



ОРГАНАМ ГОСУПРАВЛЕНИЯ  
СИСТЕМОЙ ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

---

---

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный технический университет**

**Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»**

**А. Н. Пехота**

**А. Б. Крутилин**

**И. М. Золотарёва**

**СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА,  
ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ**

**Пособие**

Минск  
БНТУ  
2024

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

А. Н. Пехота  
А. Б. Крутилин  
И. М. Золотарёва

## СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА, ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

Пособие

для студентов очной и заочной форм обучения специальностей  
1-08 01 01-05 «Профессиональное обучение (строительство)»,  
1-27 01 01-04 «Экономика и организация производства  
(коммунальное и водное хозяйство)»,  
1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»,  
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области строительства и архитектуры*

Минск  
БНТУ  
2024

УДК 697.13  
ББК 38.113.(076)  
ПЗ1

Рецензенты:  
кафедра энергетики БГАТУ  
(зав. кафедрой, канд. техн. наук, доцент *А. М. Кравцов*);  
заведующий научно-исследовательским отделом  
ограждающих конструкций РУП «Институт БелНИИС»  
*О. В. Сапоненка*

**Пехота, А. Н.**  
ПЗ1 Строительная теплотехника, отопление и вентиляция : пособие для студентов очной и заочной форм обучения специальностей: 1-08 01 01-05 «Профессиональное обучение (строительство)» (дисциплина «Инженерные сети и оборудование»), 1-27 01 01-04 «Экономика и организация производства (коммунальное и водное хозяйство) (дисциплина «Системы теплогоснабжения и вентиляции»), 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» (дисциплина «Теплогоснабжение и вентиляция»), 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» (дисциплина «Теплоснабжение и вентиляция») / А. Н. Пехота, А. Б. Крутилин, И. М. Золотарёва. – Минск : БНТУ, 2024. – 43 с.  
ISBN 978-985-31-0027-3

В пособии представлены методические указания к проведению практических занятий, даны примеры решения задач по определению сопротивлений теплопередачи ограждений; примеры расчета теплопотерь, гидравлического расчета теплопроводов; определения площади нагревательной поверхности отопительных приборов.

УДК 697.13  
ББК 38.113.(076)

ISBN 978-985-31-0027-3

© А. Н. Пехота, А. Б. Крутилин,  
И. М. Золотарёва  
© Белорусский национальный  
технический университет, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Общие требования к выполнению и оформлению практических работ .....	5
Методические указания к проведению практических занятий .....	6
1. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций зданий и сооружений.....	6
2. Расчет систем отопления зданий и сооружений.....	17
3. Расчет вентиляционных систем зданий и сооружений .....	34
Примерный перечень контрольных вопросов .....	41
Список использованных источников.....	42

## ВВЕДЕНИЕ

Данный практикум поможет студентам закрепить и расширить теоретические и практические знания, сформировать и развить практические навыки и компетенции по профилю дисциплины «Инженерные сети и оборудование», а также применять эти знания при:

- решении типовых задач по основным разделам курса дисциплины;
- решении профессиональных задач, связанных с теплотехническими расчетами ограждающих конструкций, подбором отопительных приборов и вентиляционной сети;
- решении задач повышенной сложности.

В результате освоения дисциплины студент должен научиться решать вопросы нормирования микроклимата помещений и теплозащитных свойств ограждений.

Практикум позволяет самостоятельно:

- выполнять теплотехнические расчеты ограждающих конструкций зданий и сооружений; рассчитывать тепловую мощность систем отопления;
- рассчитывать поверхность отопительных приборов;
- определять диаметры трубопроводов и подбирать необходимое оборудование;
- выполнять расчет теплового ввода в здание;
- определять вредные выделения в помещениях;
- выполнять аэродинамический расчет вентиляционных систем.

Методические указания предназначены для оказания помощи преподавателям в организации практических занятий, а также студентам при выполнении практических заданий, повторении изученного материала, подготовке к экзамену и выполнении расчетов, связанных с ограждающими конструкциями, подбором инженерного отопительного оборудования, схем теплоснабжения и энергоэффективной вентиляционной сети.

## **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

Практическое занятие – это занятие, проводимое под руководством преподавателя в учебной аудитории или филиале кафедры, направленное на углубление научно-теоретических знаний и овладение определенными методами самостоятельной работы. В процессе таких занятий вырабатываются практические умения. Перед практическим занятием следует изучить конспект лекции и рекомендованную преподавателем литературу, обращая внимание на практическое применение теории и методику решения типовых задач. При решении предложенной задачи нужно стремиться не только получить правильный ответ, но и усвоить общий метод решения подобных задач.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретический материал.
2. Выполнить задания.
3. Описать алгоритм выполнения и решения заданий.
4. Ответить на контрольные вопросы.

Выполнение практических занятий должно быть оформлено в тетради для практических работ. Тетрадь должна иметь прописанные на титульном листе Ф. И. О. студента, номер группы и название изучаемой дисциплины, а содержание должно включать в себя:

- номер и тему занятия;
- заполненные таблицы;
- схемы и структуры;
- необходимые выводы;
- краткие ответы на контрольные вопросы, заданные преподавателем (по требованию).

Текст, описывающий выполнение практических занятий, должен быть написан четким, разборчивым почерком или рукописным шрифтом, освоенным при изучении дисциплины «Начертательная геометрия и инженерная графика».

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

### 1. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций зданий и сооружений

**Задача 1.** Определить толщину утеплителя (маты минераловатные  $\rho = 125 \text{ кг/м}^3$ ) и сопротивление теплопередаче наружной стены из кирпича силикатного ( $\rho = 2000 \text{ кг/м}^3$ ) трехэтажного жилого дома, расположенного в г. Полоцке (рис. 1.1).

**Решение:** Термическое сопротивление слоя многослойной конструкции  $R_i$ ,  $\text{м}^2 \text{°C/Вт}$ , определяется по формуле [15; 19; 21]:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (1)$$

где  $\delta_i$  – толщина слоя, м;

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

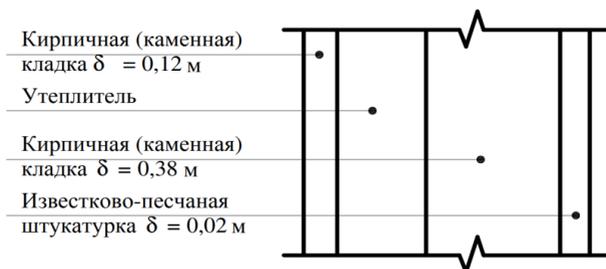


Рис. 1.1. Конструкция наружной стены из штучных материалов

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

$$R = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (2)$$

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

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

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

По [9, прил. Д] по параметрам Б [9, табл. 5.2] принимаем значения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$ ,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ , и теплоусвоения  $s$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , для каждого слоя наружной стены (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Значения коэффициентов теплопроводности и теплоусвоения для каждого слоя конструкции наружной стены

№ п/п	Материал слоя	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$	Коэффициент теплоусвоения $s$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$
1	Кирпич силикатный ( $\rho = 2000 \text{ кг}/\text{м}^3$ )	1,63	12,13
2	Маты минераловатные ( $\rho = 125 \text{ кг}/\text{м}^3$ )	0,0434	0,66
3	Известково-песчаная штукатурка	0,81	9,76

Принимаем по [9, табл. 6.4] коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности наружной стены  $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , по [9, табл. А.1] коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения  $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Нормативное сопротивление теплопередаче наружной стены из штучных материалов ( $R_{\text{т.норм}}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ) принимаем по [5, табл. 7.1] равным 3,2.

Расчетное сопротивление теплопередаче наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , определяется по формуле:

$$R_{\text{т.расч}}^{\text{н.с.}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{1,63} + \frac{x}{0,0434} + \frac{0,38}{1,63} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23}. \quad (3)$$

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

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{1,63} + \frac{x}{0,0434} + \frac{0,38}{1,63} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23} = 3,2; \quad x = 0,117.$$

Для расчета принимаем толщину утеплителя равной 0,12 м (округленной в большую сторону с кратностью до 0,01 м).

Определим действительное сопротивление теплопередаче наружной стены:

$$R_{\text{т.расч}}^{\text{н.с.}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{1,63} + \frac{0,12}{0,0434} + \frac{0,38}{1,63} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23} = 3,25 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Тепловая инерция ограждения  $D$  определяется по формуле [15; 21]:

$$D = R_1 \cdot s_1 + R_2 \cdot s_2 + R_3 \cdot s_3 + R_4 \cdot s_4, \quad (4)$$

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

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

Тепловую инерцию наружной стены  $D$  определим по формуле:

$$D = \frac{0,12}{1,63} \cdot 12,13 + \frac{0,12}{0,0434} \cdot 0,587 + \frac{0,38}{1,63} \cdot 12,13 + \frac{0,02}{0,81} \cdot 9,76 = 5,6.$$

Так как  $D = 5,6$  входит в предел от 4 до 7 [9, табл. 6.3], 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).

