

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

для курсового проектирования по дисциплине  
*“Инженерные сети и оборудование”*  
на тему **“Отопление и вентиляция жилого здания”**  
для студентов специальностей  
**70 04 03, 70 02 01** для всех форм обучения

Брест 2004

УДК 697.911 (075.8)

Настоящие методические указания для выполнения курсового проекта по отоплению и вентиляции жилого здания составлены в соответствии с программой курса "Инженерные сети и оборудование" для студентов специальностей 70 04 03 "Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов", 70 02 01 "Промышленное и гражданское строительство".

В работе использованы действующие нормативные документы, изложены объем работы и последовательность выполнения курсового проекта, основные методики расчетов, примеры расчетов.

Составили: М.Г. Горбачева, доцент  
В.С. Северянин, профессор  
В.Г. Новосельцев, ст. преподаватель  
И.А. Черников, ассистент

Рецензент: ведущий инженер районных тепловых сетей (РТС) г. Бреста  
Кузьмин В.Н.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
1. Задание к курсовому проекту.....	4
1.1. Исходные данные для выполнения курсового проекта.....	4
2. Состав курсового проекта.....	7
3. Методические указания к выполнению курсового проекта.....	7
3.1. Общая часть.....	7
3.2. Теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций.....	8
3.3. Проверка внутренней поверхности наружной стены на конденсацию влаги.....	15
3.4. Проверка ограждающих конструкций на воздухопроницаемость.....	16
3.5. Расчет тепловых потерь отдельными помещениями и зданием в целом. Определение потерь теплоты зданием по укрупненным измерителям.....	17
3.6. Основные принципы конструирования системы отопления здания.....	28
3.6.1. Выбор типа отопительных приборов, размещение их в здании и присоединение к трубопроводам системы отопления.....	29
3.6.2. Определение поверхности нагрева отопительных приборов.....	30
3.6.3. Тепловой пункт. Принципиальные схемы узлов присоединения системы водяного отопления здания к наружным тепловым сетям и их оборудование.....	38
3.6.4. Гидравлический расчет системы водяного отопления.....	43
3.7. Конструирование и аэродинамический расчет естественной канальной вытяжной системы вентиляции.....	54
3.7.1. Общие положения об устройстве естественной вытяжной канальной системы вентиляции и принцип ее работы.....	54
3.7.2. Аэродинамический расчет естественной вытяжной канальной системы вентиляции.....	57
3.8. Приложения.....	60
Литература.....	65

# 1. ЗАДАНИЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ.

Разработка проекта "Отопление и вентиляция жилого здания" имеет целью закрепить теоретические знания студентов, овладеть приемами проектирования современных систем отопления и вентиляции.

Тема курсового проекта - отопление и вентиляция жилого здания.

Курсовой проект разрабатывается для 2-4-х этажного жилого здания.

Система центрального отопления – водяная двухтрубная или вертикальная однотрубная с искусственной циркуляцией, с верхней или нижней разводкой; параметры воды  $t_1 = 95 + 105^{\circ}\text{C}$ ;  $t_0 = 70^{\circ}\text{C}$ .

Источник теплоснабжения - наружные тепловые сети от ТЭЦ, теплоноситель - перегретая вода с параметрами ( $T_1$  и  $T_0$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ).

Присоединение системы отопления здания к наружным тепловым сетям произвести в тепловом пункте, расположенном в подвале здания, по независимой схеме через водоподогреватель с циркуляционным насосом, либо по зависимой схеме со смесительной установкой (насосом на переключке или водоструйным элеваторм).

Система вентиляции - естественная канальная вытяжная.

Студенты выполняют курсовой проект по индивидуальному заданию, которое включает исходные данные для проектирования, перечень вопросов, подлежащих рассмотрению, объем графического материала с указанием чертежей и масштабов, сроки выдачи и сдачи курсового проекта. В исходных данных указываются район строительства, планы этажей и разрез здания, ориентация его главного фасада по сторонам света, характеристика наружных ограждающих конструкций здания (конструкции внутренних несущих стен и межкомнатных, межквартирных перегородок принимаются по усмотрению исполнителя в соответствии с действующими нормативами), тип системы отопления, схема узла присоединения системы отопления к тепловым сетям, температура воды в системе отопления дома ( $t_1$  и  $t_0$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), в тепловых сетях ( $T_1$  и  $T_0$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) и давление, передаваемое насосом (элеваторм) в систему отопления для обеспечения циркуляции воды в ней ( $P_{\text{нз}}$ , кПа).

## 1.1. Исходные данные для выполнения курсового проекта

Р: Район строительства - выбирают по табл.1

Таблица 1

Предпоследняя цифра шифра	0,1	2	3,9	4,5	6	7,8
Район строительства (область)	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская

2. Вариант конструкций ограждений здания - табл.2

Таблица 2

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер варианта конструкций	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

3. Ориентация главного фасада по сторонам света - выбирают по табл.3

Таблица 3

Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ориентация	С	Ю	В	З	СВ	СЗ	ЮВ	ЮЗ	СЗ	Ю

4. Число этажей - табл.4

Таблица 4

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Этажность	4	4	4	4	4	4	2	2	3	3

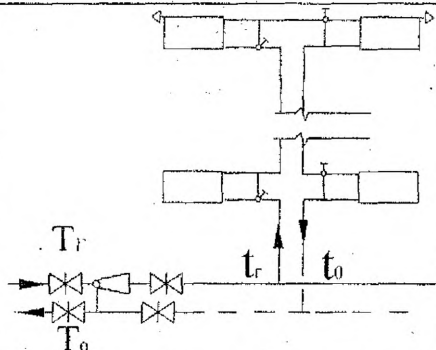
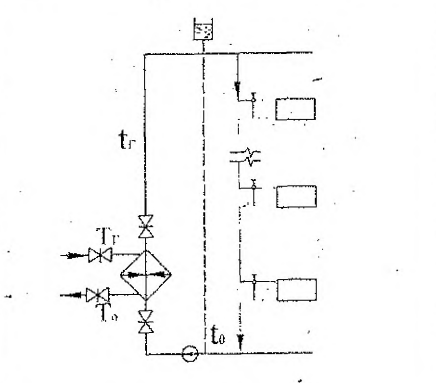
5. Вариант плана здания выбирают по табл.5

Таблица 5

Предпоследняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер варианта плана	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

6. Выбор вида системы водяного отопления - табл.6

Таблица 6

Последняя цифра шифра	Вид системы отопления	Схема стояков
0,1,2	Однотрубная с нижней разводкой, проточно-регулируемая с искусственной циркуляцией, П-образными стояками.	
3,4	Однотрубная с верхней разводкой, проточно-регулируемая с искусственной циркуляцией.	

<p>5</p>	<p>Однотрубная с верхней разводкой, с замыкающими участками с проходными кранами КРП на подводках к отопительным приборам с искусственной циркуляцией.</p>	
<p>6,7</p>	<p>Двухтрубная с верхней разводкой с искусственной циркуляцией.</p>	
<p>8,9</p>	<p>Двухтрубная с нижней разводкой с искусственной циркуляцией.</p>	

## 2. СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.

Курсовой проект по отоплению и вентиляции жилого здания состоит из расчетно-пояснительной записки (30 ... 35 страниц рукописного текста) и графической части.

**Расчетно-пояснительная записка** включает следующие вопросы:

1. Общая часть.
2. Теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций здания.
3. Проверка внутренней поверхности наружной стены на конденсацию влаги.
4. Проверка ограждающих конструкций на воздухопроницаемость.
5. Расчет потерь теплоты отдельными помещениями и зданием в целом. Определение тепловых потерь здания по укрупненным измерителям.
6. Основные принципы конструирования системы отопления:
  - 6.1. Выбор типа отопительных приборов, установка и присоединение приборов к трубопроводам системы отопления.
  - 6.2. Определение поверхности нагрева отопительных приборов.
  - 6.3. Тепловой пункт, расчет и подбор основного оборудования схемы узла присоединения системы отопления здания к наружным тепловым сетям.
  - 6.4. Гидравлический расчет системы водяного отопления.
7. Конструирование и аэродинамический расчет естественной канальной вытяжной системы вентиляции.
8. Список использованной литературы.

**Графическая часть** (один лист формата А1) содержит:

1. Планы этажей, подвала, чердака, поперечный разрез здания по лестничной клетке (М 1:100) с нанесением элементов отопления и вентиляции.
2. Схема трубопроводов системы водяного отопления здания (М<sub>В</sub> 1:50, М<sub>Гор</sub> - произвольный).
3. План и разрез теплового пункта (М 1:50).
4. Схема естественной вытяжной канальной системы вентиляции (М1:50).

## 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

### 3.1. Общая часть.

В этом разделе расчетно-пояснительной записки указываются:

а) область строительства и его расчетные климатические характеристики (средние температуры наружного воздуха - наиболее холодной пятидневки ( $t_s, ^\circ\text{C}$ ), холодных суток ( $t_{х.с.}, ^\circ\text{C}$  [1, табл. 4.3.]), продолжительность отопительного периода ( $Z_{от.}$ , сут) и среднесуточная температура за отопительный период ( $t_{н.от.}, ^\circ\text{C}$ ) - [1, табл.4.4], условия эксплуатации ограждений [1, табл.4.2], наибольшая скорость ветра за январь- [1, табл. 4.5];

б) краткое описание здания, ориентация главного фасада, характеристика материалов ограждающих конструкций, температура внутреннего воздуха ( $t_{в.}, ^\circ\text{C}$ ) - [1, табл.4.1], стоимость тепловой энергии  $C_3$  руб/Гдж; стоимость утеплителя в конструкциях  $C_{ут}$ , руб/м<sup>2</sup>;

в) теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций ( $\lambda$  - коэффициент теплопроводности, Вт/(м<sup>0</sup>С), S - коэффициент теплоусвоения, Вт/(м<sup>2</sup>·С), выбираемые в соответствии с [1, табл. 4.2, прил. А].

г) характеристика системы водяного отопления здания, температуры воды в подающей и обратной магистралях ( $t_r, t_o, T_r, T_o, ^\circ\text{C}$ ), способ присоединения системы отопления к тепловым сетям с параметрами воды ( $T_r, T_o, ^\circ\text{C}$ ), давление  $P_{(H)э}$ , кПа.

Климатические данные области строительства, параметры воздушной среды в помещениях здания, теплотехнические характеристики ( $\lambda, S$ ) материалов ограждений являются основной для выполнения теплотехнического расчета ограждающих конструкций.

### 3.2 Теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций.

Теплотехнический расчет ограждений выполняют в соответствии с требованиями СНБ-2.04.01.-97. Цель расчета - определение оптимальной в теплотехническом отношении и экономически целесообразной толщины утеплителя  $b_{ут}$  (м) в наружной ограждающей конструкции и определение общего сопротивления теплопередаче  $R_0$  (м<sup>2</sup>·°С/Вт) для этой же конструкции с учетом толщины утеплителя ( $b_{ут}$ , м).

Сопротивление теплопередаче наружных ограждений  $R_0$  (м<sup>2</sup>·°С/Вт) за исключением заполнений проемов и ограждений помещений с избытками явной теплоты следует принимать равным экономически целесообразному  $R_{эж}$ , определяемому по формуле (2), но не менее требуемого сопротивления теплопередаче  $R_0^{TP}$ , определяемого по формуле (1), и не менее нормативного сопротивления теплопередаче  $R_{норм}$ , приведенного в [1, табл. 5.1.].

#### ПОРЯДОК РАСЧЕТА.

3.2.1. Определяют требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции по выражению:

$$R_0^{TP} = \frac{n \cdot (t_B - t_H)}{\Delta t^H \cdot \alpha_B}, \text{ (м}^2\text{°С)/Вт} \quad (1)$$

где  $n$  - коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху, принимаемый по [1, табл. 5.3];

$\alpha_B$  - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/м<sup>2</sup>·°С, [1, табл. 5.4];

$t_B$  - расчетная температура внутреннего воздуха, °С [1, табл. 4.1];

$t_H$  - расчетная температура наружного воздуха, принимаемая в зависимости от тепловой инерции  $D$  ограждающей конструкции, согласно [1, табл. 5.2., 4.3].

Обычно при подсчете  $R_0^{TP}$  значение тепловой инерции  $D$  заранее неизвестно, поэтому для определения  $t_H$  следует ориентировочно принять величину  $D$  с последующей проверкой в конце расчета.

Если  $D \leq 1,5$ , то  $t_H = t_{х.с.}$  обеспеченностью 0, 98;



$1,5 < D \leq 4$ , то  $t_H = t_{Х.С.}$  обеспеченностью 0,92;

$4 < D \leq 7$ , то  $t_H = \frac{t_5 + t_{Х.С.}}{2}$  обеспеченностью 0,92;

$D > 7$ , то  $t_H = t_5$  обеспеченностью 0,92, округляя до целого градуса;

$\Delta t^H, ^\circ\text{C}$  - расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, [1, табл.5.5].

Сопrotивление теплопередаче  $R_0$  наружных дверей (кроме балконных), ворот принимают не менее  $0,6 R_0^{\text{TP}}$  стены, определяемого по формуле (1) при  $t_H = t_5$  обеспеченностью 0,92.

