup>2</sup>·°С/Вт, определяется по формуле

$$R_{T,расч}^{н.н.} = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{d_1}{l_1} + \frac{d_2}{l_2} + \frac{d_3}{l_3} + \frac{x}{l_4} + \frac{d_5}{l_5} + \frac{1}{\alpha_n}. \quad (6)$$

Приравняем данное выражение к нормативному сопротивлению теплопередаче и выразим толщину утеплителя.

$$2,5 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,38} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,005}{0,27} + \frac{x}{0,043} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{12}, \quad x = 0,089 \text{ м.}$$

Для расчета принимаем толщину утеплителя равной 0,1 м (округленную в большую сторону с точностью до 0,05 м.).

Определим расчетное сопротивление теплопередаче наружной стены:

$$R_{r, \text{расч}}^{n.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,38} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,005}{0,27} + \frac{0,1}{0,043} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{12} = 2,74 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Выполним расчет тепловой инерции перекрытия над неотапливаемым подвалом по формуле:

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot s_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \cdot s_2 + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \cdot s_3 + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \cdot s_4 + \frac{\delta_5}{\lambda_5} \cdot s_5 = \\ = \frac{0,005}{0,38} \cdot 8,56 + \frac{0,05}{0,76} \cdot 9,6 + \frac{0,005}{0,27} \cdot 6,8 + \frac{0,1}{0,043} \cdot 0,46 + \frac{0,22}{1,92} \cdot 17,98 = 4,01.$$

Т.к. тепловая инерция  $D$  входит в интервал от 4 до 7, [12, табл. 5.2], следовательно, температура наружного воздуха равна средней температуре наиболее холодных трех суток (среднее арифметическое между температурой наиболее холодных суток и температурой наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92).

$$\text{Для г. Полоцк } t_n = \frac{-30 + (-25)}{2} = -27,5 \text{ °C.}$$

Коэффициент  $n$ , учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, для перекрытия над неотапливаемым подвалом со световыми проемами, принимается равным 0,75, [12, табл. 5.3].

Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_g = 18 \text{ °C}$ , [12, табл. 4.1].

Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности,  $\Delta t_g$ , °C, в соответствии с [12, табл. 5.5] принимаем для перекрытия над неотапливаемым подвалом равным 2.

Требуемое сопротивление теплопередаче для перекрытия над неотапливаемым подвалом определим по формуле.

$$R_{T.гр}^{н.п.} = \frac{0,75 \cdot (18 + 27,5)}{8,7 \cdot 2} = 1,96 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Согласно [12, пункт 5.1], должно выполняться следующее условие:

$$R_{T.гр}^{н.п.} \leq R_{T.норм}^{н.п.} \leq R_{T.расч}^{н.п.}, \quad (7)$$

$$1,96 < 2,5 < 2,74 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Следовательно, для составления теплового баланса, термическое сопротивление перекрытия над неотапливаемым подвалом принимаем  $R_T^{н.п.} = 2,74 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$  Толщина конструкции перекрытия над неотапливаемым подвалом составит 380 мм.

### Пример №3

Определить толщину утеплителя (пенополиуретан  $\rho = 80 \text{ кг/м}^3$ ) и сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия здания, расположенного в г. Полоцк (рис.3).

**Решение:** По приложению А [12] по параметрам А [12, табл. 4.2], принимаем значения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·°C) и теплоусвоения  $S$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°C) для каждого слоя чердачного перекрытия (таблица 3).

Таблица 3

**Значения коэффициентов теплопроводности и теплоусвоения для каждого слоя конструкции чердачного перекрытия**

№ п/п	Материал слоя	$\lambda$ , Вт/(м·°C)	$S$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°C)
1	2	3	4
1	Известково-песчаная стяжка	0,76	9,6
2	Пенополиуретан $\rho=80 \text{ кг/м}^3$	0,05	0,67
3	Битум	0,27	6,8
4	Железобетонная плита	1,92	17,96

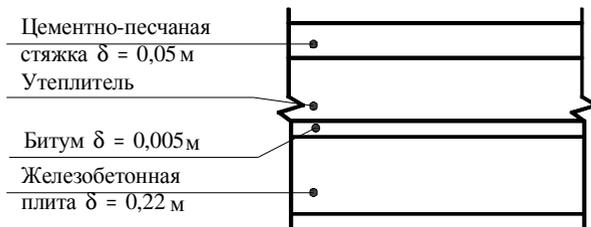


Рис.3 Конструкция чердачного перекрытия

Принимаем по [12, табл.5.4] коэффициент теплопроводности внутренней поверхности  $\alpha_g = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ , [12, табл. 5,7] коэффициент теплопроводности наружной поверхности чердачного перекрытия  $\alpha_n = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ .

Нормативное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия принимаем равным  $R_{T,норм}^{u.n.} = 6,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$ , [12, табл. 5.1].

Расчетное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия,  $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$ , определяется по формуле

$$R_{T,расч}^{u.n.} = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{d_1}{l_1} + \frac{d_2}{l_2} + \frac{d_3}{l_3} + \frac{d_4}{l_4} + \frac{1}{\alpha_n} \quad (8)$$

Приравняем данное выражение к нормативному сопротивлению теплопередаче и выразим толщину утеплителя.

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{x}{0,05} + \frac{0,005}{0,27} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{12} = 6,0; \quad x = 0,28 \text{ м.}$$

Для расчета принимаем толщину утеплителя равной 0,30 м (округленную в большую сторону с точностью до 0,05 м.).

Определим расчетное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия:

$$R_{T,расч}^{u.n.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,30}{0,05} + \frac{0,005}{0,27} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{12} = 6,40 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}.$$

Тепловую инерцию наружной стены  $D$ , определим по формуле:

$$D = \frac{0,05}{0,76} \cdot 9,6 + \frac{0,30}{0,05} \cdot 0,67 + \frac{0,005}{0,27} \cdot 6,8 + \frac{0,22}{1,92} \cdot 17,98 = 6,85.$$

Так как значение  $D = 6,85$  входит в предел от 4 до 7, [12, табл. 5.2], следовательно, принимаем температуру наружного воздуха равной средней температуре наиболее холодных трех суток (среднее арифметическое между температурой наиболее холодных суток и температурой наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92).

$$\text{Для г. Полоцка } t_n = \frac{-30 + (-25)}{2} = -27,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент  $n$ , учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, для чердачного перекрытия, принимается равным 0,9, [12, табл. 5.3]. Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_e = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ , [12, табл. 4.1].

Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности,  $\Delta t_e$ ,  $^\circ\text{C}$ , в соответствии с [12, табл. 5.5] принимаем для чердачного перекрытия равным 4.

Требуемое сопротивление теплопередаче для чердачного перекрытия,  $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , определим по формуле

$$R_{T,тр}^{ч.п.} = \frac{0,9 \cdot (18 + 27,5)}{8,7 \cdot 4} = 1,18 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Согласно [12, пункт 5.1], должно выполняться следующее условие:

$$R_{T,тр}^{ч.п.} \leq R_{T,норм}^{ч.п.} \leq R_{T,расч}^{ч.п.}, \quad (9)$$

$$1,18 < 6,0 < 6,4 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Следовательно, для составления теплового баланса, термическое сопротивление чердачного перекрытия принимаем  $R_T^{ч.п.} = 6,4 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ . Толщина конструкции чердачного перекрытия составит 575 мм.

### Пример №4

Составить тепловой баланс для зального помещения (актовый зал на 90 человек), расположенного в г. Полоцке (рис.4). Высота помещения 6,5 м. Ориентация здания – запад. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций принимаются из теплотехнического расчета: наружной стены  $R = 3,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , чердачного перекрытия  $R = 6,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , а перекрытия над неотапливаемым подвалом -  $R = 2,74 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Мощность осветительных приборов 4кВт.

**Решение:** Потери теплоты  $Q$ , Вт, через отдельную ограждающую конструкцию определяются по формуле

$$Q_{огр} = \frac{F_p}{R} \cdot (t_в - t_n) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n, \quad (10)$$

где  $F_p$  – площадь ограждающей конструкции,  $\text{м}^2$ ;

$R$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;

$t_в$  – температура внутреннего воздуха,  $\text{°C}$ ;

$t_n$  – расчетная температура наружного воздуха, принимаемая равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92,  $\text{°C}$ ;

$\beta$  – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь;

$n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху.

По таблице 2 [5] принимаем температуру внутреннего воздуха для актового зала равной  $t_в = 20 \text{ °C}$ , так как помещение относится к категории 3«а». Для составления теплового баланса принимаем температуру наружного воздуха равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92. Для г. Полоцка  $t_n = -25 \text{ °C}$ .

В актовом зале имеют место потери теплоты через следующие наружные ограждения: наружные стены, световые проемы, пол (перекрытие над неотапливаемым подвалом) и потолок (чердачное перекрытие).

Линейные размеры наружных ограждений определяем по чертежу в соответствии с рекомендациями [15], и заносим их в гр.5 таблицы 4.

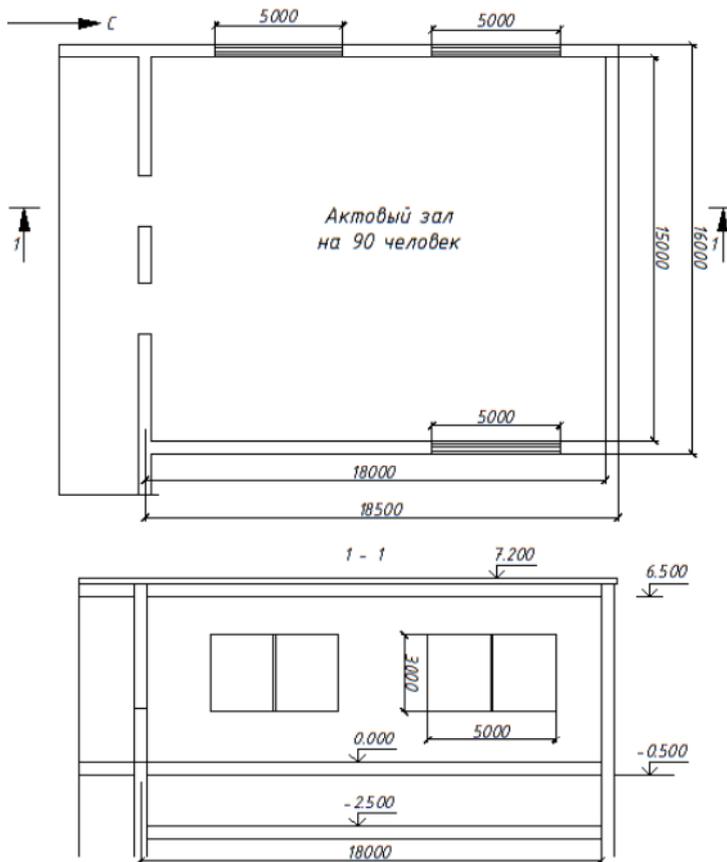


Рисунок 4 –План зального помещения

При определении теплопотерь через наружные стены из площади конструкции вычитается площадь световых проемов, в которой они располагаются.

Сопротивления теплопередаче наружных стен и световых проемов принимаем равными расчетным сопротивлениям теплопередаче, значения которых были получены в теплотехническом расчете и заносим в гр. 10 таблицы 4.

Коэффициент  $n$  в соответствии с [12, табл.5.3] принимаем равным: для наружных стен, окон и чердачного перекрытия равны 1, для перекрытия над подвалом равным 0,6 (гр.11 таблицы 4).

Добавочные потери теплоты в данном помещении вводятся только на ориентацию ограждений (северо-запад, северо-восток, север и восток –  $b = 0,1$ ; запад и юго-восток –  $b = 0,05$ ; на юг и юго-запад –  $b = 0$ ), (гр.13-12 таблицы 4).

Так потери теплоты через наружную стену, ориентированную на запад, составят

$$Q_{\text{остр}} = \frac{112,45}{2} \cdot (20 + 25) \cdot (1 + 0) \cdot 1 = 1549 \text{ Вт.}$$

Потери теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха, Вт, определяем по формуле

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot L \cdot \rho_n \cdot c \cdot (t_e - t_n), \quad (11)$$

где  $L$  – расход удаляемого воздуха, м<sup>3</sup>/ч, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, принимаемый равным 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> помещений;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/кг·°С;

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>, определяемая по формуле

$$\rho = \frac{353}{273 + t} = \frac{353}{273 - 25} = 1,4 \text{ кг/м}^3. \quad (12)$$

Определяем потери теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха и заносим в гр.16 таблицы 4. Для актового зала это значение будет равно

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot (3 \times 270) \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot (20 + 25) = 14288 \text{ Вт.}$$

Суммируя потери теплоты через все ограждения (гр. 15) и потери теплоты на инфильтрацию (гр. 16), определяем теплонедостатки в помещении, значение которых заносим в гр. 17 таблицы 4.

$$Q_{\text{нео}} = (1549 + 1418 + 1778 + 1812 + 743 + 1898 + 2661) + 14288 = 26147 \text{ Вт.}$$

Теплонедостатки в помещении компенсируются отопительными приборами. Поэтому тепловая нагрузка отопительных приборов, установленных в данном помещении, будет равна его теплонедостаткам.