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

Полученное значение сопротивления теплопередаче  $R$  ограждающей конструкции должно быть не менее минимального сопротивления  $R_{\text{т.мин}}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяемого по формуле [19]:

$$R_{T.min} = \frac{n(t_B - t_H)}{(\alpha_B \cdot \Delta t_B)}, \quad (5)$$

где  $t_B$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

$t_H$  – расчетная температура наружного воздуха, °С;

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

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

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

Коэффициент  $n$ , учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, для наружной стены принимается равным 1 [3; 9, табл. 6.2].

Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_B = 18$  °С [9, табл. 5.1].

Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности  $\Delta t_B$ , °С, в соответствии с [9, табл. 6.5] принимаем для наружной стены равным 6.

Минимальное сопротивление теплопередаче наружной стены из штучных материалов определим по формуле

$$R_{T.min} = \frac{1 \cdot (18 + 27,5)}{8,7 \cdot 6} = 0,88 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Wt}.$$

Согласно формуле (5), должны выполняться следующие условия:

$$R_{T.расч}^{н.с.} > R_{T.min} \text{ и } R_{T.расч}^{н.с.} > R_{T.норм}; \quad (6)$$

$$3,25 > 0,88 \text{ и } 3,25 > 3,2$$

Условия выполняются, следовательно, для составления теплового баланса термическое сопротивление наружной стены принимаем  $R_T^{н.с.} = 3,2$  м<sup>2</sup>·°С/Вт.

**Задача 2.** Определить толщину утеплителя (пенополиуретан ( $\rho = 80$  кг/м<sup>3</sup>)) и сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия трехэтажного жилого дома, расположенного в г. Полоцке. Конструкция ограждения приведена на рис. 2.1.

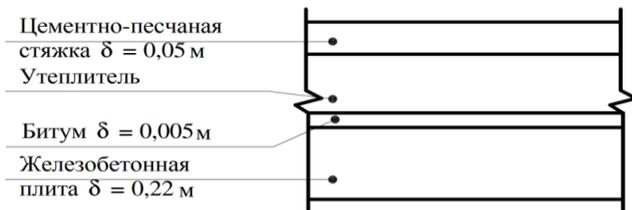


Рис. 2.1. Конструкция чердачного перекрытия

**Решение:** По [9, прил. Д] по параметрам А [9, табл. 5.2] принимаем значения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$ , Вт/м·°С, и теплоусвоения  $s$ , Вт/м·°С, для каждого слоя чердачного перекрытия (табл. 2.1).

По [9, табл. 6.4] коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности  $\alpha_{в} = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) [9, прил. А, табл. 6.4], коэффициент теплоотдачи наружной поверхности чердачного перекрытия  $\alpha_{н} = 12$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Таблица 2.1

Значения коэффициентов теплопроводности и теплоусвоения для каждого слоя конструкции чердачного перекрытия

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

Нормативное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия принимаем равным  $R_{т.норм}^{н.с.} = 6,0$  м<sup>2</sup>·°С/Вт [9, табл. 7.1].

Расчетное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия, м<sup>2</sup>·°С/Вт, определяется по формуле:

$$R_{т.норм}^{ч.п.} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_{н}}; \quad (7)$$

$$R_{г.норм}^{ч.п.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,3}{0,05} + \frac{0,005}{0,27} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{12}.$$

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 0,3 м (округленной в большую сторону с точностью до 0,05 м).

Определим расчетное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия:

$$R_{г.расч}^{ч.п.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,3}{0,05} + \frac{0,005}{0,27} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{12} = 6,4 \frac{\text{М}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}.$$

Тепловую инерцию чердачного перекрытия  $D$  определим по формуле:

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot s_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \cdot s_2 + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \cdot s_3 + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \cdot s_4; \quad (8)$$

$$D = \frac{0,05}{0,76} \cdot 9,6 + \frac{0,3}{0,05} \cdot 0,67 + \frac{0,005}{0,27} \cdot 6,8 + \frac{0,22}{1,92} \cdot 17,98 = 6,84.$$

Так как значение  $D = 6,84$  входит в предел от 4 до 7 [9, табл. 6.3], 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).

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

Коэффициент  $n$ , учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, для чердачного перекрытия принимается равным 0,9

[9, табл. 6.2]. Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_B = 18$  °C [9, табл. 5.1]. Расчетный перепад между температурами внутреннего воздуха и внутренней поверхности  $\Delta t_B$ , °C, в соответствии с [9, табл. 6.5] принимаем для чердачного перекрытия равным 4.

Минимальное сопротивление теплопередаче наружной стены из штучных материалов определим по формуле:

$$R_{T.min} = \frac{n(t_B - t_H)}{(\alpha_B \Delta t_B)} = \frac{0,9 \cdot (18 + 27,5)}{8,7 \cdot 4} = 1,18 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}. \quad (9)$$

Согласно [9], должны выполняться следующие условия:

$$R_{T.расч}^{ч.п.} > R_{T.min} \text{ и } R_{T.расч}^{ч.п.} > R_{T.норм},$$

что обеспечивается.

Следовательно, для составления теплового баланса термическое сопротивление чердачного перекрытия принимаем равным  $R_{T.расч}^{ч.п.} = 6,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

**Задача 3.** Проверить наличие конденсации влаги на внутренней поверхности наружной стены (расчетные параметры приняты из условия задачи 1).

**Решение:** Для наружной стены по принятому значению сопротивления теплопередаче  $R$  выполним проверку на отсутствие конденсации влаги на ее поверхности. Для выполнения этого условия температура внутренней поверхности ограждающей конструкции должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетной зимней температуре наружного воздуха.

Температура внутренней поверхности  $\tau_B$ , °C, ограждающей конструкции определяется по формуле [15; 20]:

$$\tau_B = t_B - \frac{t_B - t_H}{R \cdot \alpha_B}, \quad (10)$$

где  $t_B = 18$  °C – расчетная температура внутреннего воздуха, °C;

$t_B = -25$  °С – расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С, принимаемая равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [9, табл. 6.3];

$R$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>·°С/Вт;

$\alpha_B$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), принимаемый по [9, табл. 6.4];  
 $\alpha_B = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Полученное значение  $\tau_B$  должно быть больше температуры точки росы  $\tau_p$ , которая определяется по формуле [15; 21]:

$$\tau_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot e_B)^2, \quad (11)$$

где  $e_B$  – упругость водяных паров в воздухе помещения, Па, определяемая по формуле:

$$e_B = \frac{\varphi}{100} \cdot [477 + 133,3 \cdot (1 + 0,14 \cdot t_B)^2], \quad (12)$$

где  $\varphi$  – относительная влажность воздуха в помещении, %; в жилых домах принимается равной 55 %;

$t_B$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С.

Определим упругость водяных паров в воздухе помещения:

$$e_B = \frac{55}{100} \cdot [477 + 133,3 \cdot (1 + 0,14 \cdot 18)^2] = 1170 \text{ Па.}$$

Температура точки росы составит:

$$\tau_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot 1170)^2 = 8,94 \text{ °С.}$$

Определим температуру внутренней поверхности наружной стены:

$$\tau_B = 18 - \frac{18 - 25}{2,45 \cdot 8,7} = 18,3 \text{ °С.}$$

По полученным значениям видно, что температура внутренней поверхности ограждающей конструкции выше температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетной зимней температуре наружного воздуха:

$$\tau_{\text{в}} > \tau_{\text{р}}; \quad (13)$$

$$18,3^{\circ}\text{C} > 8,94^{\circ}\text{C}.$$

Следовательно, конденсации влаги на внутренней поверхности наружной стены не будет.

**Задача 4.** Составить тепловой баланс для жилой комнаты 1 в трехэтажном чердачном жилом доме, расположенном в г. Полоцке (рис. 4.1). Высота этажа 2,8 м. Ориентация здания – запад. Сопротивление теплопередаче ограждений принять из условий задач 1–3.

**Решение:** Потери теплоты  $Q_{\text{огр}}$ , Вт, через отдельную ограждающую конструкцию определяются по формуле [15; 21]:

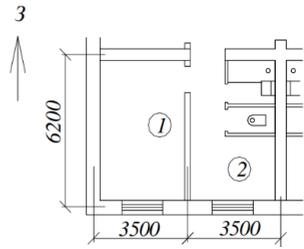


Рис. 4.1. Фрагмент плана

$$Q_{\text{огр}} = \frac{F_p}{R_T} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n, \quad (14)$$

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

$R_T$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$ ;

$t_{\text{в}}$  – температура внутреннего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{н}}$  – расчетная температура наружного воздуха, принимается равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92,  $^{\circ}\text{C}$ ;

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

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

По [4, табл. 1] принимаем температуру внутреннего воздуха для жилой комнаты равной  $t_{в} = 20$  °С, так как комната 1 является угловой. Для составления теплового баланса принимаем температуру наружного воздуха равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92. Для г. Полоцка  $t_{н} = -25$  °С [5, табл. 3.1].