**3.2.2. Определяют экономически целесообразное сопротивление теплопередаче  $R_{\text{ЭК}}$ , ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ ) на основе выбора толщины утеплителя по формуле:**

$$R_{\text{ЭК}} = 0,5 \cdot R_0^{\text{TP}} + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} C_3 \cdot Z_{\text{OT}} (t_B - t_{H.\text{OT}})}{C_{\text{УТ}} \cdot \lambda_{\text{УТ}} \cdot R_0^{\text{TP}}}, \quad (2);$$

где  $t_B$  - то же, что и в формуле (1);

$C_3$  - стоимость тепловой энергии, руб/Гдж, принимаемая по действующим ценам (в курсовом проекте принять  $C_3 = 3,35$  руб/Гдж по ценам 1991 года);

$Z_{\text{OT}}$  - продолжительность отопительного периода, сут., принимаемая по [1, табл. 4.4];

$t_{H.\text{OT}}$  - средняя за отопительный период температура наружного воздуха  $^\circ\text{C}$ , принимаемая по [1, табл. 4.4];

$C_{\text{УТ}}$  - стоимость материала однослойной или теплоизоляционного материала многослойной ограждающей конструкции, руб/ $\text{м}^3$ , принимаемая по действующим ценам (в курсовом проекте взять стоимость на период цен 1991 года);

$\lambda_{\text{УТ}}$  - коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной конструкции ограждения в условиях эксплуатации А или Б согласно [1, табл.4.2], ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ ), принимаемый по [1, табл.А1].

При наличии в теплоизоляционном слое ограждения сквозных включений из материалов с другим, чем у материала этого слоя коэффициентом теплопроводности для определения экономически целесообразного сопротивления теплопередаче принимают приведенный коэффициент  $\lambda_{\text{пр}}$ :

$$\lambda_{\text{пр}} = \frac{\lambda_1 F_1 + \lambda_2 F_2}{F_1 + F_2}, \quad (3),$$

где  $\lambda_1$  и  $F_1$  - коэффициент теплопроводности и площадь участка, занимаемая теплоизоляционным материалом;

$\lambda_2$  и  $F_2$  - коэффициент теплопроводности и площадь участка, занимаемая материалом включения.

**3.2.3. Определение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции.**

Сопrotивление теплопередаче  $R_0$ , ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ ) ограждающей конструкции определяют в соответствии с [1, п. 5.9] по формуле:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_B} + R_k + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (4);$$

где  $\alpha_B, \alpha_H$  - коэффициенты теплоотдачи соответственно внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), [1, табл. 5.4 и 5.7];

$R_k$  - термическое сопротивление ограждающей конструкции (м<sup>2</sup>·°С/Вт), определяемое для однослойной однородной конструкции по формуле:

$$R_k = \delta/\lambda, \quad (5),$$

где  $\delta$  и  $\lambda$  - толщина и коэффициент теплопроводности слоя соответственно.

Для многослойной конструкции ограждения с последовательно расположенными однородными слоями, включая слой теплоизоляционного материала и замкнутые воздушные, если они имеются, прослойки, термическое сопротивление определяют по выражению:

$$R_k = \sum_{i=1}^n R_i + R_{yt} + \sum_{k=1}^m R_{впк}, \quad (6);$$

где  $\sum_{i=1}^n R_i$  - сумма термических сопротивлений однородных слоев, определяе-

мых по формуле (5)  $\sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ ;

$\sum_{k=1}^m R_{впк}$  - сумма термических сопротивлений имеющихся замкнутых воздушных прослоек в ограждении, (м<sup>2</sup>·°С/Вт), [1, табл. Б-1];

$R_{yt} = \delta_{yt}/\lambda_{yt}$  - термическое сопротивление теплоизоляционного слоя.

Термическое сопротивление многослойной неоднородной ограждающей конструкции (пустотелые блоки, каменная многослойная стена облегченной кладки с теплоизоляционными вкладышами) определяют в соответствии с [1, п. 5.11] следующим образом:

а) плоскостями, параллельными направлению теплового потока, условно разрезают ограждающую конструкцию на характерные в теплотехническом отношении участки, состоящие из одного или нескольких слоев. В пределах каждого участка термическое сопротивление ограждающей конструкции должно быть одинаковым.

Термическое сопротивление конструкции  $R_a$  определяют по выражению:

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_i}} \quad (\text{м}^2 \cdot \text{°С})/\text{Вт}, \quad (7);$$

где  $F_i$  - площади отдельных участков по поверхности ограждения;  $m$  -

$R_i$  - термическое сопротивление в пределах каждого из этих участков, вычисляемое для однослойных участков по формуле (5), для многослойных - по формуле (6), ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С} / \text{Вт}$ );

б) плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, конструкция условно разрезается на слои, из которых одни могут быть однородными - из одного материала, а другие - неоднородными - из однослойных участков разных материалов. Термическое сопротивление однородных слоев определяют по формуле (5), неоднородных - по формуле (7).

Термическое сопротивление конструкции в направлении, перпендикулярном теплому потоку  $R_6$ , получают как сумму термических сопротивлений однородных и неоднородных слоев. После получения величин  $R_a$  и  $R_6$  находят среднее термическое сопротивление неоднородного ограждения по формуле:

$$R = \frac{R_a + 2R_6}{3} \quad (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С} / \text{Вт}), \quad (8).$$

**3.2.4. Определяют толщину материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной конструкции, используя [1, п. 5.1], согласно которому  $R_0 \geq R_{\text{ЭК}}$  и  $R_0 \geq R_{\text{НОРМ}}$ . К расчету принимают большее.**

Искомая толщина, м

$$\delta_{\text{УТ}} = \left( R_0 - \left( \frac{1}{\alpha_{\text{В}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \sum_{\kappa=1}^m R_{\text{впк}} + \frac{1}{\alpha_{\text{Н}}} \right) \right) \cdot \lambda_{\text{УТ}}, \quad (9).$$

Найденную толщину слоя ограждения округляют до ближайшей толщины, кратной размеру стандартного элемента (кирпича, шлакоблока и т.д.), и уточняют его термическое сопротивление по формуле (5).

**3.2.5. Проверяют значение принятой тепловой инерции ограждающей конструкции по формуле:**

$$D = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 + \dots + R_n \cdot S_n, \quad (10);$$

где  $R_1, R_2, R_n$  - термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции, ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С} / \text{Вт}$ ); формула (5);

$S_1, S_2, S_n$  - коэффициенты теплоусвоения материалов отдельных слоев ограждающей конструкции,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ , принимаемые по [1, прил. А].

Если полученная величина  $D$  отличается от предварительно принятой, следует по фактической  $D$  найти температуру  $t_{\text{Н}}$  и снова определить  $R_0^{\text{ТР}}$  по формуле (1), а затем произвести перерасчет  $R_{\text{ЭК}}$  и толщины  $\delta_{\text{УТ}}$  - формула (9).

**3.2.6. Корректируют действительное сопротивление теплопередаче  $R_0$  (формула 4) при принятой толщине утеплителя.**

Сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов (окон, балконных дверей и фонарей) определяют по [1, прил. Г]. Сопротивление теплопередаче для подземной части стены, полов, расположенных на грунте или лагах, определяют по условным зонам [2, прил. 9, п.3]. Поверхность пола делят на услов-

ные зоны - полосы шириной 2 м, параллельные наружным стенам по всему периметру здания, см. рис.1. Зоны нумеруются, начиная от внутренней поверхности наружной стены. Всего 4 зоны. Полы, расположенные непосредственно на грунте, считаются неутепленными независимо от толщины и числа составляющих их слоев, если коэффициент каждого слоя  $\lambda \geq 1,2$  Вт/(м·°С). Сопротивления теплопередаче неутепленных полов равны:

$$R_{\text{нп}}^{\text{I}} = 2,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)}/\text{Вт}; \quad R_{\text{нп}}^{\text{II}} = 4,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)}/\text{Вт};$$

$$R_{\text{нп}}^{\text{III}} = 8,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)}/\text{Вт}; \quad R_{\text{нп}}^{\text{IV}} = 14,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)}/\text{Вт}.$$

Полы, расположенные непосредственно на грунте, считаются утепленными, конструкция которых включает хотя бы один слой с  $\lambda < 1,2$  Вт/(м·°С).

Сопротивление теплопередаче утепленных полов определяют для каждой зоны по формуле:

$$R_{\text{ут}} = R_{\text{нп}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{\text{ут}i}}{\lambda_{\text{ут}i}} \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)}/\text{Вт}, \quad (11).$$

Для полов на лагах по кирпичным столбикам:

$$R_{\text{л}} = 1,18; \quad R_{\text{ут}} = 1,18 \left( R_{\text{нп}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{\text{ут}i}}{\lambda_{\text{ут}i}} \right), \quad (12).$$

а)

б)

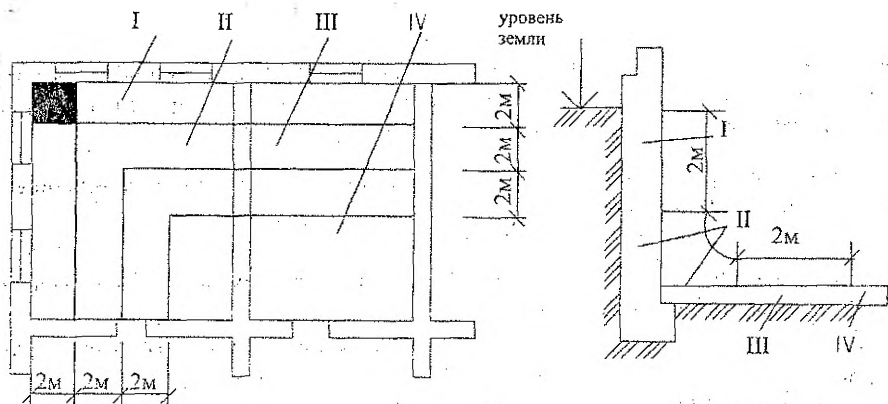


Рис. 1. Разбивка поверхности пола (а) и заглубленных частей наружных стен (б) на условные зоны

**ПРИМЕР 1**. Произвести теплотехнический расчет наружной стены жилого дома, расположенного в Витебской области.

Исходные данные: расчетная температура воздуха внутри помещения  $t_{\text{в}} = 18^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $\phi = 50 + 60\%$ , расчетная температура наружного воздуха: (средняя) температура наиболее холодной пятидневки и наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 соответственно равны

$t_5 = -25^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{х.с.}} = -31^\circ\text{C}$ .

Продолжительность отопительного периода  $Z_{\text{от}} = 207$  сут., [1, табл.4.4], среднесуточная температура наружного воздуха за отопительный период  $t_{\text{н.от}} = -2^\circ\text{C}$ , [1, табл. 4.4]. Наибольшая средняя скорость ветра за январь  $w = 5,4$  м/с, [1, табл. 4.5].

Стоимость пенополиуретана при  $\rho_3 = 80$  кг/м<sup>3</sup> равна 120 руб/м<sup>3</sup>.

Конструкция стены:

1. Известково-песчаная штукатурка  $\rho_1 = 1600$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_1 = 0,02$  м;
2. Кирпичная кладка из глиняного кирпича на цементно-песчаном растворе  $\rho_2 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_2 = 0,38$  м.
3. Пенополиуретан  $\rho_3 = 80$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_3 = ?$  м;
4. Известково-песчаная штукатурка  $\rho_4 = 1600$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_4 = 0,01$  м.

РЕШЕНИЕ: Определяем условия эксплуатации наружных ограждений по [1, табл.4.2] - "Б";

Теплотехнические характеристики материалов конструкции стены находим по [1, прил. А];

$$\lambda_1 = 0,81 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)};$$

$$S_1 = 9,76 \text{ Вт/(м}^2\text{.}^\circ\text{C)};$$

$$\lambda_2 = 0,81 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)};$$

$$S_2 = 10,12 \text{ Вт/(м}^2\text{.}^\circ\text{C)};$$

$$\lambda_3 = 0,05 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)};$$

$$S_3 = 0,7 \text{ Вт/(м}^2\text{.}^\circ\text{C)};$$

$$\lambda_4 = 0,81 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)};$$

$$S_4 = 9,76 \text{ Вт/(м}^2\text{.}^\circ\text{C)};$$

1. Определяем требуемое сопротивление теплопередаче по ф. (1):

Принимаем  $4 \leq D < 7$ , тогда

$$t_{\text{н}} = \frac{(t_5 + t_{\text{х.с.}})}{2} = \frac{(25 + 31)}{2} = -28^\circ\text{C};$$

$$R_0^{\text{тп}} = \frac{(18 + 28) \cdot 1}{8,7 \cdot 6} = 0,88 \text{ (м}^2\text{.}^\circ\text{C)/Вт};$$

где  $t_{\text{в}} = 18^\circ\text{C}$ ,  $n = 1$ ,  $\Delta t^{\text{н}} = 6^\circ\text{C}$ ,  $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\text{.}^\circ\text{C)}$ .

2. Определяем экономически целесообразное сопротивление для наружной стены по ф. (2):

$$R_{\text{ЭК}} = 0,5 \cdot 0,88 + \frac{5,4 \cdot 10^{-4} \cdot 3,35 \cdot 207 \cdot (18 - (-2))}{120 \cdot 0,05 \cdot 0,88} = 1,856 \text{ (м}^2\text{.}^\circ\text{C)/Вт};$$

3. Определяем по [1, табл.5.1] для наружной стены величину нормативного сопротивления теплопередаче  $R_{\text{НОРМ}} = 2 \text{ (м}^2\text{.}^\circ\text{C)/Вт}$ ;

4. Определяем сопротивление теплопередаче наружной стены по ф. (4):

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{\delta_3}{0,05} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{1}{23}, \text{ (м}^2\text{.}^\circ\text{C)/Вт};$$

Толщину слоя пенополиуретана определяем  $R_0 \geq R_{\text{НОРМ}}$ ,

$$\delta_3 \geq \left( 2 - \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{1}{23} \right) \right) \cdot 0,05 = 0,067 \text{ м};$$

Принимаем  $\delta_3 = 0,1$  м, тогда  $R_3 = 0,1/0,05 = 2$ .