Таблица 4

## Тепловой баланс помещений

1	Наименование помещений		3	4	5	6	7	8	9	10	11	Добавочные потери теплоты в долях единицы			15	16	17
	2	Температура внутреннего воздуха, °С										Вид ограждения	Ориентация по сторонам света	Линейные размеры ограждения, м			
актовый зал на 90 чел.	20	НС	3	18,5×7,7	14245	30	11245	3,43	45	1	0,05		0,05	1549	14288	26147	
		ТО	3	2×(30×50)	30		30	1,00	45	1	0,05		0,05	1418			
		НС	С	16×7,7	1232		1232	3,43	45	1	0,1		0,1	1778			
		НС	В	18,3×7,7	14053	15	12553	3,43	45	1	0,1		0,1	1812			
		ТО	В	3×5	15		15	1,00	45	1	0,1		0,1	743			
		ПТ		18×15	270		270	6,40	45	1							1898
		ПЛ		18×15	270		270	2,74	45	0,6							2661

Поступления явной теплоты от людей определяем по формуле:

$$Q_{явн}^l = N \cdot q_{явн} \cdot k, \quad (13)$$

где  $N = 80 + 8 + 2 = 90 \text{ чел.}$  – число людей (80 детей, 8 женщин и 2 мужчины), находящихся в помещении;

$q_{явн}$  – выделения явной теплоты одним человеком [15, табл.4.1];

$q_{явн} = 90 \text{ Вт}$  -выделение явной теплоты в холодный период при температуре 20 °С (категория работы – покой);

$q_{явн} = 72 \text{ Вт}$  - выделение явной теплоты в теплый период при температуре 23 °С;

$K$  – коэффициент, учитывающий снижение тепловыделений в зависимости от пола и возраста, для мужчин  $K=1$ , для женщин  $K=0,85$ , для детей  $K=0,75$ .

Холодный период:

$$Q_{явн}^л = N \cdot q_{явн} \cdot k = 90 \cdot (80 \cdot 0,75 + 8 \cdot 0,85 + 2 \cdot 1) = 5517 \text{ Вт}.$$

Теплый период:

$$Q_{явн}^т = N \cdot q_{явн} \cdot k = 72 \cdot (80 \cdot 0,75 + 8 \cdot 0,85 + 2 \cdot 1) = 4414 \text{ Вт}.$$

Теплопоступления от искусственного освещения:

$$Q_{осв} = 1000 \cdot N_{осв} \cdot h, \quad (14)$$

где  $N_{осв}$  – мощность осветительных приборов (по заданию);

$h$  – доля теплоты, поступающей в помещение;  $h = 0,4 \div 0,7$  для люминесцентных светильников,  $h = 0,8 \div 0,9$  для ламп накаливания.

$$Q_{осв} = 1000 \cdot 4 \cdot 0,5 = 2000 \text{ Вт}.$$

Количество теплоты, поступающей в помещение через световые проёмы за счёт солнечной радиации, в случае, когда над окнами отсутствуют солнцезащитные козырьки, определяются как

$$Q_p = \sum_1^n (q_{ен} + q_{ер}) \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot F_o \cdot c_m, \quad (15)$$

где  $n$  – количество стен с окнами в помещении;

$q_{ен}$ ,  $q_{ер}$  – количество теплоты, поступающей соответственно от прямой и рассеянной солнечной радиации в июле (зависят от ориентации остекления и географической широты); при широте  $56^\circ$  с.ш. для окон, обращенных на запад  $q_{ен}=547 \text{ Вт/м}^2$ ,  $q_{ер}=122 \text{ Вт/м}^2$ , для окна, обращенного на восток  $q_{ен}=504 \text{ Вт/м}^2$ ,  $q_{ер}=114 \text{ Вт/м}^2$ ;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий затенение остекления световых проёмов переплётками (для тройного остекления в деревянных переплётках  $k_1 = 0,42$ );

$k_2$  – коэффициент, учитывающий загрязнение стекла (для общественных зданий  $k_2=0,95$ );

$F_o$  – площадь световых проёмов, м<sup>2</sup>; окна, обращенные на запад  $F_o=2 \cdot (3 \times 5)=30$  м<sup>2</sup>; окна, обращенные на восток  $F_o=3 \times 5=15$  м<sup>2</sup>;

$c_m$  – коэффициент теплопропускания солнцезащитных устройств (для тройного остекления  $c_m = 0,8$ )

$$Q_p = (547 + 122) \cdot 0,42 \cdot 0,95 \cdot 30 \cdot 0,8 + (504 + 114) \cdot 0,42 \cdot 0,95 \cdot 15 \cdot 0,8 = 9365 \text{ Вт}$$

Для бесчердачных зданий теплопоступления от солнечной радиации через совмещенное покрытие:

$$Q_n = \frac{F_{\text{покр}}}{R_o} (t_n^{\text{усл}} - t_6), \quad (16)$$

где  $F_{\text{покр}}$  – площадь покрытия, м<sup>2</sup>, из таблицы теплового баланса;

$R_o$  – термическое сопротивление покрытия, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

$t_n^{\text{усл}}$  – условная среднесуточная температура наружного воздуха, °C,

$$t_n^{\text{усл}} = t_n^A + r \cdot \frac{J_{cp}}{a_n}, \quad (17)$$

$t_n^A = 21,1$  °C – температура воздуха в тёплый период года для проектирования вентиляции для г. Полоцк (параметры А), приложение Е [7];

$r$  – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности покрытия (для рубероида  $r = 0,9$ );

$J_{cp}$  – среднесуточное количество теплоты от суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) на горизонтальную поверхность, Вт/м<sup>2</sup> (для 56° с.ш. –  $J_{cp} = 328$  Вт/м<sup>2</sup>);

$a_n = 5 + 10 \sqrt{u}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности покрытия, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$u = 2,9$  м/с – расчётная скорость ветра в тёплый период в г. Полоцк, м/с, приложение Е [7];

$t_6$  – температура воздуха в помещении в тёплый период, °C.

$$\alpha_n = 5 + 10 \cdot \sqrt{2,9} = 22,03 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}),$$

$$t_n^{\text{всл}} = 21,1 + 0,9 \cdot \frac{328}{22,03} = 34,5^\circ \text{C},$$

$$Q_n = \frac{270}{6,4} \cdot (34,5 - 23) = 485 \text{ Вт}.$$

Результаты сводим в таблицу 5.