В жилой комнате 1 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 верхнем этаже: наружные стены, световые проемы, потолок (чердачное перекрытие).

Линейные размеры наружных ограждений определяем по чертежу в соответствии с рекомендациями [16, с. 35] и заносим их в гр. 6 табл. 4.1. Для того чтобы дважды не учитывать потери теплоты через световые проемы, площадь световых проемов вычитается из площади наружной стены, в которой они располагаются (значения вычитаемой площади заносятся в гр. 8 табл. 4.1). В результате этого расчетная площадь такой наружной стены становится меньше на величину площади светового проема.

Сопротивления теплопередаче наружных стен и световых проемов принимаем равными нормативным сопротивлениям теплопередаче, значения которых приведены в [9, табл. 5.1 ], и заносим их в гр. 10 табл. 4.1.

Коэффициент  $n$  в соответствии с [9, табл. 5.3] принимаем равными: для наружных стен, окон и чердачного перекрытия – 1, для перекрытия над подвалом – 0,6 (гр. 12 табл. 4.1).

Добавочные потери теплоты в данном помещении вводятся на ориентацию ограждений (северо-запад, северо-восток, север и восток –  $\beta = 0,1$ ; запад и юго-восток –  $\beta = 0,05$ ; юг и юго-запад –  $\beta = 0$ ) и для угловых помещений  $\beta = 0,05$  на каждую стену [9, прил. Ж] и заносятся в гр. 13–15 табл. 4.1.

Так, потери теплоты через наружную стену на первом этаже, ориентированную на юг, составят:

$$Q_{\text{отр}} = \frac{19,53}{3,43} \cdot (20 + 25) \cdot (1 + 0,05) \cdot 1 = 269,0 \text{ Вт.}$$

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

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot L \cdot \rho_n \cdot c \cdot (t_v - t_n), \quad (15)$$

где  $L$  – расход удаляемого воздуха, м<sup>3</sup>/ч, не компенсируемый подогретым приточным воздухом. Для жилых зданий принимается равным 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> жилых помещений и кухни;

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

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

$$\rho = \frac{353}{273 + t}; \quad (16)$$

$$\rho = \frac{353}{273 + 25} = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Определяем потери теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха и заносим в гр. 17 табл. 4.1. Для помещения 1 на всех этажах это значение будет равно:

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot (3 \cdot 19,8) \cdot 1,4 \cdot c \cdot (20 + 25) = 1047,8 \text{ Вт}.$$

При составлении теплового баланса для жилых зданий учитываются бытовые теплопоступления в кухнях и жилых комнатах в размере 21 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади пола, то есть

$$Q_{\text{быт}} = 21 \cdot F_n, \quad (17)$$

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

Определим теплопоступления от бытовых приборов, Вт, и занесем в гр. 18 табл. 4.1. Для помещения 1 на всех этажах

$$Q_{\text{быт}} = 21 \cdot 19,8 = 415,8 \text{ Вт}.$$

Суммируя потери теплоты через все ограждения (гр. 16) и потери теплоты на инфильтрацию (гр. 17) и отнимая от этой суммы теплопо-

ступени от бытовых приборов (гр. 18), определяем теплонедостатки в помещении 1, значения которых заносим в гр. 19 табл. 4.1.

На первом этаже:

$$Q_{\text{нед}} = (269 + 147 + 105,6 + 213,8) + 1047,8 - 415,8 = 1367,4 \text{ Вт.}$$

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

## 2. Расчет систем отопления зданий и сооружений

**Задача 5.** Произвести гидравлический расчет двухтрубной системы отопления. Параметры теплоносителя в трубопроводах  $t_2 - t_o = 95 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$ . Схема системы приведена на рис. 5.1.

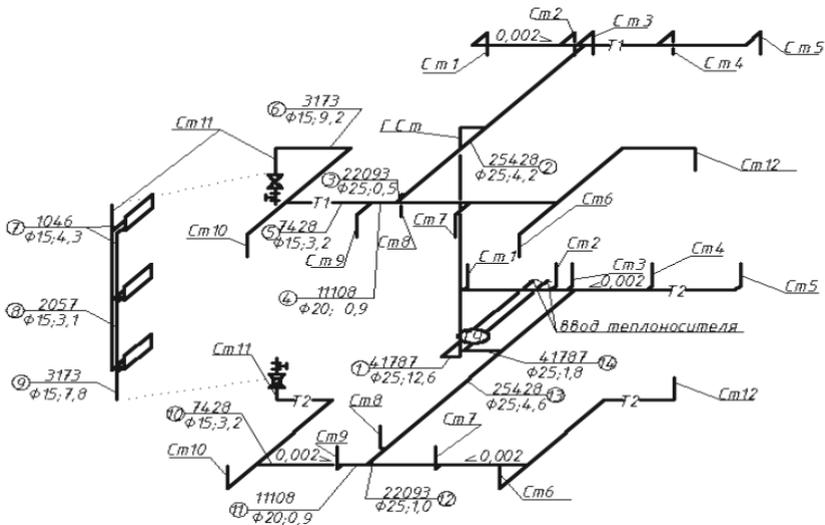


Рис. 5.1. Расчетная схема двухтрубной системы отопления

**Решение:** Неблагоприятным циркуляционным кольцом является кольцо через стояк № 11, так как он наиболее удален от теплового пункта. Расчет ведется через прибор верхнего этажа на стояке № 11.

Тепловой баланс помещений

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Добавочные потери теплоты $\beta$ в долях единиц			16	17	18	19														
												На стороны света	Прочие	Сумма																		
101	ЖК	20	НС	Ю	6,3×3,1	19,53	2,04	9,74	3,43	45	1	0	0,05	0,05	269,0																	
												НС	В	3,8×3,1					11,78	2,04	2,04	2,04	1	45	1	0,1	0,05	0,15	147,0			
201	ЖК	20	НС	Ю	6,3×2,8	17,64	2,04	8,6	3,43	45	1	0	0,05	0,05	243,0																	
												НС	В	3,8×2,8					10,64	2,04	2,04	1	45	1	0,1	0,05	0,15	129,8				
																																ТО
301	ЖК	20	НС	В	3,8×2,8	10,64	2,04	8,6	3,43	45	1	0	0,05	0,05	147,0																	
												НС	В	1,7×1,2					2,04	19,8	6,3	45	1	0,1	0,05	0,15	105,6					
																															ПТ	–

Для систем с искусственной циркуляцией величина располагаемого давления определяется по формуле [15; 21]:

$$\Delta p_p = \Delta p_n + B(\Delta p_{e.пр} + \Delta p_{e.тр}), \quad (18)$$

где  $\Delta p_n$  – искусственное давление, создаваемое элеватором, Па, ( $\Delta p_n = 10\text{--}12$  кПа);

$\Delta p_{e.пр}$  – давление, возникающее за счет охлаждения воды в отопительных приборах, Па;

$\Delta p_{e.тр}$  – давление, вызываемое охлаждением воды в теплопроводах, Па [16, рис. II.1];

$B$  – коэффициент, определяющий долю максимального естественного давления, которую целесообразно учитывать в расчетных условиях; для двухтрубной системы  $B = 0,4$  [16].

Величина естественного давления, возникающего за счет охлаждения воды в отопительных приборах, Па, для двухтрубной системы рассчитывается следующим образом

$$\Delta p_{e.пр_i} = h_n \cdot g \cdot (\rho_o - \rho_r), \quad (19)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;

$\rho_o, \rho_r$  – плотности, соответственно, обратной и горячей воды,  $\text{кг/м}^3$ ;

$h_n = 7,5$  м – вертикальное расстояние от середины элеватора до центра прибора этажа.

Плотность воды в зависимости от ее температуры изменяется: при понижении температуры объем жидкости уменьшается, следовательно, ее плотность повышается и определяется по формуле:

$$\rho = 1000,3 - 0,06 \cdot t - 0,0036 \cdot t^2, \quad (20)$$

где  $t$  – температура воды, °С.

$$\rho_o = 1000,3 - 0,06 \cdot 70 - 0,0036 \cdot 70^2 = 978,5 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_T = 1000,3 - 0,06 \cdot 105 - 0,0036 \cdot 105^2 = 954,3 \text{ кг/м}^3;$$

$$\Delta p_{\text{е.тр}} = 7,5 \cdot 9,81 \cdot (978,5 - 954,3) = 1780,5 \text{ Па};$$

$$\Delta p_p = 10\,000 + 0,4 \cdot (1780,5 + 200) = 10\,792,2 \text{ Па}.$$

При расчете трубопроводов по методу удельных потерь давления для предварительного выбора диаметров участков неблагоприятного циркуляционного кольца находят ориентировочное значение удельной потери давления от трения при движении теплоносителя по трубам по формуле:

$$R_{\text{ср}} = \frac{0,9 \cdot \Delta p_p \cdot K}{\sum l}, \quad (21)$$

где  $K$  – доля потерь давления на трение, принимаемая для систем с искусственной циркуляцией равной 0,65 [16];

$\sum l = 57,3 \text{ м}$  – сумма длин участков расчетного кольца.

$$R_{\text{ср}} = \frac{0,9 \cdot 10792,2 \cdot 0,65}{57,3} = 110 \text{ Па/м}.$$

Приведем расчет участка № 1.