5. Проверяем величину тепловой инерции наружной стены  $D$  по ф. (10):

$$D = 0,025 \cdot 9,76 + 0,469 \cdot 10,12 + 2 \cdot 0,7 + 0,012 \cdot 9,76 = 6,507;$$

Условие  $4 < D \leq 7$  выполняется.

6. Корректируем  $R_0$  (ф.4) для наружной стены при  $\delta_3 = 0,1$  м:

$$R_0 = 0.115 + 0.025 + 0.469 + 2 + 0.012 + 0.043 = 2.664 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

**ПРИМЕР 2.** Рассчитать термическое сопротивление многупустотной ж/б плиты с диаметром пустот 100 мм (рис. 2) для жилого здания в Витебской области, если плотность железобетона  $\rho = 2500 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

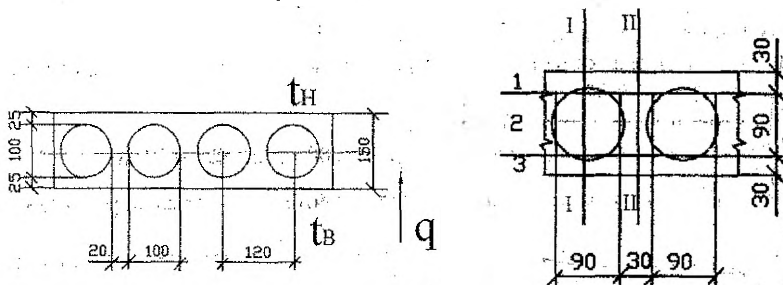


рис. 2

**РЕШЕНИЕ.**

Определяем условия эксплуатации ж/б плиты в Витебской области по [1, табл. 4.2] – Б. Коэффициент теплопроводности ж/б плиты находим по [1, прил. А];  $\lambda_{\text{ж/б}} = 2.04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ .

Определяем среднее термическое сопротивление  $R_{\text{ср}}$  многупустотной ж/б плиты, так как конструкция плиты является неоднородной в теплотехническом отношении.

Для упрощения круглые отверстия-пустоты плиты диаметром 100 мм заменяем равновеликими по площади квадратными со стороной  $a$ , равной:

$$a = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \sqrt{\frac{3.14 \cdot 0.1^2}{4}} = 90 \text{ мм}$$

а. Плоскостями, параллельными направлению теплового потока, условно разрезаем ж/б плиту на два характерных участка и определяем термическое сопротивление ж/б плиты по ф. (7).

$$R^a = \frac{F_I + F_{II}}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}}}$$

где,  $R_I$  - термическое сопротивление участка I-I (два слоя железобетона толщиной 30 мм и воздушная прослойка толщиной 90 мм).

Согласно ф. 6:

$$R_I = 2 \cdot \frac{0.03}{2.04} + R_{\text{в.п.}} = 2 \cdot \frac{0.03}{2.04} + 0.18 = 0.209 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

где  $R_{\text{в.п.}} = 0.18$  - термическое сопротивление замкнутой горизонтальной воздушной прослойки [1, табл. Б1];

$R_{II}$  - термическое сопротивление участка II- II (толщина глухой части ж/б плиты равна 0.15 м):

$$R_{II} = \frac{0.15}{2.04} = 0.074 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт}$$

$F_I, F_{II}$  – площади характерных участков по поверхности плиты, м<sup>2</sup>. Для определения  $F_I$  и  $F_{II}$  берем участок ж/б плиты 1м, тогда

$$F_I = 0.09 \cdot 1 = 0.09 \text{ м}^2, F_{II} = 0.03 \cdot 1 = 0.03 \text{ м}^2$$

Определяем

$$R_{ж/б}^a = \frac{0.09 + 0.03}{\frac{0.09}{0.209} + \frac{0.03}{0.074}} = 0.144 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт}$$

б. Плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, условно разрезаем ж/б плиту на три слоя. Термические сопротивления для 1-го и 3-го слоев определяем по ф. 5:

$$R_{1,3}^b = \frac{0.03}{2.04} = 0.015 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт}$$

Термическое сопротивление 2-го слоя (воздушные прослойки и железобетонные перемычки), как неоднородного в теплотехническом отношении, определяем по ф. 7, условно разрезая его на 2 участка (см. рис.2).

Для участка I-I (воздушная прослойка толщиной 0.09м)  
 $R_I = R_{в.п.} = 0.18 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт}$  [1, табл. Б1]

Для участка II-II (ж/б перемычка толщиной 0.09м)

$$R_{II} = \frac{0.09}{2.04} = 0.044 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт}$$

Определяем по ф. 7:

$$R_{2}^b = \frac{0.09 + 0.03}{\frac{0.09}{0.18} + \frac{0.03}{0.044}} = 0.102 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт}$$

Сумма термических сопротивлений для всех трех слоев (ф. 6):

$$R_{ж/б}^b = R_{1}^b + R_{2}^b + R_{3}^b = 0.015 + 0.102 + 0.015 = 0.132 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт}$$

Среднее термическое сопротивление плиты определяем по ф. (8):

$$R_{ж/б} = \frac{R_{ж/б}^a + 2 \cdot R_{ж/б}^b}{3} = \frac{0.144 + 2 \cdot 0.132}{3} = 0.136 \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт}$$

### 3.3 Проверка внутренней поверхности наружной стены на конденсацию влаги.

1. Определение температуры на внутренней поверхности наружной стены.

Используем выражение:

$$\tau_B = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_0 \cdot \alpha_B}, \text{°С} \quad (13),$$

где  $t_B$  - то же, что и в формуле (1).

$t_H$  - то же, что и в формуле (1).

$R_0$  - сопротивление теплопередаче стены, принятое в результате сравнения его с  $R_{эк}$  и  $R_{норм}$

$\alpha_B$  - то же, что и в формуле (1).

2. Определение парциального давления водяного пара при температуре  $t_B$  и нахождение точки росы.

Максимальное парциальное давление водяного пара при температуре  $t_B$  определяют по [1, прил. Ж] -  $P_{нас}$ , Па.

3. Далее находят парциальное давление пара при нормальной относительной влажности  $\phi$ , % [1, табл. 4.1] помещения

$$P_{п} = \phi \cdot P_{нас}, \text{ Па} \quad (14)$$

Пользуясь [1, прил. Ж] по  $P_{п}$  определяют температуру, называемую точкой росы. Затем сравнивают:  $t_B > t_p$  не менее, чем на  $2^\circ\text{C}$ .

#### 3.4. Проверка ограждающих конструкций на воздухопроницаемость.

Расчет сопротивления воздухопроницанию следует производить для наружных стен, перекрытий (покрытий), окон, балконных дверей. Сопротивление воздухопроницанию выше указанных элементов зданий  $R_{0, м^2 \cdot ч \cdot Па / кг}$ , согласно [1, п.п. 8.1 и 8.4] должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию  $R_{0}^{тр}, м^2 \cdot ч \cdot Па / кг$ . В курсовом проекте следует определить сопротивление воздухопроницанию только для окон и балконных дверей.

Величину  $R_{0}^{тр}$  для окон и балконных дверей,  $м^2 \cdot ч \cdot Па / кг$  определяют по формуле

$$R_{0}^{тр} = \frac{0.216 \cdot (\Delta P)^{2/3}}{G_{норм}}, \quad (15)$$

где  $G_{норм}$  - нормативная воздухопроницаемость окон и балконных дверей,  $кг/(м^2 \cdot ч)$ , выбираемая по формуле [1, табл. 8.1]. Для окон и балконных дверей жилых и общественных зданий  $G_{норм} = 10 \text{ кг}/(м^2 \cdot ч)$ ;

$\Delta P$  - разность давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях окон и балконных дверей, Па, определяется по формуле

$$\Delta P = 0.55 \cdot H \cdot (\gamma_n - \gamma_B) + 0.03 \cdot \gamma_n \cdot W, \text{ Па} \quad (16),$$

где  $H$  - высота здания (от поверхности земли до верха карниза), м;

$\gamma_n$ ,  $\gamma_B$  - удельный вес,  $Н/м^3$ , соответственно наружного и воздуха помещения, определяемый по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}, \quad (17),$$

$t$  - температура воздуха ( $t = t_s$ , обеспеч. 0,92 или  $t = t_B$ );

$w$  - максимальная из средних скоростей по румбам за январь, м/с [1, табл. 4.5].

Сопротивление воздухопроницанию окон, балконных дверей следует принимать по [1, табл. Д1].



В случае несоблюдения условия  $R_{01} \geq R_{01}^{TP}$  следует взять отдельные слои ограждающих конструкций и вид заполнения светового проема с более высоким сопротивлением воздухопроницанию.

### 3.5. Расчет потерь теплоты отдельными помещениями и зданием в целом.

Тепловую мощность системы отопления определяют по балансу часовых расходов тепла для расчетных зимних условий.

Тепловые потери через ограждения, отделяющие отапливаемые помещения от неотапливаемых или от наружного воздуха, определяются если разность расчетных температур  $(t_{в} - t_{с}) \geq 5$ . Расчет теплопотерь производят через все ограждающие конструкции для каждого помещения в отдельности. Перед началом расчета тепловых потерь определяют величины сопротивления теплопередаче (коэффициенты теплопередачи) всех ограждающих конструкций, вычерчивают планы этажей и разрез здания, уясняют назначение каждого помещения. Все помещения здания поэтажно пронумеровывают (1-й этаж - помещения № 101, 102 и т.д.; 2-й этаж - № 201, 202 и т.д.), начиная с верхнего углового левого помещения по ходу часовой стрелки. Лестничные клетки обозначают буквами А, Б, В и т.д. и независимо от этажности здания рассматривают как одно помещение по всей высоте. Подсобные помещения (кладовые, коридоры, санузлы, ваннные комнаты и т.п.), не имеющие вертикальных наружных ограждений, можно не нумеровать. Теплопотери этих помещений через полы (нижнего этажа) или потолки (верхнего этажа) обычно относят к смежным с ними помещениям и учитывают при определении поверхности отопительных приборов.

Для правильного составления теплового баланса помещений при определении тепловых потерь следует учитывать основные и добавочные потери тепла помещениями (для жилых зданий):

$$Q_{от} = Q_{тп} + Q^{(инф)(вент)} - Q_{б}, \text{ Вт}, \quad (18)$$

где  $Q_{тп}$  - основные (трансмиссионные) потери теплоты через наружные ограждающие конструкции, Вт;

$Q^{(инф)(вент)}$  - добавочные потери тепла на нагревание воздуха infiltrирующегося в помещения;

1)  $Q^{(инф)}$  - вследствие действия теплового и ветрового давления, а также работы системы вентиляции;

2)  $Q^{(вент)}$  - в результате естественной вытяжки, не компенсируемой приточным подогретым воздухом в размере нормативного воздухообмена;

$Q_{б}$  - бытовые тепловыделения, поступающие в отапливаемые помещения, Вт.

3.5.1. Основные потери теплоты определяют в соответствии с [2, прил. 9, п.1] с округлением до 10 Вт путем суммирования потерь тепла через отдельные ограждения для каждого отапливаемого помещения по формуле:

$$Q_{осн} = \frac{F}{R} (t_{в} - t_{н}) \cdot (1 + \Psi) \cdot n, \text{ Вт}, \quad (19)$$

где  $F$  - расчетная площадь ограждения, м<sup>2</sup>;

$R$  - сопротивление теплопередаче ограждения, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

$t_{в}$  - то же, что и в формуле (1);

$t_n$  - расчетная температура наружного воздуха (температура наиболее холодной пятидневки  $t_5$ ), при расчете потерь тепла через наружные ограждения или температура воздуха более холодного помещения при расчете потерь тепла через внутренние ограждения [3, формула(8.6)];

$\eta$  - то же, что и в формуле (1);

$\Psi$  - добавочные потери теплоты через ограждения, принимаемые в долях от основных потерь:

а) для наружных вертикальных и наклонных стен, дверей и окон, обращенных на север, восток, северо-восток и северо-запад  $\Psi = 0,1$ ; на юго-восток и запад - в размере  $\Psi = 0,05$ ;

б) для наружных дверей, не оборудованных воздушными или воздушно-тепловыми завесами, при высоте здания  $H$ , м, в размере:

$\Psi = 0,21H$  - для тройных дверей с двумя тамбурами между ними;

$\Psi = 0,27H$ ,  $\Psi = 0,34H$  - для двойных дверей с тамбуром между ними или без тамбура, соответственно;

$\Psi = 0,22H$  - для одинарных дверей.

**3.5.2. Определение расходов теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха в помещения жилых и общественных зданий.**

а)  $Q^{инф}$ , Вт - вследствие действия теплового и ветрового давления, а также работы системы вентиляции, определяемый согласно [2, прил. 10] по формуле:

$$Q^{инф} = 0,28 \cdot \sum G \cdot c \cdot (t_b - t_n) \cdot A, \text{ Вт}, \quad (20);$$

где  $c$  - удельная теплоемкость воздуха, равная  $1 \text{ КДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$t_b$ ,  $t_n$  - расчетные температуры внутреннего в помещении и наружного воздуха ( $t_5$  обеспеченностью  $0,92$ );

$A$  - коэффициент учета влияния встречного теплового потока в ограждениях:  $A=0,8$  для окон и балконных дверей с раздельными переплетами;  $A=0,7$  - для стыков панелей и окон с тройными переплетами.