Таблица 5

**Теплопоступления и теплопотери зального помещения**

Наименование помещения	Объем помещения, м <sup>3</sup>	Период года	Теплопоступления, Вт				Теплопотери, Вт
			от людей	от солнечной радиации	от освещения	суммарные	
1	2	3	4	5	6		8
Актовый зал	1755	холодный	5517		2000	7517	26147
		теплый	4414	9365 485		14264	

Удельные избытки явной теплоты, Вт/м<sup>3</sup>, для холодного периода

$$q_{\text{изб}} = \frac{Q_{\text{изб}}}{V_{\text{внутр}}} = \frac{7517}{1755} = 4,3 \text{ Вт} / \text{м}^3, \text{ следовательно } b = 0.$$

Удельные избытки явной теплоты, Вт/м<sup>3</sup>, для теплого периода

$$q_{\text{изб}} = \frac{Q_{\text{изб}}}{V_{\text{внутр}}} = \frac{14264}{1755} = 8,1 \text{ Вт} / \text{м}^3, \text{ следовательно } b = 0,5.$$

Температура воздуха, удаляемого из верхней зоны помещения, определяется по формуле:

$$t_y = t_g + b(H_n - H_{p.z.}), \quad (18)$$

где  $b$  – температурный градиент, °C/м, учитывающий повышение температуры по высоте помещения;

$H_n$  – высота помещения, м;

$H_{p.z.}$  – высота рабочей зоны в помещении:  $H_{p.z.} = 1,5$  м (люди работают сидя).

Для холодного периода:

$$t_y = 20 + 0 \cdot (6,5 - 1,5) = 20^\circ C.$$

Для теплого периода:

$$t_y = 23 + 0,5 \cdot (6,5 - 1,5) = 25,5^\circ C.$$

Температура приточного воздуха

$$t_{in} = t_g - \Delta t_2, \quad (19)$$

где  $\Delta t_2$  – допустимое отклонение температуры воздуха в приточной струе от нормируемой температуры воздуха в обслуживаемой зоне, °C; вне зоны прямого действия приточной струи  $\Delta t_2 = 2,0$ .

Для холодного периода:

$$t_{np} = 20 - 2 = 18^\circ C.$$

Для теплого периода:

$$t_{np} = 23 - 2 = 21^\circ C.$$

Воздухообмен для теплого и холодного периодов года рассчитывается:

$$L = \frac{3,6 \cdot Q_{изб}}{c \cdot (t_y - t_{np}) \cdot \Gamma_g}, \quad (20)$$

где  $c$  – теплоёмкость воздуха, равная  $1,2$  кДж/(м<sup>3</sup>°C).

Для холодного периода:

$$L = \frac{3,6 \cdot 7517}{1,2 \cdot (20 - 18) \cdot 1,2} = 9396 \text{ м}^3/\text{ч};$$

Для теплого периода

$$L = \frac{3,6 \cdot 14264}{1,2 \cdot (23 - 21) \cdot 1,2} = 17830 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В расчет принимаем большее из значений воздухообменов (теплый период), т.е.  $L = 17830 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

### Пример № 5

По условиям примера № 4 произвести расчет отопительных приборов зального помещения для двухтрубной системы отопления. Параметры теплоносителя в системе 95-70°C. В качестве отопительных приборов принять радиаторы 2К-60П-500. Радиаторы установлены открыто у стены.

**Решение:** Теплоотдача открыто проложенных трубопроводов в помещении актового зала определяется по формуле:

$$Q_{mp} = q_6 \cdot l_6 + q_2 \cdot l_2, \quad (21)$$

где  $q_6, q_2$  – теплоотдача 1 м вертикально и горизонтально проложенных труб, Вт/м, принимаемые равными  $q_6 = 90$  Вт/м,  $q_2 = 110$  Вт/м ;

$l_6, l_2$  – длина вертикально и горизонтально проложенных в помещении трубопроводов, м.

$$Q_{mp} = 90 \cdot 6 \cdot (0,2 + 0,15) + 110 \cdot (16,9 + 10,4 + 14,1 + 14,3 + 14,0 + 16,9 + 0,25 \cdot 6) = 9880 \text{ Вт}$$

Необходимая теплопередача отопительного прибора в рассматриваемое помещение определяется по формуле:

$$Q_{np} = Q_n - 0,9 \cdot Q_{mp}, \quad (22)$$

где  $Q_n$  – теплотери помещения, Вт; по таблице 4.2  $Q_n = 26147$  Вт.

$$Q_{np} = 26147 - 0,9 \cdot 9880 = 17255 \text{ Вт.}$$

Средняя температура воды в приборе для двухтрубных систем:

$$t_{cp} = \frac{t_2 + t_o}{2} = \frac{95 + 70}{2} = 82,5^\circ\text{C}. \quad (23)$$

Фактический температурный напор:

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_6 = 82,5 - 20 = 62,5^\circ\text{C}.$$

Расчётная плотность теплового потока одной секции радиатора  $q_{np}$ , Вт/м<sup>2</sup>, рассчитывается по формуле:

$$q_{np} = q_{ном} \cdot \left( \frac{\Delta t_{cp}}{70} \right)^{1,3}, \quad (24)$$

где  $q_{ном} = 607$  – номинального плотность теплового потока прибора, Вт/м<sup>2</sup>.

$$q_{np} = 607 \cdot \left( \frac{62,5}{70} \right)^{1,3} = 524 \text{ Вт/м}^2.$$

Площадь поверхности отопительного прибора

$$F_p = \frac{Q_{np}}{q_{np}}, \quad (25)$$

$$F_p = \frac{17255}{524} = 32,9 \text{ м}^2.$$

Число элементов (секций)  $N$  в радиаторе вычисляется по найденной их поверхности нагрева по формуле

$$N = \frac{F_p \cdot b_4}{f_3 \cdot b_3}, \quad (26)$$

где  $b_4 = 1,0$  – коэффициент, учитывающий условия установки отопительного прибора в помещении, принимается при установке отопительного прибора открыто у стены  $b_4 = 1$ ;