Тепловая нагрузка участка равна тепловой мощности системы отопления здания  $Q_{\text{уч.1}} = Q_c = 41\,787 \text{ Вт}$ . Длина участка 12,6 м.

Расход теплоносителя на участке:

$$G_{\text{уч.1}} = \frac{0,86 \cdot Q_{\text{уч.1}}}{t_T - t_0} = \frac{0,86 \cdot 41787}{95 - 70} = 1437,5 \text{ кг/ч}.$$

Используя [2, табл. II.1], по расходу теплоносителя  $G_{\text{уч.1}} = 1\,437,5 \text{ кг/ч}$  с учетом величины  $R_{\text{ср}} = 110 \text{ Па/м}$  принимаем диаметр участка № 1  $\varnothing 25 \text{ мм}$ . Тогда скорость теплоносителя в трубопроводе составит  $v = 0,665 \text{ м/с}$ , а потери давления от трения –  $R = 279 \text{ Па/м}$ . Потери давления по длине на участке № 1:

$$Rl = 279 \cdot 12,6 = 3515,4 \text{ Па.}$$

На участке находятся 3 отвода под  $90^\circ$ , по [2, табл. П.11] сумма коэффициентов сопротивления равна  $\Sigma\zeta = 1 \times 3 = 3$ . Потери давления в местных сопротивлениях:

$$Z = \Sigma\zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 3 \cdot \frac{978,5 \cdot 0,665^2}{2} = 649,1 \text{ Па.}$$

Общие потери давления на участке № 1 составят:

$$Rl + Z = 3515,4 + 649,1 = 4164,5 \text{ Па.}$$

Аналогично рассчитываются оставшиеся участки циркуляционного кольца. Расчет значений коэффициентов местных сопротивлений приведен в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Коэффициенты местных сопротивлений на участках

№ участка	Вид местного сопротивления	Значение КМС	Сумма КМС на участке
Участок 1	3 отвода $90^\circ$	$3 \times 1 = 3$	$\Sigma\zeta = 3$
Участок 2	тройник на ответвление	1,5	$\Sigma\zeta = 1,5$
Участок 3	тройник проходной	1	$\Sigma\zeta = 1$
Участок 4	вентиль обыкновенный тройник на ответвление	16 1,5	$\Sigma\zeta = 17,5$
Участок 5	тройник проходной	1	$\Sigma\zeta = 1$
Участок 6	тройник на ответвление 2 отвода $90^\circ$ вентиль обыкновенный тройник проходной	1,5 $2 \times 1,5 = 3$ 16 1	$\Sigma\zeta = 21,5$
Участок 7	тройник на ответвление радиатор двухколонный отвод $90^\circ$ тройник на противотоке	1,5 2 1 3	$\Sigma\zeta = 7,5$
Участок 8	тройник на противотоке	3	$\Sigma\zeta = 3$

Окончание табл. 5.1.

№ участка	Вид местного сопротивления	Значение КМС	Сумма КМС на участке
Участок 9	тройник на противотоке 2 отвода 90° кран проходной пробковый тройник проходной	3	$\Sigma \zeta = 11$
		$2 \times 1,5 = 3$	
		4	
		1	
Участок 10	тройник на противотоке	3	$\Sigma \zeta = 3$
Участок 11	тройник на противотоке кран проходной пробковый	3	$\Sigma \zeta = 7$
		4	
Участок 12	тройник на противотоке	3	$\Sigma \zeta = 3$
Участок 13	тройник на противотоке	3	$\Sigma \zeta = 3$
Участок 14	отвод 90°	1	$\Sigma \zeta = 1$

Результаты гидравлического расчета сводятся в табл. 5.2.

Суммируя потери давления на трение и в местных сопротивлениях, определяют потери давления на участке, а затем, суммируя потери давления на расчетных участках, получают потери давления в кольце, которые должны быть в пределах 90 % располагаемого давления.

Таблица 5.2

### Гидравлический расчет трубопроводов

Номера участков	Тепловая нагрузка на участке, $Q_i$ , Вт	Расход воды на участке $G_i$ , кг/ч	Длина участка $l$ , м	Диаметр трубопровода $d$ , мм	Скорость движения воды $u$ , м/с	Потери давления от трения на 1 погонный метр $R$ , Па/м	Потери давления от трения на участке $Rl$ , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений	Динамическое давление $P_d$ , Па	Потери давления в местных сопротивлениях $Z$ , Па	Сумма потерь давления участка $Rl+Z$ , Па
1	41 787	1 437,5	12,6	25	0,665	279	3515,4	3	216,4	649,2	4164,6
2	25 428	874,7	4,2	25	0,405	108,1	454,0	1,5	80,2	120,3	574,3
3	22 093	760,0	0,5	25	0,349	81,2	40,6	1	59,6	59,6	100,2
4	11 108	382,1	0,9	20	0,291	77,8	70,0	17,5	41,4	724,5	794,5
5	7 428	255,5	3,2	15	0,345	161	515,2	1	58,2	58,2	573,4
6	3 173	109,2	9,2	15	0,146	32	294,4	21,5	10,4	223,6	518,0
7	1 046	36,0	4,3	15	0,048	3,1	13,3	7,5	1,1	8,3	21,6

Номера участков	Тепловая нагрузка на участке, $\bar{Q}_i$ , Вт	Расход воды на участке $G_i$ , кг/ч	Длина участка $l$ , м	Диаметр трубопровода $d$ , мм	Скорость движения воды $w$ , м/с	Потеря давления от трения на 1 погонный метр $R$ , Па/м	Потеря давления от трения на участке $Rl$ , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений	Динамическое давление $P_d$ , Па	Потери давления в местных сопротивлениях $Z_i$ , Па	Сумма потерь давления участка $Rl+Z_i$ , Па
8	2 057	70,8	3,1	15	0,095	14,5	45,0	3	4,4	13,2	58,2
9	3 173	109,2	7,8	15	0,146	32	249,6	11	10,4	114,4	364,0
10	7 428	255,5	3,2	15	0,345	161	515,2	3	58,2	174,6	689,8
11	11 108	382,1	0,9	20	0,291	77,8	70,0	7	41,4	289,8	359,8
12	22 093	760,0	1	25	0,349	81,2	81,2	3	59,6	178,8	260,0
13	25 428	874,7	4,6	25	0,405	108,1	497,3	3	80,2	240,6	737,9
14	41 787	1 437,5	1,8	25	0,665	279	502,2	1	216,4	216,4	718,6
$\Sigma$			57,3								9 934,9

После заполнения таблицы 5.2 проверяется выполнение условия:

$$\frac{\Delta p_p - \sum(Rl_i + Z_i)}{\Delta p_p} \cdot 100\% = \frac{10\,792,2 - \sum(10\,792,2 - 9\,934,9)}{10\,792,2} \cdot 100\% = 7,9\%;$$

$$7,9\% \leq 10\%$$

Так как условие выполняется, то гидравлический расчет неблагоприятного кольца системы отопления произведен верно.

**Задача 6.** Произвести гидравлический расчет однотрубной системы отопления с нижней разводкой. Параметры теплоносителя в системе  $105\text{ }^\circ\text{C} - 70\text{ }^\circ\text{C}$ . Схема системы представлена на рис. 6.1.

**Решение:** Неблагоприятным циркуляционным кольцом в данной схеме является кольцо через стояк № 1, так как он наиболее удален от теплового пункта.

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

$$G_{ст} = \frac{0,86 \cdot Q_{ст}}{t_r - t_o}, \quad (22)$$

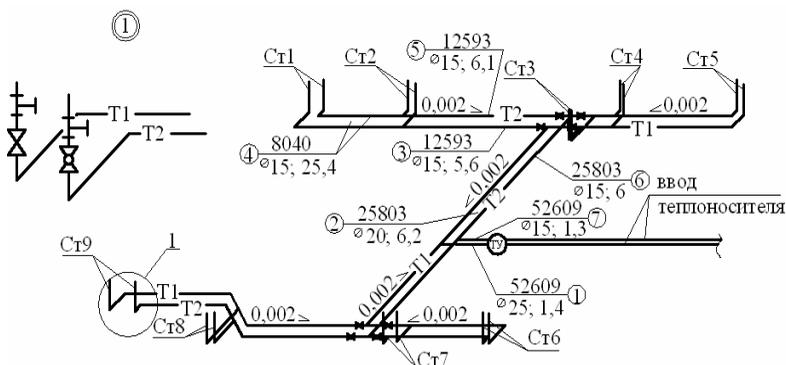


Рис. 6.1. Расчетная схема однотрубной системы отопления с нижней разводкой

где  $G_{ст}$  – тепловая нагрузка стояка, Вт.