$\sum G$  - суммарный расход инфильтрующегося воздуха в помещение через неплотности наружных ограждений (окон, балконных дверей, внутренних и наружных дверей, ворот, стыков стеновых панелей),  $\text{кг}/\text{ч}$ , определяемый по формуле:

$$\sum G = \frac{0,216 \cdot \sum F_o \cdot (\Delta P_o)^{2/3}}{R_{uo}} + \frac{\sum F_d \cdot (\Delta P_d)^{2/3}}{R_{ud}} + \frac{0,5 \cdot \sum l \cdot \Delta P_c}{P_i} \quad (21);$$

где  $F_o$ ,  $F_d$  - соответственно площадь окон, балконных дверей и других ограждений;

$R_{uo}$ ,  $R_{ud}$  - соответственно сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей и других ограждений,  $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{кг}$ , определяемое по [1, табл. Д1];

$l$  - длина стыков стеновых панелей, м;

$\Delta P_o$ ,  $\Delta P_d$ ,  $\Delta P_c$ ,  $P_i$  - разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях соответственно окон, балконных дверей и других ограждений, Па, определяется по формуле:

$$\Delta P_o = (H - h) \cdot (\gamma_n - \gamma_b) + 0,05 \cdot \gamma_n \cdot w^2 \cdot (C_n - C_n) \cdot K - P_{уп}, \quad (22);$$

где  $H$  - высота здания, м, от уровня земли до верха карниза или устья вытяжной шахты;

$h$  - расчетная высота, м, от уровня земли до верха окон, балконных дверей, ворот или до середины вертикальных стыков стеновых панелей;

$\gamma_n, \gamma_v$  - то же, что и в формуле (16), Н/м<sup>3</sup>;

$w$  - то же, что и в формуле (16), м/с;

$C_n, C_{п}$  - аэродинамические коэффициенты, соответственно для наветренной и подветренной поверхностей ограждения здания, принимаемые по СНиП 2.01.07-85 ( $C_n = 0,8$  и  $C_{п} = -0,6$ );

$K$  - коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, принимаемой по СНиП 2.01.07-85.

В курсовом проекте при высотах здания (10;20;30)м принимают  $K=0,6; 0,9; 1,2$ , соответственно.

$P_{уп}$  - условно-постоянное давление воздуха в помещении, Па; для жилых зданий с естественной вентиляцией принимают  $P_{уп} = 0$ .

В курсовом проекте с целью сокращения объема работы инфильтрацию воздуха в помещение через стыки стеновых панелей учитывать не следует.

б) Расход теплоты на нагрев поступающего воздуха в жилые помещения в результате вытяжной вентиляции, не компенсируемого подогретым приточным воздухом, определяется согласно [2, прил.10 п. 2].

$$Q_{\text{ВЕНТ}} = 0,28 \cdot L \cdot \rho \cdot c \cdot (t_v - t_n), \text{ Вт}, \quad (23);$$

где  $L$  - расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, м<sup>3</sup>/ч, принимается 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади жилых помещений;

$\rho$  - плотность воздуха в помещении, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  - удельная теплоемкость воздуха, равная 1 КДж/кг<sup>0</sup>С;

$t_v, t_n$  - то же, что и в формуле (20);

За расчетный расход теплоты на нагревание воздуха, поступающего в жилые помещения, принимается большая из двух величин:

а)  $Q_{\text{ИНФ}}$  и б)  $Q_{\text{ВЕНТ}}$ , которая входит в качестве слагаемого в общие потери теплоты.

### 3.5.3. Определение бытовых тепловыделений.

Общие потери теплоты отапливаемыми помещениями жилых зданий (формула 18) следует уменьшать на величину бытовых тепловыделений, определяемых из расчета 21 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади пола отапливаемого помещения ( $F_{п}$ ):

$$Q_{\text{б}} = 21 \cdot F_{п}, \text{ Вт}, \quad (24).$$

При подсчете потерь теплоты в лестничной клетке здания вместо величины  $Q_{\text{ИНФ}}$  учитывают добавочные потери теплоты  $\Psi$  на подогрев холодного воздуха, поступающего при открывании наружных дверей, принимаемые согласно [2, прил.9].

### 3.5.4. Расчетный бланк для определения потерь теплоты.

Расчет потерь теплоты сводят в специальную таблицу (1), определяя суммарные потери теплоты для каждого помещения и в целом по зданию. В графу 3 таблицы вносят условные обозначения наружных ограждений (Н.С. - наружная стена; ТО - тройное окно; ПЛ - пол; ПТ - потолок и т.д.). В графе 4 указывается ориентация ограждающей конструкции по сторонам света (Ю - юг; СВ - северо-восток; ЮЗ - юго-

запад: С - север и т.д.). В графе 5 записываются размеры поверхности охлаждения по строительным чертежам здания с точностью до 0,1 м (рис. 3).

Линейные размеры ограждения определяют следующим образом:

а) площадь окон, дверей и фонарей - по наименьшим размерам строительных проемов в свету;

б) площадь полов над холодным пространством и потолков - по размерам между осями внутренних стен или от внутренней поверхности наружных стен до осей внутренних стен;

в) высота стен первого этажа:

- при наличии пола, расположенного непосредственно на грунте,

- от уровня чистого пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа;

- при наличии пола, расположенного на лагах по кирпичным столбикам - от поверхности подготовки под конструкцию пола на лагах до уровня чистого пола 2 этажа.

- при наличии пола, расположенного над подвалом, от нижней поверхности конструкции пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа;

г) высота стен промежуточного этажа - между уровнями чистых полов данного и вышележащего этажей;

д) высота стен верхнего этажа - от уровня чистого пола до верха утепляющего слоя чердачного перекрытия или верха бесчердачного покрытия.

е) длина наружных стен неугловых помещений - между осями внутренних стен; угловых помещений - от кромки наружного угла до оси внутренних стен;

ж) длина внутренних стен - по размерам между осями внутренних стен.

В графу 7 записывают значение коэффициента теплопередачи ( $1/R_0$ ) рассматриваемого ограждения. Величину  $1/R_0$  для окон, балконных дверей следует уменьшить на  $1/R_0$  наружной стены, т.к. площадь наружной стены определяют обычно без вычета площади окон или балконных дверей. В графу 8 записывают разность температур ( $t_B - t_H$ ), принимая  $t_H$  равной  $t_B$  обеспеченностью 0,92. В графе 13 подсчитывают основные потери теплоты. В графу 16 заносятся общие потери теплоты, определяемые суммированием основных потерь теплоты (графа 13) с расчетными потерями теплоты  $Q_{инф}$  или  $Q_{вент}$  (графа 14) за вычетом  $Q_B$  (графа 15).

Потери теплоты по всему зданию,  $W_t$ , определяют как сумму потерь теплоты по всем помещениям этажей и лестничным клеткам.

### 3.5.5. Определение тепловых потерь здания по укрупненным измерителям.

Ориентировочное значение тепловых потерь здания определяют по формуле:

$$Q_{укр} = B \cdot q_{зд} \cdot V_H \cdot (t_B - t_H), \text{ Вт}, \quad (25);$$

где  $B$  - коэффициент учета района строительства здания;

$$B = 0,54 + 22/(t_B - t_H), \quad (26);$$

$V_H$  - объем отапливаемого здания по внешнему обмеру,  $\text{м}^3$ ;

$q_{зд}$  - удельная тепловая характеристика здания,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ .

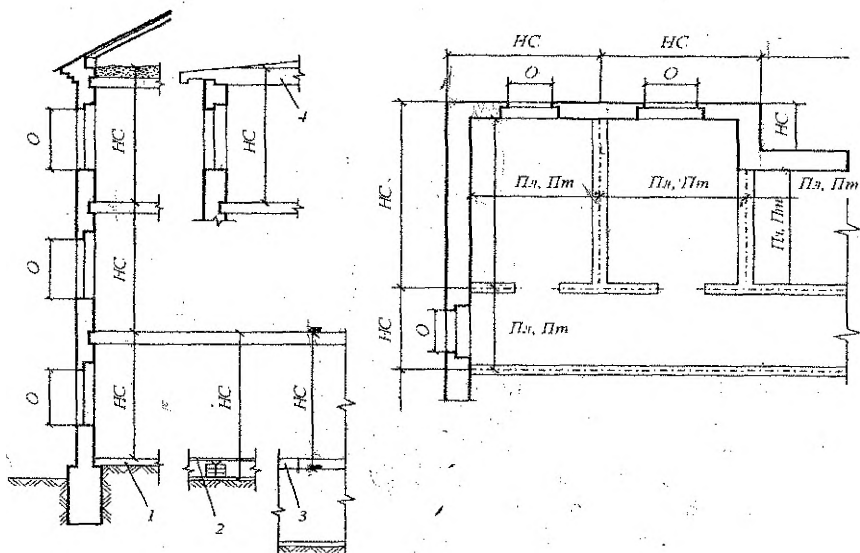


Рис. 3. Правила обмера площадей в плане и по высоте здания

Удельную тепловую характеристику здания  $q_{зд}$ , Вт/(м<sup>3</sup>·°С), определяют по формуле [3, 8.22]:

$$q_{зд} = 1,08 \cdot \left( \frac{P}{S} \cdot [k_{НС} + d \cdot (k_{ок} - k_{НС})] + \frac{1}{H} (0,9 \cdot k_{пт} + 0,6 \cdot k_{пв}) \right), \quad (27);$$

где -  $P$ ,  $S$ ,  $H$  – периметр, площадь, высота здания;

$k_{НС}$ ,  $k_{ок}$ ,  $k_{пт}$ ,  $k_{пв}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С) – коэффициент теплопередачи наружных стен, окон, чердачного или бесчердачного покрытия, пола 1-го этажа.

$d$  – коэффициент остекления, т.е. отношение площади остекления и площади вертикальных наружных ограждений.

**ПРИМЕР 3.** Определить тепловые потери для нескольких помещений и лестничной клетки четырехэтажного жилого дома с чердаком и подвалом, ориентированного главным фасадом на юг, и расположенного в Витебской области (рис. 4).

Исходные данные: высота этажа – 2,7 м. Сопротивление теплопередаче для наружной стены  $R_0=2,66$  м<sup>2</sup>·°С/Вт, для чердачного перекрытия  $R_0=3$  м<sup>2</sup>·°С/Вт, пола 1 этажа над подвалом  $R_0=2,5$  м<sup>2</sup>·°С/Вт, окон с тройным остеклением в раздельноспаренных переплетах  $R_0=0,55$  м<sup>2</sup>·°С/Вт [1, табл.Г.1]. Сопротивление воздухопроницанию заполнения светового проема окна  $R_{но}=0,26$  м<sup>2</sup>·ч·Па/кг, [1, табл.Д1]; средняя скорость ветра за январь  $w=5,4$  м/с [1, таб. 4.5]. Расчетная температура наружного воздуха  $t_э$  обеспеченностью 0,92  $t_э=-25$ °С, температура воздуха в жилых помещениях  $t_в=18$ °С (в угловых  $t_в=20$ °С); в кухне  $t_в=15$ °С; зона влажности для Витебской области нормальная, группа эксплуатации ограждений – Б.

**РЕШЕНИЕ.**

Рассчитаем тепловые потери в жилых комнатах №101, 102, 103, 201, 202, 401, а также в лестничной клетке согласно п. 3.5 методических указаний. Тепловые потери для жилых комнат:

$$Q_{\text{пом}} = Q_{\text{осн}} + Q_{\text{инф(ветр)}} \cdot Q_{\text{в}}, \text{ Вт}$$

для кухни:

$$Q_{\text{пом}} = Q_{\text{осн}} + Q_{\text{инф}} \cdot Q_{\text{в}}, \text{ Вт}$$

для лестничной клетки:

$$Q_{\text{пом}} = Q_{\text{осн}}, \text{ Вт}$$

1. Определим неизвестные сопротивления теплопередаче конструкций здания: для внутренней стены кухни, граничащей с тамбуром лестничной клетки [1, п. 5.9]

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{шт}}}{\lambda_{\text{шт}}} + \frac{\delta_{\text{вс}}}{\lambda_{\text{вс}}} + \frac{\delta_{\text{шт}}}{\lambda_{\text{шт}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{0,4}{0,81} + \frac{0,01}{0,81} + \frac{1}{8,7} = 0,75 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$$

для ж/б лестничных маршей ( $\delta = 0,15 \text{ мм}$ , затирка  $\delta_{\text{зат}} = 0,005 \text{ мм}$ ) [1, п. 5.9]:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{ж/б}}}{\lambda_{\text{ж/б}}} + \frac{\delta_{\text{зат}}}{\lambda_{\text{зат}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{2,04} + \frac{0,005}{0,93} + \frac{1}{8,7} = 0,31 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$$

для тамбурной стенки лестничной клетки (кирпич обыкновенный  $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ ,  $\delta_{\text{с}} = 0,12 \text{ м}$  с двухсторонней штукатуркой  $\delta_{\text{шт}} = 0,015 \text{ м}$ )  $R_0 = 0,405 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$ ;

для внутренней стены, отделяющей лестничную клетку от подвала, принимаем такую же конструкцию, как и для тамбурной стенки;

для площадки, перекрывающей в лестничной клетке тамбур  $R_0 = 0,327 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$ .