$f_3 = 206 \text{ м}^2$  – поверхность нагрева одной секции радиатора 2К-60П-500;

$b_3$  – поправочный коэффициент, учитывающий число элементов в приборе.

$$b_3 = 0,92 + \frac{0,16}{F_p}, \quad (27)$$

$$b_3 = 0,92 + \frac{0,16}{32,9} = 0,925 \quad N = \frac{32,9 \cdot 1,0}{0,206 \cdot 0,925} = 172,7 \text{ шт.}$$

Номинальные тепловые потоки приборов установочный и требуемый:

$$Q_{ном}^{уст.} = N' \cdot Q_{ном} = 172 \cdot 125 = 21500 \text{ Вт},$$
$$Q_{ном}^{треб.} = N \cdot Q_{ном} = 172,7 \cdot 125 = 21588 \text{ Вт}.$$

При округлении дробного числа секций до целого числа следует иметь в виду, что номинальный тепловой поток устанавливаемого отопительного прибора не следует принимать менее чем на 5% от требуемого по расчёту.

$$\frac{Q_{ном}^{треб.} - Q_{ном}^{уст.}}{Q_{ном}^{треб.}} \cdot 100 = \frac{21500 - 21588}{21500} \cdot 100 = 0,4\% < 5\%.$$

Значит, в расчёт необходимо принять 172 секции. Результаты выносятся на план помещения (рис.5).

### Пример № 6

По результатам примера № 4 сконструировать и подобрать оборудование систем вентиляции, определить размеры сечения воздухопроводов, вентиляционных решеток, шумоглушителей.

**Решение:** Приточный воздух следует подавать непосредственно в помещение с постоянным пребыванием людей. Удаление воздуха из помещения актового зала системами вентиляции предусматривается из зоны, в которой воздух наиболее загрязнён или имеет наиболее высокую температуру. Для лучшего распределения воздуха в помещении зала приточный и вытяжной воздухопроводы располагаем на противоположных сторонах.

Определение размеров воздухопроводов и решеток производится по формуле:

$$f_{op} = \frac{L}{3600 \cdot u_{дон}}, \quad (28)$$

где  $L$  – расход воздуха, удаляемого через канал, м<sup>3</sup>/ч;

$u_{дон}$  – допустимая скорость воздуха в канале, м/с.

Для систем механической вентиляции рекомендуется принимать:

- в решётках  $u_{oon} = 1,0 \div 2,0$  м/с;
- в воздуховодах  $u_{oon} = 6,0 \div 8,0$  м/с;
- в воздухозаборных шахтах  $u_{oon} = 3,0 \div 6,0$  м/с.

Подставляя значение  $L = 17830$  м<sup>3</sup>/ч получаем:

– для воздуховодов  $f_{op} = \frac{17830}{3600 \cdot 7} = 0,71$  м<sup>2</sup>;

– для решёток  $f_{op} = \frac{17830}{3600 \cdot 1,5} = 3,3$  м<sup>2</sup>;

– для шахт  $f_{op} = \frac{17830}{3600 \cdot 4,5} = 1,1$  м<sup>2</sup>.

Диаметр воздуховода

$$d_{op} = \sqrt{\frac{4 \cdot f_{op}}{p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,71}{3,14}} = 0,95 \text{ м, принимаем } \varnothing 1000 \text{ мм } f_o = 0,785 \text{ м}^2,$$

при этом действительная скорость в воздуховодах:

$$u_o = \frac{L}{3600 \cdot f_o} = \frac{17830}{3600 \cdot 0,785} = 6,3 \text{ м/с.}$$

Для подачи и удаления воздуха используем решетки типа РС2 с размерами 1000×500 мм и живым сечением  $f_o = 0,403$  м<sup>2</sup>, 8 шт.; при этом действительная скорость в решетках:

$$u_o = \frac{L}{3600 \cdot f_o} = \frac{17830}{3600 \cdot 8 \cdot 0,403} = 1,54 \text{ м/с.}$$

Для забора и удаления воздуха проектируем шахты с размерами 1000×1100 мм. На шахты устанавливаем решетки типа СТД 5289А  $f_o = 0,061$  м<sup>2</sup>, 18 шт.; при этом действительная скорость в решетках:

$$u_o = \frac{L}{3600 \cdot f_o} = \frac{17830}{3600 \cdot 18 \cdot 0,061} = 4,51 \text{ м/с.}$$

По расходу воздуха  $L = 17830$  м<sup>3</sup>/ч принимаем модульный приточно-вытяжной агрегат KLM-20 со следующими характеристиками:

Минимальный расход воздуха	5200 м <sup>3</sup> /ч;
Максимальный расход воздуха	20000 м <sup>3</sup> /ч;
Оптимальный расход воздуха	16500 м <sup>3</sup> /ч;
Размеры в сечении	1600×1250 мм;
Длина	6280 мм.

Приточно-вытяжной агрегат KLM-20 выполняет следующие функции:

- подачи в обслуживаемые помещения свежего приточного воздуха без рециркуляции (смещения с вытяжным воздухом);
- удаления из обслуживаемых помещений отработанного воздуха;
- очистки приточного и удаляемого воздуха от пыли и аэрозолей;
- предварительного подогрева приточного воздуха;
- дополнительного подогрева приточного воздуха с помощью встроенного водяного калорифера.

Результаты расчетов приведены на рис.5-7.

### Пример №7

Составить тепловой баланс для жилой комнаты 2 в трехэтажном чердачном жилом доме, расположенном в г. Полоцке (рис.6.1). Высота этажа 2,8 м. Ориентация здания – запад. Сопротивление теплопередаче наружной стены принять равным  $R = 3,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , чердачного перекрытия  $R = 6,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , а перекрытия над неотапливаемым подвалом -  $R = 2,74 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

**Решение:** По Приложению В [8] принимаем температуру внутреннего воздуха для жилой комнаты равной  $t_e = 20 \text{ °C}$ , так как комната 2 является угловой. Для составления теплового баланса принимаем температуру наружного воздуха равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92. Для г. Полоцка  $t_n = -25 \text{ °C}$ .

В жилой комнате 2 имеют место потери теплоты через следующие наружные ограждения:

- на первом этаже: наружные стены, световые проемы, пол (перекрытие над неотапливаемым подвалом);
- на промежуточном этаже: наружные стены и световые проемы;
- на третьем этаже: наружные стены, световые проемы, потолок (чердачное перекрытие).