Для расчетного стояка 1:

$$G_{ст1} = \frac{0,86 \cdot 8040}{105 - 70} = 197,6 \text{ кг/ч.}$$

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

$$t_{пп(i+1)} = t_i - \frac{0,86 \cdot Q_{пп(i+1)}}{G_{ст}}, \quad (23)$$

где  $t_i$  – температура воды на предыдущем участке, °С;

$Q_{пп(i+1)}$  – тепловая нагрузка отопительного прибора, присоединенного до расчетного участка (i+1), Вт.

Схема расчетного стояка приведена на рис. 6.2.

Определение температуры воды на участках стояка после смешивания потоков после отопительного прибора определяется по формуле (23):

$$t_{см1(n)} = 105 - \frac{0,86 \cdot 1607}{197,6} = 98 \text{ °С;}$$

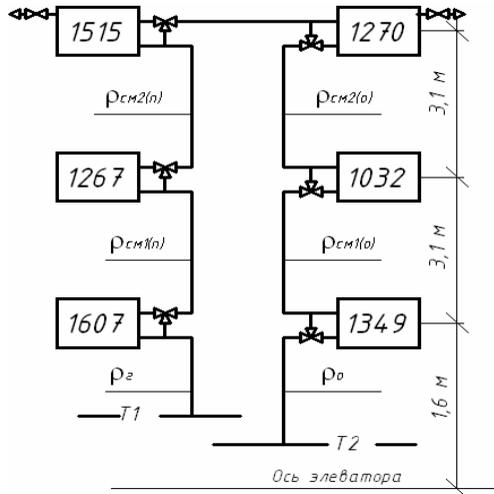


Рис. 6.2. Расчетная схема стояка однотрубной системы отопления с нижней разводкой

$$t_{см2(n)} = 98 - \frac{0,86 \cdot 1267}{197,6} = 92,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{см2(o)} = 92,5 - \frac{0,86 \cdot (1515 + 1270)}{197,6} = 80,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{см1(o)} = 80,4 - \frac{0,86 \cdot 1032}{197,6} = 75,9 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Плотность воды в зависимости от ее температуры определяется по формуле:

$$\rho = 1000,3 - 0,06 \cdot t - 0,0036 \cdot t^2, \quad (24)$$

где  $t$  – температура воды,  $^\circ\text{C}$ .

$$\rho_{см1(n)} = 1000,3 - 0,06 \cdot 98 - 0,0036 \cdot 98^2 = 959,8 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{см2(n)} = 1000,3 - 0,06 \cdot 92,5 - 0,0036 \cdot 92,5^2 = 963,9 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{см1}(o)} = 1000,3 - 0,06 \cdot 80,4 - 0,0036 \cdot 80,4^2 = 972,2 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{см2}(o)} = 1000,3 - 0,06 \cdot 75,9 - 0,0036 \cdot 75,9^2 = 975 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_n = 1000,3 - 0,06 \cdot 105 - 0,0036 \cdot 105^2 = 954,3 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_o = 1000,3 - 0,06 \cdot 70 - 0,0036 \cdot 70^2 = 978,5 \text{ кг/м}^3;$$

Для систем с искусственной циркуляцией величина располагаемого давления определяется по формуле:

$$\Delta p_p = \Delta p_n + B(\Delta p_{\text{в.пр}} + \Delta p_{\text{в.пр}}), \quad (25)$$

где  $\Delta p_n$  – искусственное давление, создаваемое элеватором, Па,  
 $\Delta p_n = 10\,000$  Па;

$\Delta p_{\text{в.пр}}$  – давление, возникающее за счет охлаждения воды в отопительных приборах, Па;

$\Delta p_{\text{в.пр}}$  – давление, вызываемое охлаждением воды в трубопроводах, Па, принимаемое по [2, табл. II.1];

$B$  – коэффициент, определяющий долю максимального естественного давления, которую целесообразно учитывать в расчетных условиях; для однотрубной системы  $B = 1$ .

Величина естественного давления, возникающая за счет охлаждения воды в отопительных приборах, Па, для вертикальной однотрубной системы с опрокинутой циркуляцией рассчитывается следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{в.пр}} = & h_1 \cdot g \cdot (\rho_{\text{см1}(o)} - \rho_{\text{см1}(n)}) + h_2 \cdot g \cdot (\rho_{\text{см2}(o)} - \rho_{\text{см2}(n)}) + \\ & + h_1 \cdot g \cdot (\rho_o - \rho_n), \end{aligned} \quad (26)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$\rho_{\text{см1}(n)}$ ,  $\rho_{\text{см2}(n)}$  – плотности воды на соответствующих участках подъемной части стояка, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{см1(o)}, \rho_{см2(o)}$  – плотность воды на соответствующих участках отпускнуой части стояка, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_o, \rho_n$  – плотности соответственно обратной и горячей воды, кг/м<sup>3</sup>;

$h_1, h_2$  – вертикальные расстояния для систем отопления со стояками проточными регулируемые от центра приборов одного этажа до центра приборов следующего этажа, м;

$h_n$  – вертикальное расстояние от середины элеватора до центра прибора нижнего этажа, м.

$$\Delta P_{\text{е.пр}} = 3,1 \cdot 9,8 \cdot (972,2 - 959,8) + 3,1 \cdot 9,8 \times \\ \times (975 - 963,9) + 1,6 \cdot 9,8 \cdot (978,5 - 954,3) = 1093 \text{ Па.}$$

Тогда располагаемое давление в системе составит:

$$\Delta P_p = 10\,000 + 1 \cdot (1\,093 + 100) = 11\,193 \text{ Па.}$$

При расчете трубопроводов по методу удельных потерь давления для предварительного выбора диаметров участков неблагоприятного циркуляционного кольца находят ориентировочное значение удельной потери давления от трения при движении теплоносителя по трубам по формуле:

$$R_{\text{ср}} = \frac{0,9 \cdot \Delta p_p \cdot K}{\sum l}, \quad (27)$$

где  $K$  – доля потерь давления на трение, принимается для систем с искусственной циркуляцией равной 0,65 [2];

$\sum l = 51,1$  м – сумма длин участков расчетного кольца.

$$R_{\text{ср}} = \frac{0,9 \cdot 11\,193 \cdot 0,65}{51,1} = 128,1 \text{ Па/м.}$$

Приведем пример расчета для участка № 2.

Тепловая нагрузка участка равна сумме нагрузок стояков 1–5 системы отопления здания  $Q_{\text{уч.2}} = \sum_{\text{ст}1}^5 Q = 25\,803 \text{ Вт}$ . Длина участка 6,2 м. Расход теплоносителя на участке:

$$G_{\text{уч.2}} = \frac{0,86 \cdot Q_{\text{уч.2}}}{t_{\text{г}} - t_{\text{о}}} = \frac{0,86 \cdot 25\,803}{105 - 70} = 634,0 \text{ кг/ч.}$$

Используя [2, табл. II.1], по расходу теплоносителя  $G_{\text{уч2}} = 634,0 \text{ кг/ч}$  с учетом величины  $R_{\text{сп}} = 142,4 \text{ Па/м}$  принимаем диаметр участка № 2 20 мм. Тогда скорость теплоносителя в трубопроводе составит  $v = 0,478 \text{ м/с}$ , а потери давления от трения  $R = 218 \text{ Па/м}$ . Потери давления по длине на участке № 2:

$$Rl = 128 \cdot 6,2 = 1351,6 \text{ Па.}$$

Все местные сопротивления, которые располагаются на стыках двух участков, относятся к участкам с меньшими расходами. На участке № 2 находится тройник на ответвление, по [2, табл. II.11] коэффициент местного сопротивления  $\zeta = 1,5$ . Потери давления в местных сопротивлениях на участке № 2:

$$Z = \sum \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 1,5 \cdot \frac{978,5 \cdot 0,478^2}{2} = 460,83 \text{ Па.}$$

Общие потери давления на участке № 2 составят:

$$Rl + Z = 1351,6 + 460,83 = 1\,812,43 \text{ Па.}$$

Аналогично рассчитываются оставшиеся участки циркуляционного кольца. Расчет значений коэффициентов местных сопротивлений приведен в табл. 6.1. Результаты гидравлического расчета сведены в табл. 6.2.