Сопротивление теплопередаче входной двери  $R_0 = 0,345 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$ .

Сопротивление теплопередаче пола над подвалом в тамбуре и в лестничной клетке  $R_0 = 0,327 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$ .

2. Определяем количество инфильтрующегося воздуха через окна жилых комнат и кухни на 1, 2, и 4 этажах, а также через окна лестничной клетки по формуле (21), предварительно вычислив разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях окон по формуле (22).

Высота здания  $H = 11 + 0,5 + 1 = 12,5 \text{ м}$ ;  $h_1 = 2,3 - (-1) = 3,3 \text{ м}$ .

Удельные веса воздуха при  $t_{\text{в}} = 20^\circ\text{С}$ ,  $t_{\text{в}} = 18^\circ\text{С}$ ,  $t_{\text{в}} = 16^\circ\text{С}$ ,  $t_{\text{в}} = 15^\circ\text{С}$  и  $t_{\text{в}} = 25^\circ\text{С}$  (ф. 17):

$$\gamma_{20} = \frac{3463}{273+20} = 11,82 \text{ Н/м}^3; \quad \gamma_{18} = \frac{3463}{273+18} = 11,9 \text{ Н/м}^3;$$

$$\gamma_{16} = \frac{3463}{273+16} = 11,98 \text{ Н/м}^3; \quad \gamma_{15} = \frac{3463}{273+15} = 12,02 \text{ Н/м}^3;$$

$$\gamma_{-25} = \frac{3463}{273-25} = 13,96 \text{ Н/м}^3;$$

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях окон и количество инфильтрующегося воздуха через окна:

$$\text{для } t_{\text{в}} = 20^\circ\text{С} \quad \Delta P_{\text{о}}^1 = (12,5 - 3,3) \cdot (13,96 - 11,82) + 0,05 \cdot 13,96 \cdot 5,4^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,65 = 38,21 \text{ Па}$$

$$G_{\text{ж.к.}}^1 = \frac{0,216 \cdot 2,52 \cdot (38,21)^{2/3}}{0,26} = 24,05 \text{ кг/ч}$$

$$\text{для } t_{\text{в}} = 18^\circ\text{С} \quad \Delta P_{\text{о}}^1 = (12,5 - 3,3) \cdot (13,96 - 11,9) + 0,05 \cdot 13,96 \cdot 5,4^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,65 = 37,47 \text{ Па}$$

$$G_{\text{ж.к.}}^1 = \frac{0,216 \cdot 2,52 \cdot (37,47)^{2/3}}{0,26} = 23,72 \text{ кг/ч}$$

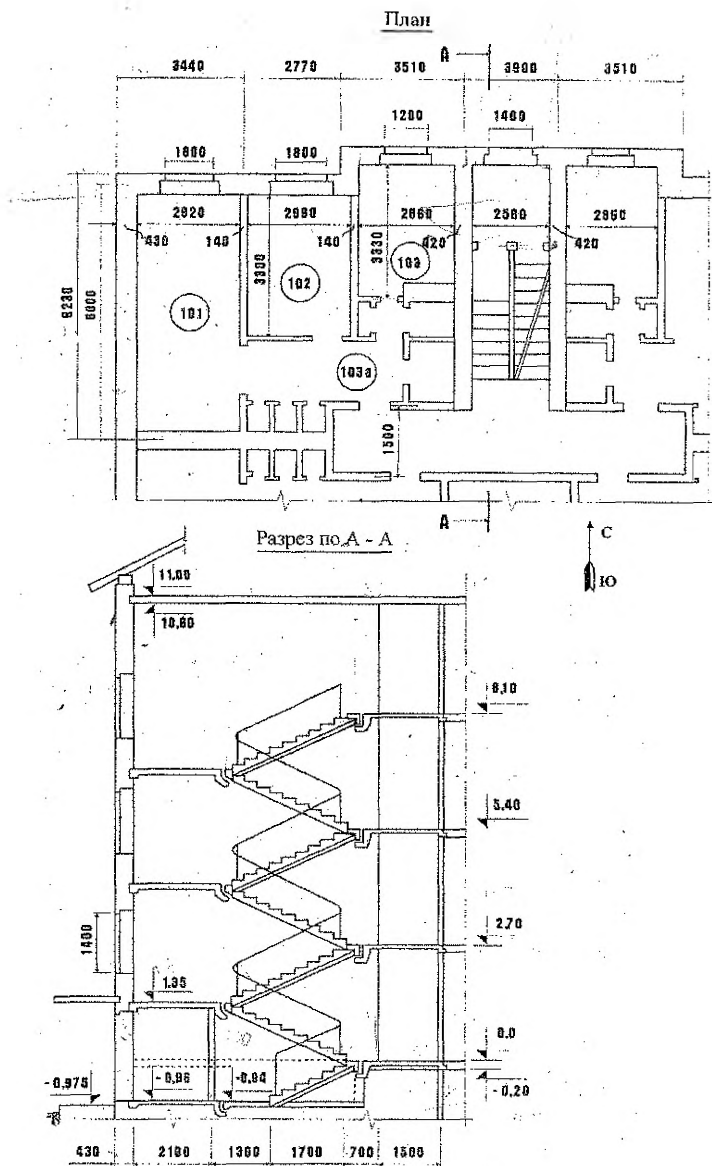


Рис. 4. План части здания и разрез (к примеру № 3).

$$\text{для } t_B = 15^\circ\text{C } \Delta P^1_0 = (12,5-3,3) \cdot (13,96 \cdot 12,02) + 0,05 \cdot 13,96 \cdot 5,4^2 \cdot (0,8+0,6) \cdot 0,65 = 36,37 \text{ Па.}$$

$$G^1_{ж.к.} = \frac{0,216 \cdot 1,68 \cdot (36,37)^{2/3}}{0,26} = 15,5 \text{ кг/ч}$$

2 этаж

$$\text{для } t_B = 20^\circ\text{C } \Delta P^2_0 = (12,5-6) \cdot (13,96-11,82) + 0,05 \cdot 13,96 \cdot 5,4^2 \cdot (0,8+0,6) \cdot 0,65 = 32,43 \text{ Па.}$$

$$G^2_{ж.к.} = \frac{0,216 \cdot 2,52 \cdot (32,43)^{2/3}}{0,26} = 21,54 \text{ кг/ч}$$

$$\text{для } t_B = 18^\circ\text{C } \Delta P^3_0 = (12,5-6) \cdot (13,96-11,9) + 0,05 \cdot 13,96 \cdot 5,4^2 \cdot (0,8+0,6) \cdot 0,65 = 31,91 \text{ Па.}$$

$$G^3_{ж.к.} = \frac{0,216 \cdot 2,52 \cdot (31,91)^{2/3}}{0,26} = 21,31 \text{ кг/ч}$$

4 этаж

$$\text{для } t_B = 20^\circ\text{C } \Delta P^4_0 = (12,5-11,4) \cdot (13,96-11,82) + 0,05 \cdot 13,96 \cdot 5,4^2 \cdot (0,8+0,6) \cdot 0,65 = 21,09 \text{ Па.}$$

$$G^4_{ж.к.} = \frac{0,216 \cdot 2,52 \cdot (21,09)^{2/3}}{0,26} = 16,15 \text{ кг/ч,}$$

где (2,52 и 1,68) м<sup>2</sup> - площади окон жилой комнаты и кухни, соответственно.

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях окон и количество инфильтрующегося воздуха через окна в лестничной клетке:

$$h_1 = 1 + 1,35 + 0,8 + 1,4 = 4,55 \text{ м, } h_2 = 7,25 \text{ м, } h_3 = 9,95 \text{ м}$$

$$\Delta P^1_0 = (12,5-4,55) \cdot (13,96-11,98) + 0,05 \cdot 13,96 \cdot 5,4^2 \cdot (0,8+0,6) \cdot 0,65 = 34,26 \text{ Па.}$$

$$G^1_0 = \frac{0,216 \cdot 1,96 \cdot (34,26)^{2/3}}{0,26} = 17,34 \text{ кг/ч}$$

$$\Delta P^2_0 = (12,5-7,25) \cdot (13,96-11,98) + 0,05 \cdot 13,96 \cdot 5,4^2 \cdot (0,8+0,6) \cdot 0,65 = 28,92 \text{ Па.}$$

$$G^2_0 = \frac{0,216 \cdot 1,96 \cdot (28,92)^{2/3}}{0,26} = 15,51 \text{ кг/ч}$$

$$\Delta P^3_0 = (12,5-9,95) \cdot (13,96-11,98) + 0,05 \cdot 13,96 \cdot 5,4^2 \cdot (0,8+0,6) \cdot 0,65 = 22,58 \text{ Па.}$$

$$G^3_0 = \frac{0,216 \cdot 1,96 \cdot (22,58)^{2/3}}{0,26} = 13,14 \text{ кг/ч,}$$

где 1,96 м<sup>2</sup> - площадь окна.

Расчет потерь теплоты сведен в таблицу 1.



Расчет потерь теплоты

Таблица 1.

№№ помещения	Назначение помещения, $t_b$ , °C $F_p$ , м <sup>2</sup>	Поверхность охлаждения				Площадь $F$ , м <sup>2</sup>	Коэффициент теплопередачи $1/R_0$ , Вт/(м <sup>2</sup> °C)	Разность температур $(t_b - t_{н1})$ , °C	Поправочный коэффициент $n$	Дополнительные теплопотери $W$		Суммарный коэффициент	$Q_{тп} = 1/R_0 \cdot F \cdot (t_b - t_{н1}) \cdot (1 + \psi) \cdot n$ , Вт	Потери теплоты на инфильтрацию, вентиляцию $Q_{инф(вент)}$ , Вт	Бытовые тепловыделения $Q_b = 21 \cdot F_p$	Общие потери теплоты помещения $Q_{от} = Q_{тп} + Q_{инф(вент)} + Q_b$
		Обозначение	Ориентация по сторонам	Расчетные размеры, м (а x b) и их количество	Коэффициент теплопередачи					На ориентацию	другие					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
101	Жилая $t_b = 20^\circ\text{C}$ $F = 16,35\text{ м}^2$	НС НС ТО	С С С	3,44 x 2,9 6,23 x 2,9 1,8 x 1,4	9,95 18,1 2,52	0,38 0,38 1,82-0,38 =1,44	45 45 45	1 1 1	0,1 0,05 0,1	- - -	1,1 1,05 1,1	187 326 180	- - -	- - -	1282	
		ПД	-	2,99 x 5,8	17,3	0,4	45	0,6	-	-	1	187	745	343		
$Q_{тп} = 0,28 \times 24,05 \times 1 \times (20+25) \times 0,7 = 212$ Вт		$Q_{вент} = 0,28 \times 3 \times 9,66 \times 1,213 \times 1 \times (18+25) = 423$ Вт		$Q_b = 21 \times 16,35 = 343$ Вт												
102	Жилая $t_b = 18^\circ\text{C}$ $F = 9,66\text{ м}^2$	НС ТО ПД	С С С	2,77 x 2,9 1,8 x 1,4 3,13 x 3,3	8,03 2,52 10,3	0,38 1,44 0,4	43 43 43	1 1 0,6	0,1 0,1 -	- - -	1,1 1,1 1	144 172 106	423	203	642	
$Q_{тп} = 0,28 \times 23,72 \times 1 \times (18+25) \times 0,7 = 200$ Вт		$Q_{вент} = 0,28 \times 3 \times 9,66 \times 1,213 \times 1 \times (18+25) = 423$ Вт		$Q_b = 21 \times 9,66 = 203$ Вт												
103	кухня $t_b = 15^\circ\text{C}$ $F = 9,3\text{ м}^2$	НС НС ТО ВС ПД	С С С С С	0,8 x 2,9 3,51 x 2,9 1,2 x 1,4 2,19 x 1,55 3,14 x 3,33	2,32 10,2 1,68 3,4 10,46	0,38 0,38 1,44 1,33 0,4	40 40 40 40 40	1 1 1 0,75 0,6	0,05 0,1 - - -	- - - - -	1,1 1,1 1,05 1 1	37 171 106 136 100	122	195	477	