Линейные размеры наружных ограждений определяем по чертежу в соответствии с рекомендациями [12], и заносим их в гр.6 таблицы 6.

При определении теплопотерь через наружные стены из площади конструкции вычитается площадь световых проемов, в которой они располагаются.

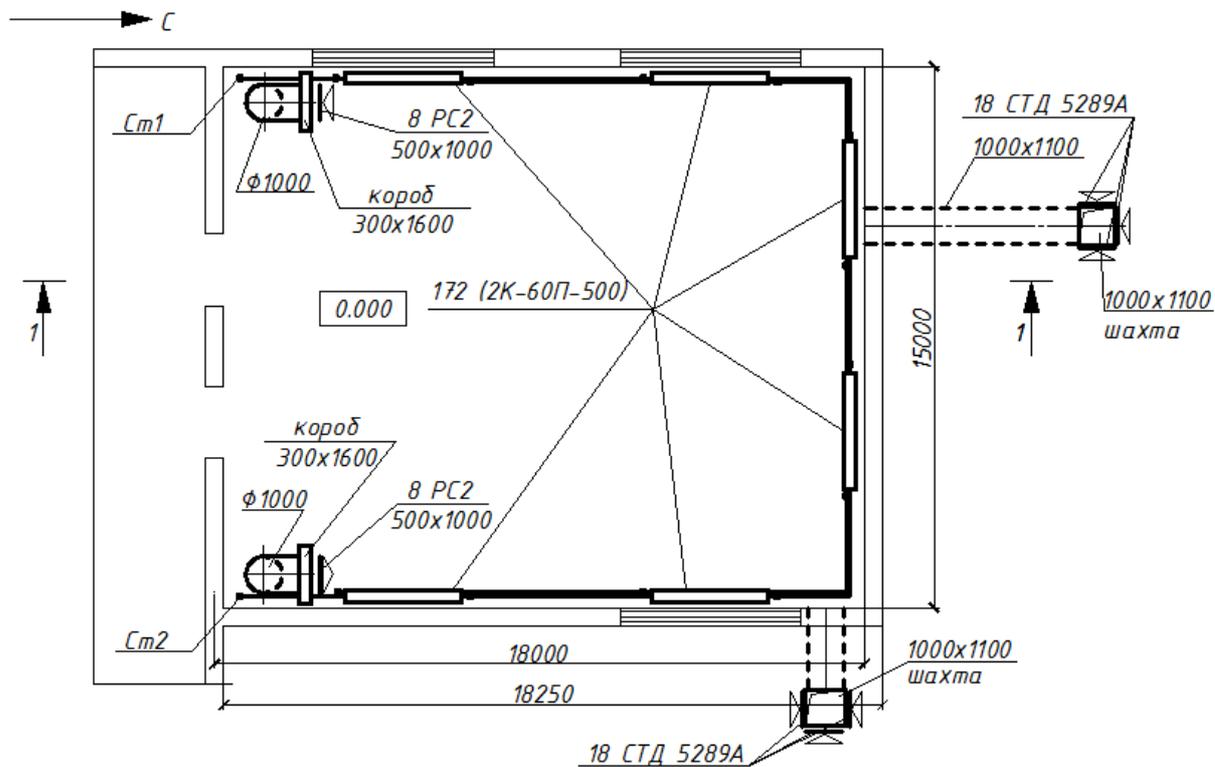


Рис. 5 План актового зала с нанесением отопительно-вентиляционного оборудования

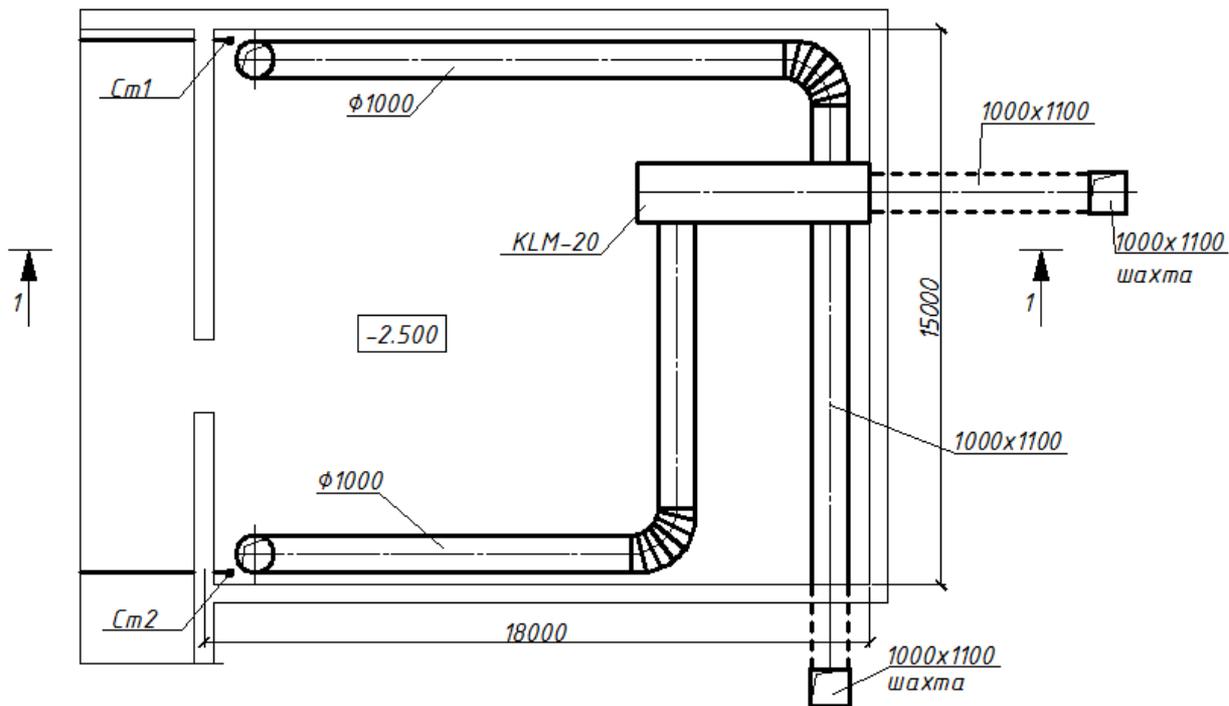


Рис. 6 План подвала с нанесением отопительно-вентиляционного оборудования

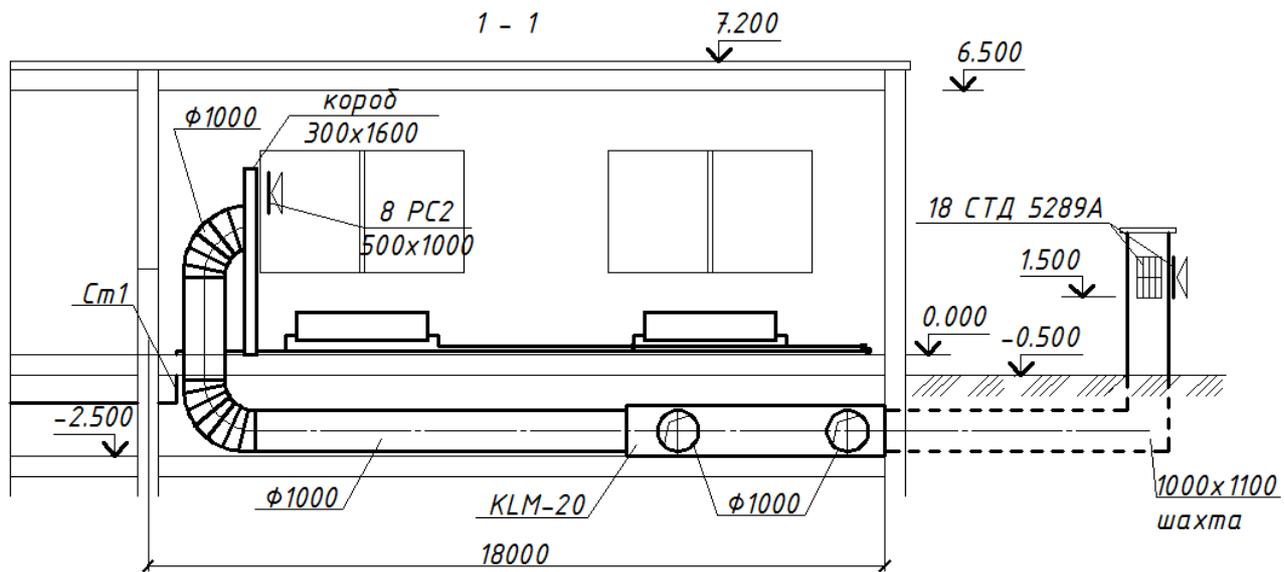


Рис. 6 Разрез 1-1 с нанесением отопительно-вентиляционного оборудования

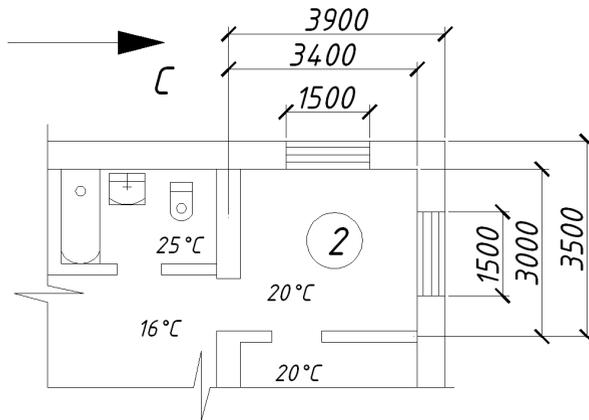


Рисунок 7 – Фрагмент плана жилого дома

Сопrotивления теплопередаче наружных стен и световых проемов заносим в гр. 10 таблицы 6.

Коэффициент  $n$  в соответствии с [12, табл.5.3] принимаем равным: для наружных стен, окон и чердачного перекрытия равны 1, для перекрытия над подвалом равным 0,6 (гр.12 таблицы 6).

Потери теплоты  $Q$ , Вт, через отдельную ограждающую конструкцию определяются по формуле (10). Так потери теплоты через наружную стену на первом этаже, ориентированную на запад, составят

$$Q_{огр} = \frac{13,065}{2} \cdot (20 + 25) \cdot (1 + 0,05) \cdot 1 = 155 \text{ Вт}.$$

Потери теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха, Вт, определяем по формуле (11) и заносим в гр.17 таблицы 6. Для помещения 2 на всех этажах это значение будет равно