Таблица 6.1

## Коэффициенты местных сопротивлений на участках

№ участка	Вид местного сопротивления	Значение КМС	Сумма КМС на участке
Участок 2	тройник ответвления	1,5	$\Sigma\zeta = 1,5$
Участок 3	тройник проходной	1,5	$\Sigma\zeta = 17,5$
	вентиль обыкновенный	16	
Участок 4	9 тройников на проходе	$\zeta = 1 \times 9 = 9$	$\Sigma\zeta = 77$
	14 отводов 90°	$\zeta = 1,5 \times 14 = 21$	
	6 радиаторов двухколонных	$\zeta = 2 \times 6 = 12$	
	6 кранов трехходовых при прямом проходе	$\zeta = 2 \times 6 = 12$	
	тройник на противотоке	$\zeta = 3$	
	вентиль обыкновенный	$\zeta = 16$	
	кран проходной пробковый	$\zeta = 4$	
Участок 5	тройник на противотоке кран проходной пробковый	$\zeta = 3$	$\Sigma\zeta = 7$
		$\zeta = 4$	
Участок 6	тройник на противотоке	$\zeta = 3$	$\Sigma\zeta = 3$

Суммируя потери давления на расчетных участках, получают потери давления в кольце, которые должны быть в пределах 90 % располагаемого давления. После заполнения табл. 6.2 проверяется выполнение условия:

$$\frac{\Delta p_p - \sum(Rl_i + Z_i)}{\Delta p_p} \cdot 100\% = \frac{11\,193 - 10\,169,81}{11\,193} \cdot 100\% = 9,1\% \leq 10\%.$$

Так как условие выполняется, то гидравлический расчет неблагоприятного кольца системы отопления произведен верно.

Таблица 6.2

## Гидравлический расчет трубопровода

Номера участков	Тепловая нагрузка на участке $Q_i$ , Вт	Расход воды на участке $G_i$ , кг/ч	Длина участка $l$ , м	Диаметр трубопровода $d$ , мм	Скорость движения воды $v$ , м/с	Потери давления от трения на 1 погонный метр $R$ , Па/м	Потери давления от трения на участке $Rl$ , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений	Динамическое давление $P_0$ , Па	Потери давления в местных сопротивлениях $Z$ , Па	Сумма потерь давления участка $Rl+Z$ , Па
1	52 609	1 292,7	1,4	25	0,589	223	312,20		169,73	0,00	312,20
2	25 803	634,0	6,2	20	0,478	218	1 351,60	1,5	111,79	167,68	1 519,28
3	12 593	309,4	5,6	20	0,232	52	291,20	17,5	26,33	460,83	752,03
4	8 040	197,6	24,5	15	0,269	99	2 425,50	77	35,40	2 726,0	5 151,5
5	12 593	309,4	6,1	20	0,232	52	317,20	7	26,33	184,33	501,53
6	25 803	634,0	6	20	0,478	218	1 308,00	3	111,79	335,36	1 643,36
7	52 609	1 292,7	1,3	25	0,589	223	289,90		169,73	0,00	289,90
			51,1								10 169,8

**Задача 7.** Расставить и рассчитать отопительные приборы в жилой комнате 1 трехэтажного жилого дома, расположенного в г. Полоцке (см. задачу 4). В качестве отопительных приборов установить радиаторы чугунные типа 2К-60П-500. Система отопления – двухтрубная.

**Решения:** Отопительные приборы размещаем в помещении под оконным проемом (рис. 7.1).

Количество теплоты, которое должно передаваться в помещение 1, равно теплодефицитам в данном помещении, принимаемым по табл. 4.1.

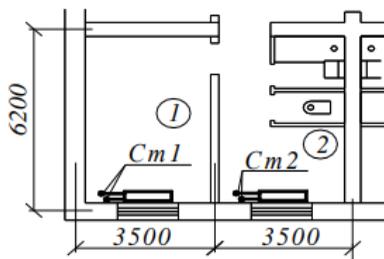


Рис. 7.1. Фрагмент плана с размещением отопительных приборов

Определяем количество теплоты, Вт, поступающей в помещение от открыто положенных труб, по формуле [20]:

$$Q_{\text{тр}} = q_{\text{в}} l_{\text{в}} + q_{\text{г}} l_{\text{г}}, \quad (28)$$

где  $q_{\text{в}}, q_{\text{г}}$  – теплоотдача 1 м вертикально и горизонтально проложенных труб, Вт/м, принимается равной:  $q_{\text{в}} = 90 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$ ;  $q_{\text{г}} = 110 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$  [2; 21];

$l_{\text{в}}, l_{\text{г}}$  – длина вертикальных и горизонтальных трубопроводов, проложенных в помещении, м.

Длина вертикальных труб: в помещении 101 –  $l_{\text{в}} = 4,3$  м; в помещении 201 –  $l_{\text{в}} = 5,0$  м; в помещении 301 –  $l_{\text{в}} = 2,7$  м.

Длина горизонтальных труб во всех помещениях  $l_{\text{г}} = 1,0$  м.

Теплопоступления от труб в помещении 101 составят:

$$Q_{\text{тр}} = 90 \cdot 4,3 + 110 \cdot 1 = 497 \text{ Вт.}$$

Необходимая теплопередача отопительного прибора, Вт, в рассматриваемом помещении определяется по формуле:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{п}} - 0,9 \cdot Q_{\text{тр}}, \quad (29)$$

где  $Q_{\text{п}}$  – теплопотери помещения, Вт (табл. 4.1);

$Q_{\text{п}}$  – теплоотдача открыто положенных в пределах помещения труб стояка (ветви) и подводок, к которым непосредственно присоединен прибор, Вт.

Определим необходимую теплопередачу отопительного прибора в помещении 101:

$$Q_{\text{пр}} = 1367,4 - 0,9 \cdot 497 = 920,1 \text{ Вт.}$$

Количество секций отопительного прибора определяется по формуле [20]:

$$N = \frac{Q_{\text{пр}} \cdot \beta_4}{q_{\text{пр}} \cdot \beta_3}, \quad (30)$$

где  $Q_{\text{пр}}$  – теплопередача отопительного прибора, Вт;

$\beta_4$  – поправочный коэффициент, учитывающий способ установки радиатора в помещении; при открытой установке  $\beta_4 = 1$  [2];

$\beta_3$  – поправочный коэффициент, учитывающий число секций в одном радиаторе, принимаемый при числе секция: до 15 –  $\beta_3 = 1$ ; от 16 до 20 –  $\beta_3 = 0,98$ ; от 21 до 25 –  $\beta_3 = 0,96$  [2];

$q_{\text{пр}}$  – расчетная плотность теплового потока, Вт, определяемая для одной секции чугунного радиатора по формуле:

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{ном}} \cdot \left( \frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1,3}, \quad (31)$$

где  $q_{\text{ном}}$  – номинальная плотность теплового потока секции чугунного радиатора, Вт, принимаемая для чугунных радиаторов 2К-60П-500 равной  $q_{\text{ном}} = 125$  Вт ;

$\Delta t_{\text{ср}}$  – температурный напор, °С, определяемый по формуле

$$\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}, \quad (32)$$

где  $t_{\text{в}}$  – температура воздуха в помещении, °С;

$t_{\text{ср}}$  – средняя температура воды в приборе, °С, определяемая по формуле для двухтрубной системы:

$$t_{\text{ср}} = 0,5 \cdot (t_{\text{г}} + t_{\text{о}}), \quad (33)$$

где  $t_{\text{г}}, t_{\text{о}}$  – температуры соответственно горячей и обратной воды, °С.

Так как система отопления двухтрубная, то температура воды, поступающей в отопительный прибор, равна  $t_{\text{г}} = 95$  °С, а выходящей из отопительного прибора –  $t_{\text{о}} = 70$  °С.

Тогда средняя температура воды в приборе составит:

$$t_{\text{ср}} = 0,5 \cdot (95 + 70) = 82,5 \text{ °С.}$$

Температурный напор составит:

$$t_{\text{ср}} = 82,5 - 20 = 62,5 \text{ °С.}$$

Определим расчетную плотность теплового потока для одной секции чугунного радиатора, принимая номинальную плотность теплового потока секции для чугунных радиаторов типа 2К-60П-500 равной  $q_{\text{ном}} = 125$  Вт .

$$q_{\text{пр}} = 125 \cdot \left( \frac{62,5}{70} \right)^{1,3} = 107,9 \text{ Вт.}$$

Количество секций отопительного прибора, установленного в помещении 101, будет равно:

$$N = \frac{920,1 \cdot 1}{107,9 \cdot 1} = 8,5 \text{ шт.}$$

К установке в помещении 101 принимаем чугунный радиатор 2К-60П-500, скомпонованный из 9 секций.

Аналогично производится расчет отопительных приборов в помещениях 201 и 301. Результаты расчета сведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

## Расчет отопительных приборов

Номер помещения	Теплопотери помещения $Q_{п}$ , Вт	Теплоотдача труб $Q_{тр}$ , Вт	Температурный напор $t_{ср}$ , °С	Расчетная плотность теплового потока $q_{нр}$ , Вт	Расчетное число секций $N$	Принятое число секций
101	1 367,4	497	62,5	107,9	8,5	9
201	1 110,3	560	62,5	107,9	5,1	5
301	1 295,0	353	62,5	107,9	8,7	9

## 3. Расчет вентиляционных систем зданий и сооружений

**Задача 8.** Спроектировать систему вентиляции в однокомнатной квартире (рис. 8.1) трехэтажного бесчердачного дома с высотой этажа 2,8 м. Выполнить расчет элементов запроектированных систем вентиляции.