Продолжение таблицы 1

$Q_{\text{инф}} = 0,28 \times 15,5 \times 1 \times (15+25) \times 0,7 = 122 \text{ Вт}$ $Q_{\text{вент}} = 21 \times 9,3 = 195 \text{ Вт}$															
201	Жилая $t_{\text{в}} = 20^{\circ}\text{C}$ $F = 16,35 \text{ м}^2$	НС	С	3,44 × 2,7	9,28	0,38	45	1	0,1	-	1,1	175	745	343	1059
		НС	З	6,23 × 2,7	16,82	0,38	45	1	0,05	-	1,05	302			
		ТО	С	1,8 × 1,4	2,52	1,44	45	1	0,1	-	1,1	180			
												657			
$Q_{\text{инф}} = 0,28 \times 21,54 \times 1 \times (20+25) \times 0,7 = 190 \text{ Вт}$ $Q_{\text{вент}} = 0,28 \times 3 \times 16,35 \times 1,205 \times 1 \times (20+25) = 745 \text{ Вт}$ $Q_{\text{в}} = 21 \times 16,35 = 343 \text{ Вт}$															
202	Жилая $t_{\text{в}} = 18^{\circ}\text{C}$ $F = 9,66 \text{ м}^2$	НС	С	2,77 × 2,7	7,47	0,38	43	1	0,1	-	1,1	134	423	203	526
		ТО	С	1,8 × 1,4	2,52	1,44	43	1	0,1	-	1,1	172			
												306			
$Q_{\text{инф}} = 0,28 \times 21,31 \times 1 \times (18+25) \times 0,7 = 180 \text{ Вт}$ $Q_{\text{вент}} = 0,28 \times 3 \times 9,66 \times 1,213 \times 1 \times (18+25) = 423 \text{ Вт}$ $Q_{\text{в}} = 21 \times 9,66 = 203 \text{ Вт}$															
401	Жилая $t_{\text{в}} = 20^{\circ}\text{C}$ $F = 16,35 \text{ м}^2$	НС	С	3,44 × 2,9	9,95	0,38	45	1	0,1	-	1,1	187	745	343	1352
		НС	З	6,23 × 2,9	18,1	0,38	45	1	0,05	-	1,05	326			
		ТО	С	1,8 × 1,4	2,52	1,44	45	1	0,1	-	1,1	180			
		ПТ	-	2,99 × 5,8	17,3	0,4	45	1	-	-	1	257			
											950				
$Q_{\text{инф}} = 0,28 \times 16,15 \times 1 \times (20+25) \times 0,7 = 142 \text{ Вт}$ $Q_{\text{вент}} = 0,28 \times 3 \times 16,35 \times 1,205 \times 1 \times (20+25) = 745 \text{ Вт}$ $Q_{\text{в}} = 21 \times 16,35 = 343 \text{ Вт}$															

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
А	Лестничная клетка $t_{\text{в}} = 16^{\circ}\text{C}$	НС	С	3 × 9,85	29,55	0,38	41	1	0,1	-	1,1	506			
		ЗТО	С	3(1,4 × 1,4)	5,88	1,44	41	1	0,1	-	1,1	382			
		ПЛП (над тамбуром на отм.+1,35)	-	2,19 × 3	6,57	3,06	41	0,6	-	-	1	495			
		Стена тамбура	-	2,3 × 1,5- -1,2 × 2,1	0,93	2,47	41	0,75	-	-	1	71			
		ДВх	-	1,2 × 2,1	2,52	2,9	41	0,75	-	2,75	3,75	843			
		ПЛ (на отм. -0,94)	-	1,3 × 1,5	1,95	3,06	41	0,6	-	-	1	147			
		Мі	-	1,29 × 2	2,58	3,23	41	0,6	-	-	1	205			

Продолжение таблицы 1

	ПЛ2 (на отм. 0,0)	-	0,7×3	2,1	3,06	41	0,6	-	-	1	158			
	ПЛ3 (коридор)	-	1,5×10	15	3,06	41	0,6	-	-	1	1129			
	ВС1	-	(2,3+0,94)/2×3,15	5,1	2,47	41	0,6	-	-	1	310			
	ВС2 (ниже отм. 0,0)	-	(2×0,94)/2	0,94	1,33	41	0,6	-	-	1	31			
	ВС3	-	1,3×0,94	1,22	1,33	41	0,6	-	-	1	40			
	M2 (марш над подвалом)	-	1,29×3	3,87	3,23	41	0,6	-	-	1	307			
	ПТ	-	5,89×3+ +1,5×10	32,67	0,33	41	1	-	-	1	442			
											5066			
$Q_1^{инф} = 0,28 \times 17,34 \times 1 \times (16+25) \times 0,7 = 139 \text{ Вт}$ $Q_2^{инф} = 0,28 \times 15,5 \times 1 \times (16+25) \times 0,7 = 125 \text{ Вт}$ $Q_3^{инф} = 0,28 \times 13,14 \times 1 \times (16+25) \times 0,7 = 106 \text{ Вт}$ $Q_1^{инф} + Q_2^{инф} + Q_3^{инф} = 370 \text{ Вт}$ $Q_{дв}^в = 0,22 \times H \times Q_{дв} = 0,22 \times 12,5 \times Q_{дв} = 618 \text{ Вт}$														

Примечания:

1. Подсчет площадей наружных стен производят без вычета площади окон, а в графе 7 – из коэффициента теплопередачи окна вычитают коэффициент теплопередачи стены.
2. Основные тепловые потери через ограждения – граф.13 – подсчитываются перемножением данных, занесенных в графы 6, 7, 8, 9, 12.
3. Высота наружной стены в лестничной клетке принята от низа площадки над тамбуром (+1,15) до верха чердачного перекрытия.
4. В лестничной клетке учтены потери теплоты боковой стенкой (ВС2 и ВС3), выходящей в подвал на отметке (-0,94).
5. M2 – марш лестницы над входом в подвал.
6. ВС1 – стена, отделяющая лестничную клетку от подвала.
7. Тепловые потери через входную дверь определяют отдельно, так как дополнительные тепловые потери у двери и стены разные:
  - а) при подсчете тепловых потерь через наружную стену из площади стены (графа 6) вычитают площадь двери;
  - б) коэффициент теплопередачи стены (тамбурной) не вычитают из коэффициента теплопередачи входной двери.
8. При подсчете тепловых потерь в лестничной клетке включены тепловые потери на подогрев поступающего воздуха через открытые входные двери  $Q_{дв}^в = 618 \text{ Вт}$ .

### 3.6. Основные принципы конструирования системы отопления зданий.

Выбор системы отопления, вида отопительных приборов, теплоносителя и его температуру производят по [2, прил.11]. Теплопроводы для систем водяного отопления применяют согласно [2, прил.13] – электросварные трубы.

В курсовом проекте студенты проектируют вертикальную систему водяного отопления с искусственной циркуляцией согласно заданию (двухтрубную для двух- трёхэтажного здания или однотрубную для зданий, имеющих три этажа и более) с верхней или нижней разводкой магистралей.

Задачей конструирования системы водяного отопления является правильное размещение отопительных приборов, стояков, магистралей и других элементов системы (рис. 5), назначение уклонов труб, выбор способа удаления воздуха из системы, запорно-регулирующей арматуры, места расположения теплового пункта в подвале здания.

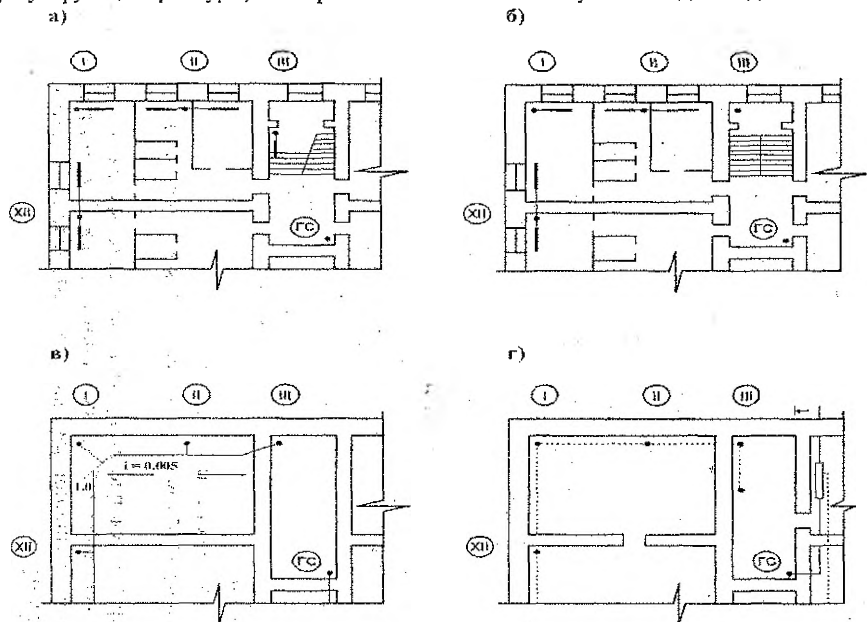


Рис. 5. Фрагменты планов этажей а), б), чердака в) и подвала г) с нанесением элементов системы отопления (в кружках обозначены номера стояков).

Для выпуска воздуха из системы с верхней разводкой магистралей на подающих магистралах в верхних точках устанавливают проточные воздухооборники. В системах с нижней разводкой обеих магистралей для этих целей предусматривают краны Маевского, устанавливаемые в верхней пробке прибора верхнего этажа.

Конструирование системы заканчивают вычерчиванием схемы системы отопления с нанесением тепловых нагрузок отопительных приборов и расчетных участков циркуляционных колец.

Расчетная тепловая мощность системы отопления определяется по [2,прил.12]:  $Q_c = 1,07 \cdot Q_{зд}$ , Вт

где  $Q_{зд}$  – общие тепловые потери здания, Вт  
 1,07 – коэффициент, учитывающий долю дополнительного теплового потока устанавливаемых отопительных приборов и за счет остывания воды в трубах, проложенных в неотапливаемых помещениях.

### 3.6.1 Выбор типа отопительных приборов, размещение их в здании и присоединение к трубопроводам системы отопления.

Тип отопительных приборов, устанавливаемых в отапливаемых помещениях, выбирают в зависимости от назначения помещения с учетом выполнения предъявляемых к приборам теплотехнических, экономических, санитарно-гигиенических, архитектурно-строительных и производственно-монтажных требований.

Отопительные приборы, компенсируя тепловые потери, должны обеспечивать равномерный обогрев помещения и выполнять роль локализатора ниспадающих потоков холодного воздуха в помещении.

Для достижения комфортной обстановки в жилых зданиях отопительные приборы принято размещать вдоль наружных стен под окнами на высоте 100 мм от пола. В лестничных клетках двух- и трехэтажных зданий целесообразно размещать отопительные приборы на первом этаже или в подвальной части лестниц; при этом установка приборов в тамбуре недопустима. В случае невозможности размещения всех приборов рядом с входными дверями в лестничной клетке, часть их (30-35%) переносят на площадку между 1 и 2 этажами.

Присоединение отопительных приборов к стоякам системы отопления, располагаемых, прежде всего, у наружных углов помещений и отдельно в лестничных клетках, следует предусматривать одностороннее, и может быть допущено разностороннее присоединение, если в приборе более 15 секций (рис. 6).

Установка двух приборов "на сцепке" допускается в пределах одного помещения или в том случае, когда последующий прибор устанавливается во вспомогательных помещениях (коридорах, кладовых и т.д.). Длина сцепки не должна превышать 1,25 м. У отопительных приборов устанавливают регулирующие краны, кроме приборов лестничной клетки.

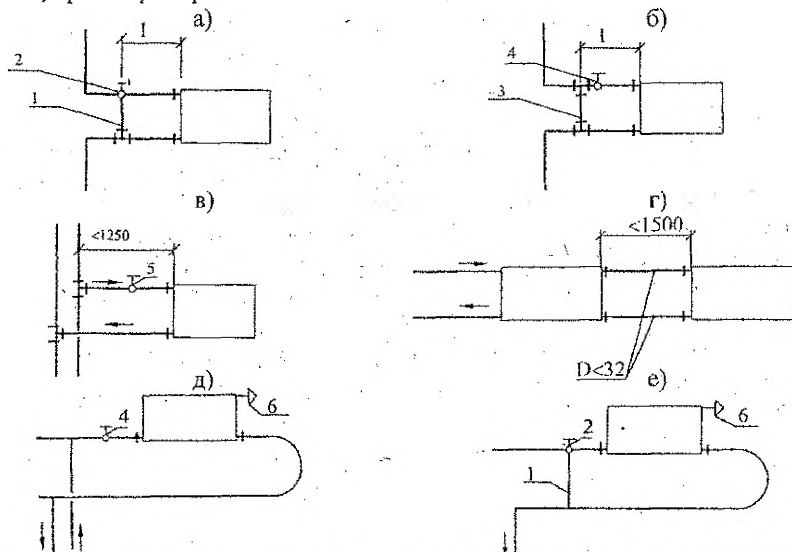


Рис. 6 Присоединение теплопроводов к отопительным приборам вертикальных систем отопления: однотрубных – а) и б), двухтрубных – в), в «сцепке» двух приборов – г), к верхним приборам стояков с нижней разводкой магистрали двухтрубной и однотрубной системы.

1 – смещенный обходной участок, 2 – кран КРТ, 3 – смещенный замыкающий участок, 4 – кран КРП, 5 – кран КРД, 6 – воздушный кран.

### 3.6.2 Определение поверхности нагрева отопительных приборов.

Исходными данными для расчета поверхности нагрева являются: а) тепловая нагрузка прибора, принимаемая равной потерям теплоты помещения за вычетом теплоотдачи теплопроводов, проложенных в этом помещении, б) расчетные температуры воды  $t_r, t_o, ^\circ\text{C}$ , в) температура воздуха в отапливаемом помещении,  $t_b, ^\circ\text{C}$ .

Площадь нагрева приборов рассчитывают в квадратных метрах ( $\text{м}^2$ ).

Расчетная площадь  $F_{\text{пр}}, \text{м}^2$ , отопительного прибора определяется по выражению:

$$F_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{q_{\text{пр}}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2, \quad (28);$$

где  $Q_{\text{пр}}$  - тепловая нагрузка отопительного прибора, Вт.

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

где  $Q_{\text{п}}$  - тепловые потери отапливаемого помещения, Вт;

$Q_{\text{тр}}$  - суммарная теплоотдача открыто проложенных в пределах помещения теплопроводов (труб, стояка, ветви и подводок), определяемая по формуле:

$$Q_{\text{тр}} = \sum K_{\text{тр}} \cdot \Pi \cdot d_{\text{н}} \cdot l \cdot (t_r - t_b), \quad (30);$$

где  $K_{\text{тр}}, d_{\text{н}}, l$  - соответственно коэффициент теплопередачи, наружный диаметр, м, длина теплопроводов, м;

$t_r, t_b$  - температура воды в теплопроводах и воздуха в помещении.