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot (3 \times 10,2) \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot (20 + 25) = 540 \text{ Вт}.$$

При составлении теплового баланса для жилых зданий учитываются бытовые теплопоступления в кухнях и жилых комнатах в размере 21 Вт на  $1 \text{ м}^2$  площади пола, т.е.

$$Q_{быт} = 21 \cdot F_n, \quad (29)$$

где  $F_n$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>.

Определим тепlopоступления от бытовых приборов, Вт, и занесем в гр. 18 таблицы 6. Для помещения 2 на всех этажах

$$Q_{\text{быт}} = 21 \cdot 10,2 = 214 \text{ Вт.}$$

Суммируя потери теплоты через все ограждения (гр. 16) и потери теплоты на инфильтрацию (гр. 17), и отнимая от этой суммы тепlopоступления от бытовых приборов (гр. 18), определяем теплонедостатки в помещении 1, значение которых заносим в гр. 19 таблицы 6.

На первом этаже

$$Q_{\text{нед}} = (155 + 85 + 143 + 89 + 101) + 540 - 214 = 899 \text{ Вт.}$$

Аналогично просчитываются потери теплоты в помещении промежуточного и последнего этажа. Результаты сводятся в таблицу 6. Теплонедостатки в помещении компенсируются работой системы отопления, поэтому тепловая нагрузка отопительных приборов, установленных в данном помещении, будет равна его теплонедостаткам.

### Пример № 8

Произвести расчет отопительного прибора (температуры и количество секций) для однотрубной системы отопления с верхней разводкой. Параметры теплоносителя в системе 105-70 °С. Прибор 2К-60П-500 установлен в нише. Прочие исходные данные взять из примера № 7.