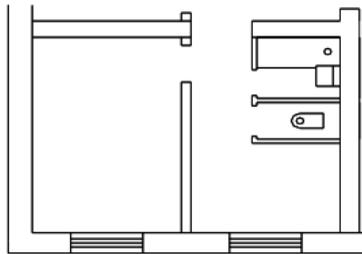


Рис. 8.1. План однокомнатной квартиры

**Решение.** В соответствии с рекомендациями [4] в квартире проектируем систему естественной вытяжной вентиляции. Приток воздуха в помещения квартиры будет происходить неорганизованно через неплотности в ограждающих конструкциях. Так как все жилые комнаты квартиры сообщаются с кухней и санузлом через коридор, то вытяжные системы устраиваем только в этих помещениях. Удаление воздуха организуем по вентиляционным каналам, выполненным во внутренних несущих стенах. Так как стены вы-

полнены из кирпича, то размеры принимаем кратными размерам кирпича. Вентиляционные каналы размещаем в кухне и ванной. Для удаления воздуха из уборной в перегородке предусматриваем переточное отверстие.

Количество воздуха, удаляемого системами вытяжной вентиляции, принимаем [4, прил. В]:

- для кухни при четырехконфорочной плите –  $L = 90 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- для ванной и туалета –  $L = 25 + 25 = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Для удаления воздуха с каждого этажа предусматривается отдельный вентиляционный канал. Удаляемый воздух из помещений попадает в канал через вентиляционную решетку. Так как здание бесчердачное, то каналы выводятся непосредственно на кровлю без объединения в сборный вентиляционный короб. Выброс воздуха осуществляется на высоте 0,5 м от поверхности кровли. На кровле каналы объединяются оголовком и накрываются зонтом для предотвращения попадания атмосферных осадков в систему вентиляции. На рис. 8.2 представлены расчетные схемы систем вентиляции, спроектированных в однокомнатной квартире.

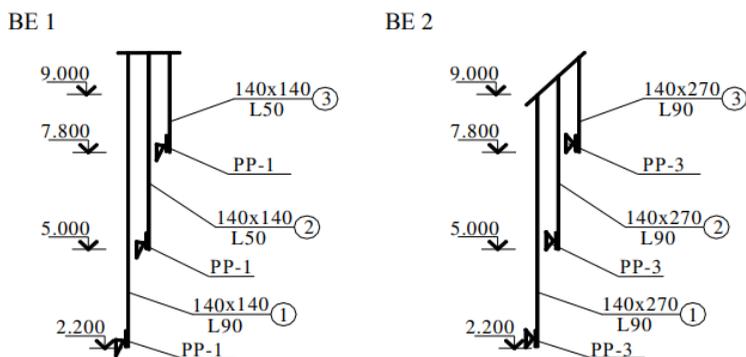


Рис. 8.2. Расчетные схемы систем вентиляции

Ориентировочное сечение канала,  $\text{м}^2$ , определяется по формуле [20]:

$$f_{\text{к}}^{\text{оп}} = \frac{L}{3600 \cdot v_{\text{доп}}}, \quad (34)$$

где  $L$  – расход воздуха, удаляемого через канал,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $v_{\text{доп}}$  – допустимая скорость воздуха в канале,  $\text{м}/\text{с}$ .

Определяем ориентировочное сечение канала для кухни и ванной, задаваясь допустимой скоростью движения воздуха в канале  $v_{\text{доп}} = 0,7 \text{ м}/\text{с}$ :

$$f_{\text{к}}^{\text{оп}} = \frac{90}{3600 \cdot 0,7} = 0,036 \text{ м}^2;$$

$$f_{\text{к}}^{\text{оп}} = \frac{50}{3600 \cdot 0,7} = 0,0198 \text{ м}^2.$$

Принимаем в кухне вентиляционные каналы размером  $140 \times 270 \text{ мм}$  ( $f_{\text{к}} = 0,038 \text{ м}^2$ ), в ванной комнате –  $140 \times 140 \text{ мм}$  ( $f_{\text{к}} = 0,0196 \text{ м}^2$ ).

По [13, рис. 14.9] определяем значения удельных потерь давления от трения на 1 м длины вентиляционного канала  $R$ ,  $\text{Па}/\text{м}$ , и динамическое давление  $p_{\text{д}}$ ,  $\text{Па}$ .

Для определения потерь давления в местных сопротивлениях определяем коэффициенты местных сопротивлений, значения которых принимаем по [13, прил. 9]. На всех участках систем вентиляции будут следующие местные сопротивления:

- вход с поворотом потока воздуха  $\zeta - 2$ ;
- выход с поворотом потока воздуха  $\zeta - 2,5$ ;

Сумма коэффициентов местных сопротивлений равна:  $\sum \zeta = 4,5$ .

Потери давления на участке вентиляционной сети определяются по формуле:

$$\Delta p = R \cdot l \cdot \beta + Z, \tag{35}$$

где  $R$  – потери давления на 1 м длины круглого воздуховода,  $\text{Па}/\text{м}$ ; принимаются по [13, рис. 14.9];

$l$  – длина участка,  $\text{м}$ ;

$\beta$  – поперечный коэффициент на шероховатость стенок канала, принимаемый для кирпичных каналов равным 1,3; для каналов в вентблоках – 1,5;

$Z$  – потери давления в местных сопротивлениях, определяемые как:

$$Z = \sum \zeta \cdot p_d, \quad (36)$$

где  $\zeta$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке, определяемая в зависимости от видов местных сопротивлений по [13, прил. 9];

$p_d$  – динамическое давление на участке, Па, принимается по [13, рис. 14.9].

Тогда потери давления в местных сопротивлениях на участке 1 равны:

$$Z = 4,5 \cdot 0,49 = 2,2 \text{ Па.}$$

Общие потери давления на участке 1:

$$\Delta p = 0,87 \cdot 6,8 \cdot 1,3 + 2,2 = 9,89 \text{ Па.}$$

Расчетное располагаемое давление, Па, в системе естественной вентиляции определяется по формуле

$$\Delta p_e = g \cdot h \cdot (\rho_n + \rho_b), \quad (37)$$

где  $h$  – вертикальное расстояние от центра вытяжной решетки до устья вытяжной шахты, м;

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха при температуре  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $\rho_n = 1,27 \text{ кг/м}^3$ ;

$\rho_b$  – плотность внутреннего воздуха,  $\text{кг/м}^3$ , определяемая для температуры  $t$  по формуле

$$\rho_b = \frac{353}{273 + t}. \quad (38)$$

Плотность внутреннего воздуха составит:

$$\text{– для кухни – } \rho_b = \frac{353}{273 + 18} = 1,21 \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{– для санузла – } \rho_b = \frac{353}{273 + 25} = 1,18 \text{ кг/м}^3.$$

Располагаемое естественное давление определяется отдельно для канала каждого этажа:

– для каналов I этажа из кухни:

$$\Delta p_e = 9,81 \cdot 6,8 \cdot (1,27 - 1,21) = 4,0 \text{ Па};$$

– для каналов I этажа из ванной комнаты:

$$\Delta p_e = 9,81 \cdot 6,8 \cdot (1,27 - 1,18) = 6,0 \text{ Па};$$

– для каналов II этажа из кухни:

$$\Delta p_e = 9,81 \cdot 4,0 \cdot (1,27 - 1,21) = 2,35 \text{ Па};$$

– для каналов II этажа из ванной комнаты:

$$\Delta p_e = 9,81 \cdot 4,0 \cdot (1,27 - 1,18) = 3,53 \text{ Па};$$

– для каналов III этажа из кухни:

$$\Delta p_e = 9,81 \cdot 1,2 \cdot (1,27 - 1,21) = 0,71 \text{ Па};$$

– для каналов III этажа из ванной комнаты:

$$\Delta p_e = 9,81 \cdot 1,2 \cdot (1,27 - 1,18) = 1,06 \text{ Па}.$$

Для нормальной работы системы вентиляции необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$\frac{\Delta p_e - \sum (Rl\beta + Z)}{\Delta p_e} \cdot 100 \% \leq 10 \%. \quad (39)$$

Выполняем проверку условия для участка 1:

$$\frac{4,0 - 9,89}{4,0} \cdot 100 \% = 26 \% > 10 \%.$$

Условие не выполняется. Уменьшать сечение в данном случае нецелесообразно, так как канал ближайшего сечения 140×140 мм не сможет пропустить такой расход воздуха, в этом случае можно регулировать расход удаляемого воздуха путем прикрытия жалюзи воздухозаборной решетки.