Теплоотдача теплопроводов может быть определена приближенно по формуле:

$$Q_{\text{тр}} = q_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}} + q_{\text{г}} \cdot l_{\text{г}} \quad (31)$$

где  $q_{\text{в}}, q_{\text{г}}$  - теплоотдача 1 м вертикальных и горизонтальных труб [3, табл. 11.22]

$l_{\text{в}}, l_{\text{г}}$  - длина вертикальных и горизонтальных теплопроводов в пределах помещения, м

В курсовом проекте следует считать, что  $Q_{\text{тр}} < 5\% Q_{\text{пр}}$ , поэтому значением  $Q_{\text{тр}}$  можно пренебречь.

В формуле (28)  $\beta_1$  - коэффициент учета дополнительного теплового потока устанавливаемых отопительных приборов за счет округления сверх расчетной величины принимается в пределах (от 1,03 до 1,08) по [2, прил. 12, табл. 1]; [5, табл. 8.2].

$\beta_2$  - коэффициент учета дополнительных потерь теплоты приборами у наружных ограждений [2, прил. 12, табл. 2]; [5, табл. 8.3].

$q_{\text{пр}}$  - расчетная плотность теплового потока отопительного прибора в конкретных условиях работы его в системе водяного отопления,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , определяется по формуле:

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{ном}} \cdot \left( \frac{\Delta t_{\text{ср}}^{\text{пр}}}{70} \right)^{1+n} \cdot \left( \frac{G_{\text{пр}}}{0,1} \right)^p \cdot C_{\text{пр}}, \quad (32);$$

где  $q_{\text{ном}}$  - номинальная плотность теплового потока отопительного прибора, получаемая при тепловых испытаниях прибора для стандартных условий работы прибора в системе отопления (при стандартном температурном напоре  $\Delta t_{\text{ср}}^{\text{пр}} =$

$t_{ср}^{пр} - t_B = 0,5(t_{вх} + t_{вых}) - t_B = 0,5 \cdot (105 + 70) - 18 = 70^\circ\text{C}$ , расходе воды в приборе  $G_{пр}^{ст} = 0,01$  кг/с; атмосферном давлении  $P = 1013,3$  ГПа [5, табл. 8.1]);

$G_{пр}$  - действительный расход воды в отопительном приборе, кг/с [5, табл. 8.1] или по формуле (37).

$\alpha$ ,  $\rho$ ,  $c_{пр}$  - экспериментальные коэффициенты, [5, табл. 8.1], [3, табл. 9.2].

$\Delta t_{ср}^{пр}$  - действительный температурный напор прибора, равный разности средней температуры воды в приборе и температуры воздуха помещения,  $^\circ\text{C}$ .

$$\Delta t_{ср}^{пр} = t_{ср}^{пр} - t_B, \quad (33);$$

$\Delta t_{ср}^{пр}$  - средняя температура воды в отопительном приборе определяется:

а) в двухтрубных системах отопления за расчетную температуру воды, входящей в каждый прибор, принимают начальную температуру горячей воды в системе  $t_r$ , за температуру воды, выходящей из каждого прибора - конечную температуру охлаждаемой воды в системе  $t_0$ , поэтому средняя температура воды в приборах постоянна. С учетом понижения температуры воды в подающей магистрали  $\sum \Delta t_m$  от начала системы до рассматриваемого стояка [3, ф. 9.8] и на участках подающего стояка до рассматриваемого прибора  $\sum \Delta t_{ст}$  [3, ф. 9.9] среднюю температуру  $\Delta t_{ср}^{пр}$  определяют:

$$t_{ср}^{пр} = 0,5 \cdot [t_r - (\sum \Delta t_m + \sum \Delta t_{ст}) + t_0], \quad (34);$$

В курсовом проекте при расчете средней температуры воды в приборах двухтрубных систем отопления можно не учитывать значения  $\sum \Delta t_m$  и  $\sum \Delta t_{ст}$ , считая их незначительными.

б) В отличие от двухтрубных систем отопления в однотрубных вертикальных водяных системах температура горячей воды, проходящей последовательно приборы различных этажей, понижается. Поэтому для определения поверхности нагрева отопительных приборов для однотрубных систем отопления необходимо всякий раз предварительно определять температуру воды, поступающей в приборы соответствующего этажа, а также перепады температуры воды в приборах  $\Delta t$ , и переменную среднюю температуру воды в приборе.

Температура воды, поступающей в нагревательный прибор, определяется по формуле:

$$t_{вх} = t_r - \frac{\sum Q_{пр_i}}{Q_{ст}} \cdot \Delta t_{ст}, \quad (35);$$

где  $\sum Q_{пр_i}$  - суммарная тепловая нагрузка всех отопительных приборов стояка, расположенных выше рассматриваемого прибора при подаче воды по схеме "сверху-вниз", а по схеме "снизу-вверх" - ниже рассматриваемого прибора, считая по направлению движения воды, Вт;

$Q_{ст}$  - тепловая нагрузка стояка, Вт;

$\Delta t_{ст} = t_r - t_0$  - температурный перепад воды в стояке,  $^\circ\text{C}$ .

Перепад температуры в отопительном приборе определяют по формуле:

$$\Delta t = \frac{0,86 \cdot Q_{\text{пр}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{G_{\text{пр}}} = \frac{0,86 \cdot Q_{\text{пр}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{\alpha \cdot G_{\text{ст}}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (36)$$

где  $Q_{\text{пр}}$  - тепловая нагрузка прибора, Вт

$\alpha$  - коэффициент затекания воды в прибор [3, табл.9.3];

$\alpha = 1$  и  $\alpha = 0,5$  для проточно-регулируемой системы с 3<sup>х</sup>-ходовыми кранами КРТ при одностороннем присоединении прибора к стояку и 2-стороннем соответственно;

$\alpha = 0,5$  и  $\alpha = 0,20$  для систем и проточным краном КРП со смещенным замыкающим участком для тех же вариантов присоединения прибора к стояку; для систем водяного отопления с осевым замыкающим участком при одностороннем присоединении к стояку  $\alpha = 0,33$ , 2-стороннем -  $\alpha = 0,17$  и кранами КРП.

$G_{\text{ст}}$  - расход воды, кг/ч, проходящей по стояку

$$G_{\text{ст}} = \frac{0,86 \cdot Q_{\text{ст}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{\Delta t_{\text{ст}}}, \quad (37)$$

$\beta_1, \beta_2$  - то же, что и в формуле (28)

Средняя температура воды в отопительном приборе:

$$t_{\text{ср}}^{\text{пр}} = t_{\text{вх}} - \sum \Delta t_{\text{м}} - \frac{\Delta t}{2}, \quad (38)$$

где  $\sum \Delta t_{\text{м}}$  - то же, что и в формуле (34).

Расчетное число секций чугунных радиаторов определяют по формуле:

$$n_{\text{р}} = \frac{F_{\text{пр}} \cdot \beta_4}{f_1 \cdot \beta_3}, \text{ шт.}, \quad (39);$$

где  $f_1$  - площадь поверхности нагрева одной секции, м<sup>2</sup>, [5, табл. 8.1];

$\beta_4$  - коэффициент, учитывающий способ установки радиатора в помещении, [5, рис. 8.13], при открытой установке  $\beta_4 = 1,0$ ;

$\beta_3$  - коэффициент, учитывающий число секций в одном радиаторе, определяемый по [5, формула 8.12] или в пределах  $0,96 + 1,0$  для чугунных радиаторов.

При округлении расчетного числа секций допускается уменьшение теплового потока  $Q_{\text{пр}}$  не более чем на 5 % (но не более чем на 60 Вт).

Расчет поверхности нагрева отопительных приборов сводят в табл.2 или 3.

**ПРИМЕР 4.** Определить поверхность нагрева чугунного радиатора МС-140-108 для двухтрубной системы водяного отопления с верхней разводкой и искусственной циркуляцией, установленного открыто у наружной стены под окном в угловой жилой комнате: потери тепла жилой комнаты  $Q_{\text{п}} = 1280$  Вт. Температура воды в подающей магистрали  $t_{\text{г}} = 95^\circ\text{C}$ , температура обратной воды  $t_{\text{о}} = 70^\circ\text{C}$ , понижение температуры воды в магистралях  $\Delta t_{\text{м}} = 2^\circ\text{C}$ , температура  $t_{\text{в}} = 20^\circ\text{C}$ .

**РЕШЕНИЕ:**

Определяем поверхность нагрева радиатора по формуле 28, где  $\beta_1 = 1,06$ ;  $\beta_2 = 1,02$  [2, прил. 12, табл. 1 и 2].

Расчетная плотность теплового потока  $q_{\text{пр}}$ , Вт/м<sup>2</sup> (ф. 32):

$$q_{\text{пр}} = 758 \cdot \left(\frac{61,5}{70}\right)^{1+0,3} \cdot \left(\frac{0,01}{0,1}\right)^{0,02} \cdot 1,039 = 636 \text{ Вт/м}^2;$$



$Q_{\text{норм}} = 758 \text{ Вт/м}^2$ ;  $G_{\text{пр}} = 0,01 \text{ кг/с}$ ;  $n = 0,3$ ;  $P = 0,02$ ;  $C_{\text{пр}} = 1,039$  - [5, табл. 8.1]

Температурный перепад  $\Delta t_{\text{ср}}^{\text{пр}}$  определяем по формуле (33):

$$\Delta t_{\text{ср}}^{\text{пр}} = t_{\text{ср}}^{\text{пр}} - t_{\text{в}} = 0,5 \cdot (t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{М}} + t_0) - t_{\text{в}} = 0,5 \cdot (95 - 2 + 70) - 20 = 61,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Поверхность нагрева:

$$F = \frac{1280 \cdot 1,06 \cdot 1,02}{636} = 2,18 \text{ м}^2;$$

Число секций в радиаторе:

$$n = \frac{2,18 \cdot 1}{0,244 \cdot 1} = 8,92 \text{ шт.};$$

где  $f = 0,244 \text{ м}^2$  - поверхность нагрева одной секции [5, табл. 8.1];  $\beta_3 = 1$ ;  $\beta_4 = 1$ .  
К установке принимаем 9 секций.

Ведомость расчета поверхности отопительных приборов к примеру 4

Таблица 2

№ помещения	температура воздуха в помещении, $^\circ\text{C}$	тепловая нагрузка на прибор, Вт	температура входящей воды в прибор, $^\circ\text{C}$	температура воды на выходе, $^\circ\text{C}$	расход воды в приборе, кг/с	температурный напор, $^\circ\text{C}$	расчетная плотность теплового потока	поправочный коэффициент $\beta_1$	поправочный коэффициент $\beta_2$	теплоотдача открыто расположенных трубопроводов, Вт		расчетная площадь прибора, $\text{м}^2$	поправочный коэффициент $\beta_3$	поправочный коэффициент $\beta_4$	расчетное число секций, шт.	установочное число секций, шт.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
201	20	1280	95	70	0,01	61,5	636	1,06	1,02	0	1280	2,18	1	1	8,92	9

**ПРИМЕР 5.** Рассчитать поверхность нагрева и количество панелей отопительных приборов (РСВ) для стояка №1 (рис. 7) вертикальной однотрубной системы водяного отопления, используя условия примера 7 (при температуре  $t_{\text{в}} = 18^\circ\text{C}$ ). Пониженные температуры воды в магистралях не учитывать.

**РЕШЕНИЕ:**

1. Тепловая нагрузка стояка №1:

$$Q = \sum_{i=1}^5 Q_i = 1800 + 1100 + 1600 = 4500 \text{ Вт}$$

Расход воды по стояку (ф. 37):

$$G_{\text{СТ}} = \frac{0,86 \cdot 4500 \cdot 1,06 \cdot 1,1}{95 - 70} = 180 \text{ кг/ч}$$

где  $\beta_1 = 1,06$ ;  $\beta_2 = 1,1$

2. Определяем температуру воды, поступающей в прибор стояка I на каждом этаже по ф. (35) ( $t_{301} = 95^\circ\text{C}$ ):

$$t_{201} = 95 - \frac{1800}{4500} \cdot 25 = 85^\circ\text{C};$$

$$t_{101} = 95 - \frac{1800 + 1100}{4500} \cdot 25 = 78,9^\circ\text{C};$$

3. Определяем температурный перепад воды в отопительном приборе на каждом этаже по ф. (36), где величину коэффициента затекания воды  $\alpha$  принимаем: для 1-го этажа  $\alpha = 0,5$  (смещен замыкающий участок и кран КРП); для 2-го этажа  $\alpha = 0,33$  (осевой замыкающий участок с краном КРП); для 3-го этажа  $\alpha = 1$  (проточно-регулирующий стояк с краном КРТ при одностороннем присоединении прибора к нему).

$$\Delta t_{301} = \frac{0,86 \cdot 1800 \cdot 1,06 \cdot 1,1}{1 \cdot 180} = 10^\circ\text{C}; \quad \Delta t_{201} = \frac{0,86 \cdot 1100 \cdot 1,06 \cdot 1,1}{0,33 \cdot 180} = 18,57^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{101} = \frac{0,86 \cdot 1600 \cdot 1,06 \cdot 1,1}{0,5 \cdot 180} = 17,8^\circ\text{C}$$

4. Находим среднюю температуру каждого прибора стояка 1 по ф. (38):

$$t_{\text{cp}}^{301} = 95 \cdot \frac{10}{2} = 90^\circ\text{C}; \quad t_{\text{cp}}^{201} = 85 \cdot \frac{18,57}{2} = 75,72^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{cp}}^{101} = 78,9 \cdot \frac{17,82}{2} = 70^\circ\text{C};$$

5. Температурный напор прибора, ф. (33):

$$\Delta t_{\text{cp}}^{301} = 90 - 18 = 72^\circ\text{C}; \quad \Delta t_{\text{cp}}^{201} = 75,72 - 18 = 57,72^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{cp}}^{101} = 70 - 18 = 52^\circ\text{C};$$

Далее по [5, табл. 8.1] для радиатора РСВ находим:  $Q_{\text{норм}} = 714 \text{ Вт/м}^2$ ;  $G_{\text{пр}} = 0,02 \text{ кг/с}$ ;  $n = 0,25$ ;  $P = 0,04$ ;  $C_{\text{пр}} = 0,97$ ;  $f = 1,68 \text{ м}^2$ .