**Решение:** Расход воды через отопительный стояк  $G_{\text{ст}}$ , кг/ч, определяется по формуле:

$$G_{\text{ст}} = \frac{0,86 \cdot Q_{\text{ст}}}{t_r - t_o} \quad (30)$$

где  $Q_{\text{ст}}$  - тепловая нагрузка стояка, Вт.

$$Q_{\text{ст}} = 899 + 767 + 849 = 2515 \text{ Вт}, \quad G_{\text{ст}} = \frac{0,86 \cdot 2515}{105 - 70} = 61,8 \text{ кг/ч.}$$

Таблица 6

## Тепловой баланс помещений

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Добавочные потери теплоты в долях единицы			16	17	18	19
												на стороны света	прочие	сумма				
Номера помещений	Наименование помещений	Температура внутреннего воздуха, °С	Вид ограждения	Ориентация по сторонам света	Линейные размеры ограждения, м	Площадь ограждения F, м <sup>2</sup>	Вычитающаяся площадь, м <sup>2</sup>	Расчетная площадь, м <sup>2</sup>	Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R <sub>ср</sub> , м <sup>2</sup> ·°С/Вт	Расчетная разность температур T <sub>в</sub> -T <sub>ext</sub> , °С	Коэффициент η				Потери теплоты ограждением, Вт	Потери теплоты на инфильтрацию, Вт	Тепловыделение в помещении, Вт	Потери теплоты помещением, Вт
1 ЭТАЖ																		
102	ЖК	20	НС	з	3,9 × 3,35	13,065	1,8	11,265	3,43	45	1	0,05		0,05	155	540	214	899
			ТО	з	1,2 × 1,5	1,8		1,800	1,00	45	1	0,05		0,05	85			
			НС	с	3,5 × 3,35	11,725	1,8	9,925	3,43	45	1	0,1		0,1	143			
			ТО	с	1,2 × 1,5	1,8		1,800	1,00	45	1	0,1		0,1	89			
			ПЛ		3,4 × 3	10,2		10,200	2,74	45	0,6				101			
2 ЭТАЖ																		
202	ЖК	20	НС	з	3,9 × 3,05	11,895	1,8	10,095	3,43	45	1	0,05		0,05	139	540	214	767
			ТО	з	1,2 × 1,5	1,8		1,800	1,00	45	1	0,05		0,05	85			
			НС	с	3,5 × 3,05	10,675	1,8	8,875	3,43	45	1	0,1		0,1	128			
			ТО	с	1,2 × 1,5	1,8		1,800	1,00	45	1	0,1		0,1	89			
3 ЭТАЖ																		
302	ЖК	20	НС	з	3,9 × 3,15	12,285	1,8	10,485	3,43	45	1	0,05		0,05	144	540	214	849
			ТО	з	1,2 × 1,5	1,8		1,800	1,00	45	1	0,05		0,05	85			
			НС	с	3,5 × 3,15	11,025	1,8	9,225	3,43	45	1	0,1		0,1	133			
			ТО	с	1,2 × 1,5	1,8		1,800	1,00	45	1	0,1		0,1	89			
			ПТ		3,4 × 3	10,2		10,200	6,40	45	1				72			

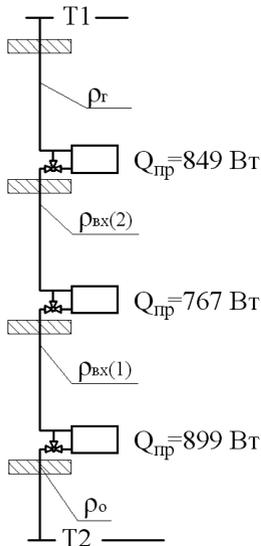


Рис. 8 Расчетная схема стояка однотрубной системы отопления с верхней разводкой

Для определения плотности воды необходимо знать её температуру на участках стояка после смешивания потоков. Температура воды после отопительного прибора определяется по формуле

$$t_{\text{пр}(i+1)} = t_i - \frac{0,86 \cdot Q_{\text{пр}(i+1)}}{G_{\text{ст}}} \quad (31)$$

где  $t_i$  - температура воды на предыдущем участке,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Q_{\text{пр}(i+1)}$  - тепловая нагрузка отопительного прибора, присоединенного до расчетного участка  $(i+1)$ , Вт.

Схема расчетного стояка приведена на рис.8.

$$t_{\text{вх}(2)} = 105 - \frac{0,86 \cdot 849}{61,8} = 93^{\circ}\text{C}.$$

Средняя температура теплоносителя в приборе для однотрубных систем

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{вх}} - \frac{1,8 \cdot Q_{\text{пр}} \cdot b_1 \cdot b_2}{c \cdot G_{\text{ст}}}, \quad (32)$$

$b_1$  - коэффициент, зависящий от шага номенклатурного ряда отопительного прибора, принимаемый по таблице 9.4 /9/. При  $Q_{\text{ном}} = 120$  Вт  $b_1 = 1,02$ , при  $Q_{\text{ном}} = 150$  Вт  $b_1 = 1,03$ ;

$b_2$  - поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные теплопотери при размещении отопительных приборов у наружных ограждений ( $b_2 = 1,02$  при установке прибора у наружной стены).

$c = 4,19$  кДж/кг $^{\circ}\text{C}$  - теплоёмкость воды.

$$t_{\text{ср3}} = 105 - \frac{1,8 \cdot 849 \cdot 1,02 \cdot 1,02}{4,19 \cdot 61,8} = 97^{\circ}\text{C};$$

Фактический температурный напор

$$\Delta t_{срз} = 97 - 20 = 77 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Расчётная плотность теплового потока одной секции радиатора по формуле (24):

$$q_{нр} = 607 \cdot \left( \frac{77}{70} \right)^{1,3} = 687 \text{ Вт/м}^2.$$

Теплоотдача открыто проложенных трубопроводов в помещении по формуле (21)

$$Q_{нр} = 90 \cdot 3,0 + 110 \cdot (0,5 + 0,5) = 380 \text{ Вт}.$$

Необходимая теплопередача отопительного прибора Площадь поверхности отопительного прибора

$$Q_{нр} = 849 - 0,9 \cdot 380 = 507 \text{ Вт}.$$

Площадь поверхности отопительного прибора

$$F_p = \frac{507}{687} = 0,74 \text{ м}^2.$$

Число элементов (секций)  $N$  в радиаторе

$$b_3 = 0,92 + \frac{0,16}{0,74} = 1,14 \quad N = \frac{0,74 \cdot 1,11}{0,206 \cdot 1,14} = 3,5 \text{ секц.}$$

Номинальные тепловые потоки приборов установочный и требуемый:

$$Q_{ном}^{уст.} = N' \cdot Q_{ном} = 3 \cdot 125 = 375 \text{ Вт},$$

$$Q_{ном}^{треб.} = N \cdot Q_{ном} = 3,5 \cdot 125 = 438 \text{ Вт}.$$

$$\frac{Q_{ном}^{треб.} - Q_{ном}^{уст.}}{Q_{ном}^{треб.}} \cdot 100 = \frac{375 - 438}{438} \cdot 100 = 17\% > 5\% .$$

Значит, к установке необходимо принять 4 секции.