Аналогично выполняется расчет всех остальных участков. Результаты расчета сведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Аэродинамический расчет системы вентиляции

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
BE2													
1	90	6,8	140×270	184	0,9	0,87	1,3	0,77	0,49	4,5	2,19	9,89	26
2	90	4,0	140×270	184	0,9	0,87	1,3	0,45	0,49	4,5	2,19	2,64	-12
3	90	1,2	140×270	184	0,9	0,87	1,3	0,14	0,49	4,5	2,19	2,33	-228
BE1													
1	50	6,8	140×140	140	0,9	0,115	1,3	1,02	0,49	4,5	2,19	3,21	47
2	50	4,0	140×140	140	0,9	0,115	1,3	0,6	0,49	4,5	2,19	2,79	21
3	50	1,2	140×140	140	0,9	0,115	1,3	0,18	0,49	4,5	2,19	2,37	-124

В тех помещениях, где потери давления превышают располагаемое естественное давление, а размеры канала увеличить невозможно, вместо жалюзийных решеток на входе в вентиляционный канал устанавливаются осевые вентиляторы.

Ориентировочное сечение решетки,  $\text{м}^2$ , определяется по формуле:

$$f_{\text{реш}}^{\text{ор}} = \frac{L}{3600 \cdot v_{\text{доп}}}, \quad (40)$$

где  $L$  – расход воздуха, удаляемого через решетку,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$v_{\text{доп}}$  – допустимая скорость воздуха в решетке,  $\text{м}/\text{с}$ .

Определим ориентировочное сечение решетки,  $\text{м}^2$ , с допустимой скоростью в решетке  $v_{\text{доп}} = 0,75 \text{ м}/\text{с}$ :

– на кухне  $f_{\text{реш}}^{\text{ор}} = \frac{90}{3600 \cdot 0,75} = 0,033 \text{ м}^2$ , следовательно принимаем по [2, табл. 3] к установке жалюзийную решетку с поперечными

размерами  $200 \times 200$  с площадью живого сечения  $f = 0,032 \text{ м}^2$ ;

– в санузле  $f_{\text{реш}}^{\text{ор}} = \frac{50}{3600 \cdot 0,75} = 0,019 \text{ м}^2$ , следовательно, принимаем по [2, табл. 3.9] к установке жалюзийную решетку с поперечными

размерами  $200 \times 100$  с площадью живого сечения  $f = 0,016 \text{ м}^2$ .

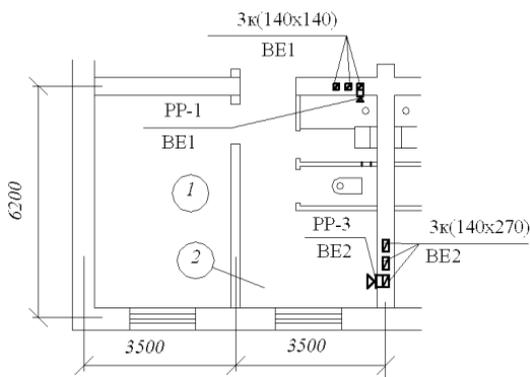


Рис. 8.3. План однокомнатной квартиры на третьем этаже с размещением систем вентиляции

## ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

1. Что такое тепловые потери, тепловые поступления?
2. Что такое количество теплоты?
3. Что такое тепловая устойчивость здания?
4. Для каких целей необходимо проводить тепловой расчет здания?
5. Какие системы называют двухтрубными? Поясните принцип их работы.
6. Какие системы называют однострубными? Поясните принцип их работы.
7. Назовите преимущества и недостатки однострубных систем водяного отопления.
8. Назовите преимущества и недостатки двухтрубных систем водяного отопления.
9. Какими факторами вызываются местные сопротивления?
10. Как определяется циркуляционное давление в кольце?
11. Назовите преимущества и недостатки однострубных систем отопления.
12. Какими бывают схемы присоединения систем отопления здания к источнику теплоснабжения?
13. Назовите преимущества независимой схемы.
14. Опишите работу бифилярной системы отопления.
15. Как определяются потери давления в местных сопротивлениях и от чего они зависят?
16. Как определяется теплоотдача от нагревательных приборов в помещении?
17. Как определяется число секций нагревательного прибора?
18. Как определяется расчетная площадь нагревательной поверхности?
19. Как определяется средняя температура теплоносителя в приборе?
20. Как определяется расчетная площадь отопительного прибора?
21. Как определяется плотность теплового потока отопительного прибора?
22. Как определяется расчетная площадь нагревательной поверхности?
23. Как определяется средняя температура теплоносителя в приборе?
24. По какой схеме подключают отопительные приборы?
25. Как определяется площадь поверхности отопительных приборов?
26. Как определяется длина трубы?
27. Как определяется тепловая мощность прибора?
28. Как определяется мощность прибора?
29. Чему равна средняя температура теплоносителя?

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Б. М. Хрусталева [и др.]; под. общ. ред. Б. М. Хрусталева. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 783 с.
2. Внутренние санитарно-гигиенические устройства: в 3 ч. / В. Н. Богословский [и др.]; под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. – М. : Стройиздат, 1992. – Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 1. – 319 с.
3. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) / В. Н. Богословский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1982. – 415 с.
4. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : ГОСТ 30494-2011. – Введ. 13.11.2017. – Минск : Госстандарт, 2018. – 11 с.
5. Здания и сооружения. Энергетическая эффективность : СН 2.04.02-2020. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2021. – 24 с.
6. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны: ГОСТ 12.1.005-88. – Введ. 01.01.89. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 76 с.
7. Строительная климатология : СНБ 2.04.02-2000. – Минск : Мин-во архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2001. – 37 с.
8. Строительная климатология : справочное пособие к СНиП 23-01-99\* / В. К. Савин [и др.]; под. ред. чл.-кор. В. К. Савина. – М. : НИИ строительной физики РААСН, 2006. – 258 с.
9. Строительная теплотехника : СП 2.04.01-2020. – Введ. 20.01.2021. – Минск : Мин-во. архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 72 с.
10. Таблицы психометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения : ГОСТ 8.524-85. – Введ. 12.02.1985. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – 34 с.
11. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СН 4.02.03-2019. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 68 с.
12. Картавцева, О. В. Инженерные сети и оборудование. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция : учеб.-метод. комплекс

для студентов спец. 1-70 02 01, 1-70 02 02, 1-70 04 03 и слушателей ИПК УО «ПГУ» спец. 1-70 02 71 / О. В. Картавцева, Н. В. Кундро, О. Н. Широкова; под общ. ред. О. В. Картавцевой. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – 232 с.

13. Тихомиров, К. В. Теплотехника, теплогазоснабжение, вентиляция : учеб. пособие / К. В. Тихомиров, Э. С. Сергеенко – 5-е изд. – М. : Бастет, 2007. – 480 с.

14. Брюханов, О. Н., Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики: учеб. / О. Н. Брюханов, В. И. Коробко, А. Т. Мелик-Аракелян. – М. : Инфра-М, 2014. – 254 с.

15. Хрусталева, Б. М. Научно-технологические принципы методологии определения комплекса теплофизических характеристик материалов для проекта нормативных документов с целью создания эффективных ограждающих конструкций сооружений различного назначения с заданными свойствами, обеспечивающими их ресурсо- и энергосберегающие качества при изготовлении и эксплуатации / Б. М. Хрусталева [и др.]. – Минск : БНТУ, 2016.

16. Зеликов, В. В. Справочник инженера по отоплению, вентиляции и кондиционированию / В. В. Зеликов. – М. : Инфра-Инженерия, 2013. – 624 с.

17. Нестеров, Л. В. К вопросу расчета сопротивления теплопередаче современных конструкций наружных стен зданий / Л. В. Нестеров, А. Б. Крутилин // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2007. – № 3. – С. 65–70.

18. Лешкевич, В. В. Результаты прогнозирования температурно-влажностного состояния наружных стен из ячеистого бетона и их применение для расчета долговечности / В. В. Лешкевич // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2018. – Вып. 10. – С. 185–199.

19. Куприянов, В. Н. Физика среды и ограждающих конструкций / В. Н. Куприянов – Москва : Издательство АСВ, 2017. – 310 с.

20. Штокман, Е. А. Теплогазоснабжение и вентиляция : учебное пособие / Штокман Е. А. , Карагодин Ю. Н. – Москва : Издательство АСВ, 2013. – 176 с.

21. Дыховичный, Ю. А. Жилые и общественные здания : краткий справочник инженера-конструктора / Под ред. Ю. А. Дыховичного и В. И. Колчунова. – Москва : Издательство АСВ, 2011. – Том II. – 400 с.

Учебное издание

**ПЕХОТА** Александр Николаевич  
**КРУТИЛИН** Антон Борисович  
**ЗОЛОТАРЁВА** Ирина Михайловна

## **СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА, ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ**

Пособие

для студентов очной и заочной форм обучения специальностей

1-08 01 01-05 «Профессиональное обучение (строительство)»,

1-27 01 01-04 «Экономика и организация производства  
(коммунальное и водное хозяйство)»,

1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»,

1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»

Редактор *Н. Д. Будкин*

Компьютерная верстка *А. В. Степанкиной*

Подписано в печать 30.10.2024. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,55. Уч.-изд. л. 1,29. Тираж 100. Заказ 54.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.