6. Находим по ф. (32) расчетную плотность теплового потока для каждого радиатора ( $q_{\text{пр}}$ ,  $\text{Вт/м}^2$ ):

$$q_{\text{пр}}^{301} = 714 \cdot \left(\frac{72}{70}\right)^{1+0,25} \cdot \left(\frac{0,02}{0,1}\right)^{0,04} \cdot 0,97 = 673 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{\text{пр}}^{201} = 714 \cdot \left(\frac{57,72}{70}\right)^{1+0,25} \cdot \left(\frac{0,02}{0,1}\right)^{0,04} \cdot 0,97 = 502 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{\text{пр}}^{101} = 714 \cdot \left(\frac{52}{70}\right)^{1+0,25} \cdot \left(\frac{0,02}{0,1}\right)^{0,04} \cdot 0,97 = 448 \text{ Вт/м}^2;$$

7. Площадь приборов ф. (28):

$$F_{\text{пр}}^{301} = \frac{1800 \cdot 1,06 \cdot 1,1}{673} = 3,12 \text{ м}^2; \quad F_{\text{пр}}^{201} = \frac{1100 \cdot 1,06 \cdot 1,1}{502} = 2,55 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{пр}}^{101} = \frac{1600 \cdot 1,06 \cdot 1,1}{448} = 4,16 \text{ м}^2;$$

8. Количество панелей радиатора (ф. 30):

$$n^{301} = \frac{3,12 \cdot 1}{1,68 \cdot 1} = 1,86 \text{ шт.}; \quad n^{201} = \frac{2,55 \cdot 1}{1,68 \cdot 1} = 1,52 \text{ шт.};$$

$$n^{101} = \frac{4,16 \cdot 1}{1,68 \cdot 1} = 2,48 \text{ шт.};$$

где  $\beta_3 = 1$ ;  $\beta_4 = 1$  для панелей РСВ.

Расчет примера №5 сведен в табл. 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
№№ помещения	Температура воздуха в помещении, $t_{в}$ (°C)	Тепловая нагрузка на прибор $Q_{ПР}$ (Вт)	Суммарная тепловая нагрузка приборов, расположенных выше или ниже рассматриваемого $\Sigma Q_{ПР}$ (Вт)	Температура входящей воды в прибор, $t_{вх}$ (°C)	Коэффициент затекания воды, $\alpha$	Температурный перепад в приборе, $\Delta t = 0,86 \cdot Q_{ПР} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 / \alpha \cdot C_{ст}$ (°C)	Средняя температура в приборе, $t_{ср}^{ПР} = t_{вх} - \Delta t / 2$ (°C)	Температурный напор, $\Delta t_{ср}^{ПР} = t_{ср}^{ПР} - t_{в}$ (°C)	Расчетная плотность теплового потока, $q_{ПР}$ (Вт/м <sup>2</sup> )	Расход воды в приборе, G (кг/с)	$\beta_1$	Поправочные коэффициенты	$\beta_2$	Расчетная площадь прибора, $F = Q_{ПР} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 / q_{ПР}$ , (м <sup>2</sup> )	$\beta_3$	Поправочные коэффициенты	$\beta_4$	п <sub>р</sub> , (шт.)	п <sub>у</sub> , (шт.)
											$\beta_3$		$\beta_4$						
Расчет поверхности нагрева приборов II-образного стояка №2 для четырехэтажного жилого дома (пример №6)																			
301	18	1800	0	95	1	10	90	72	673	0,02	1,06	1,1	3,12	1	1	1,86	2		
201	18	1100	1800	85	0,33	18,57	75,72	57,72	502	0,02	1,06	1,1	2,55	1	1	1,52	2		
101	18	1600	2900	78,9	0,5	17,82	70	52	448	0,02	1,06	1,1	4,16	1	1	2,48	3		
102	15	660	0	100	0,5	7,2	96,4	81,4	914	0,01	1,06	1,02	0,78	1	1	3,2	4		
202	15	490	660	96,4	0,5	5,35	93,73	78,73	876,3	0,01	1,06	1,02	0,6	1	1	2,16	3		
302	15	490	1150	93,72	0,5	5,35	91,05	76,05	837,7	0,01	1,06	1,02	0,63	1	1	2,38	3		
402	15	890	1640	91	0,5	8,74	86,63	71,63	774,79	0,01	1,06	1,02	1,12	1	1	4,59	5		
403	18	880	2440	86,7	0,5	9,6	81,9	63,9	668,05	0,01	1,06	1,02	1,43	1	1	5,84	6		
303	18	665	3320	81,87	0,5	7,26	78,24	60,24	618,74	0,01	1,06	1,02	1,6	1	1	4,75	5		
203	18	665	3985	78,24	0,5	7,26	74,61	56,61	570,51	0,01	1,06	1,02	1,26	1	1	5,16	6		
103	18	845	4650	74,61	0,5	9,29	69,99	51,99	510,93	0,01	1,06	1,02	1,79	1	1	7,34	8		

**ПРИМЕР 6.** Рассчитать поверхность нагрева и количество секций в отопительных приборах МС-140-108 для П-образного стояка №2 однотрубной системы водяного отопления с нижней разводкой обеих магистралей (рис. 10). В стояке №2 применены узлы со смещенными замыкающими участками и кранами КРП ( $\alpha=0,5$ ). Температура  $t_r = 100^\circ\text{C}$ ,  $t_0 = 70^\circ\text{C}$ . Понижение температуры воды в подающей магистрали не учитывать.

**РЕШЕНИЕ:**

1. Определяем тепловую нагрузку стояка:

$$Q_{\text{СТ}} = \sum Q_{1+8} = 660 + 2 \cdot 490 + 800 + 880 + 2 \cdot 665 + 845 = 5495 \text{ Вт}$$

2. Расход воды в стояке по ф. (37):

$$G_{\text{СТ}} = \frac{0,86 \cdot 5495 \cdot 1,06 \cdot 1,02}{100 - 70} = 170,3 \text{ кг/ч}$$

где  $\beta_1 = 1,06$ ;  $\beta_2 = 1,02$

3. Температура воды, поступающей в отопительные приборы на каждом этаже (ф. 35) ( $t_{102} = 100^\circ\text{C}$ ):

$$t_{202} = 100 - \frac{660}{5495} \cdot 30 = 96,4^\circ\text{C}; t_{302} = 100 - \frac{660 + 490}{5495} \cdot 30 = 93,72^\circ\text{C};$$

$$t_{402} = 100 - \frac{660 + 490 \cdot 2}{5495} \cdot 30 = 91^\circ\text{C}; t_{403} = 100 - \frac{660 + 490 \cdot 2 + 800}{5495} \cdot 30 = 86,7^\circ\text{C};$$

$$t_{303} = 100 - \frac{660 + 490 \cdot 2 + 800 + 880}{5495} \cdot 30 = 81,87^\circ\text{C}; \text{ и т. д.}$$

4. Перепад температуры в приборе (ф. 36) при  $\alpha = 0,5$ :

$$\Delta t^{102} = \frac{0,86 \cdot 660 \cdot 1,06 \cdot 1,02}{0,5 \cdot 170,3} = 7,2^\circ\text{C}; \Delta t^{202(302)} = \frac{0,86 \cdot 490 \cdot 1,06 \cdot 1,02}{0,5 \cdot 170,3} = 5,35^\circ\text{C};$$

$$\Delta t^{402} = \frac{0,86 \cdot 800 \cdot 1,06 \cdot 1,02}{0,5 \cdot 170,3} = 8,74^\circ\text{C}; \Delta t^{403} = \frac{0,86 \cdot 880 \cdot 1,06 \cdot 1,02}{0,5 \cdot 170,3} = 9,6^\circ\text{C}; \text{ и т. д.}$$

5. Средняя температура прибора (ф. 38):

$$t_{\text{ср}}^{102} = 100 - \frac{7,2}{2} = 96,4^\circ\text{C}; t_{\text{ср}}^{202} = 96,4 - \frac{5,32}{2} = 93,73^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{ср}}^{302} = 93,72 - \frac{5,32}{2} = 91,05^\circ\text{C}; t_{\text{ср}}^{402} = 91 - \frac{8,74}{2} = 86,63^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{ср}}^{403} = 86,7 - \frac{9,6}{2} = 81,9^\circ\text{C}; \text{ и т. д.}$$

6. Температурный напор отопительного прибора (ф. 33):

$$\Delta t_{\text{ср}}^{102} = 96,4 - 15 = 81,4^\circ\text{C}; \Delta t_{\text{ср}}^{202} = 93,73 - 15 = 78,73^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{ср}}^{302} = 91,05 - 15 = 76,05^\circ\text{C}; \Delta t_{\text{ср}}^{402} = 86,63 - 15 = 71,63^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{ср}}^{403} = 81,9 - 15 = 66,9^\circ\text{C}; \text{ и т. д.}$$

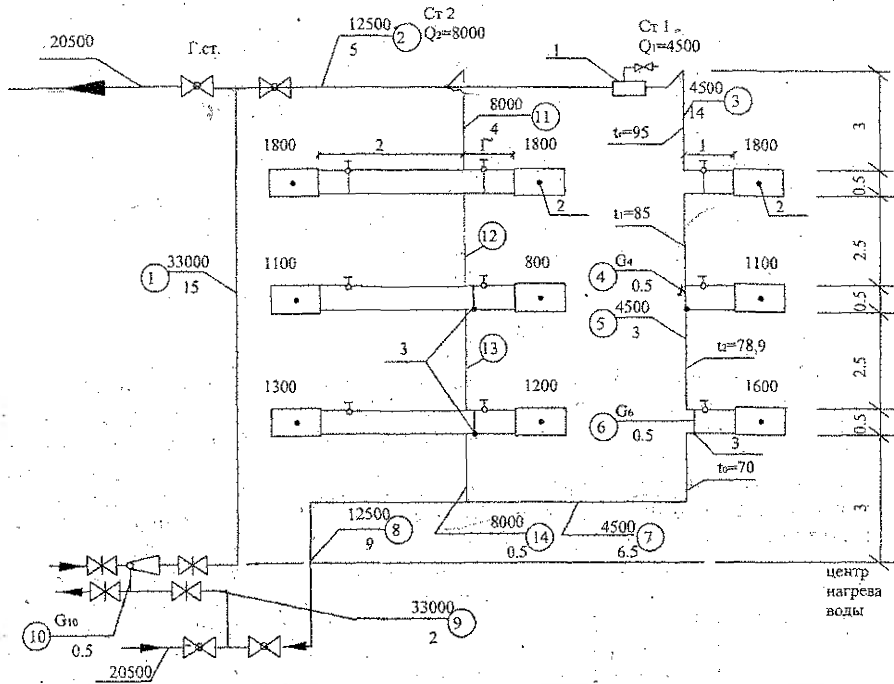


Рис. 7 Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с искусственной циркуляцией с верхней разводкой и тупиковым движением воды в магистралях (к примерам 5 и 7)

1 – воздухоотборник, 2, 3 – центры охлаждения воды в приборах и стояках соответственно.  
7. Расчетная плотность теплового потока прибора (ф. 32):

$$q_{\text{пр}}^{102} = 758 \cdot \left(\frac{81,4}{70}\right)^{1+0,3} \cdot \left(\frac{0,01}{0,1}\right)^{0,02} \cdot 1,039 = 914 \text{ Вт/м}^2;$$

где  $q_{\text{норм}} = 758 \text{ Вт/м}^2$ ;  $G_{\text{пр}} = 0,01 \text{ кг/с}$ ;  $n = 0,3$ ;  $P = 0,02$ ;  $C_{\text{пр}} = 1,039$  – [5, табл. 8.1]

$$q_{\text{пр}}^{202} = 758 \cdot \left(\frac{78,73}{70}\right)^{1+0,3} \cdot \left(\frac{0,01}{0,1}\right)^{0,02} \cdot 1,039 = 876,3 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{\text{пр}}^{302} = 758 \cdot \left(\frac{76,05}{70}\right)^{1+0,3} \cdot \left(\frac{0,01}{0,1}\right)^{0,02} \cdot 1,039 = 837,7 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{\text{пр}}^{402} = 758 \cdot \left(\frac{71,63}{70}\right)^{1+0,3} \cdot \left(\frac{0,01}{0,1}\right)^{0,02} \cdot 1,039 = 774,97 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{\text{пр}}^{403} = 758 \cdot \left(\frac{63,9}{70}\right)^{1+0,3} \cdot \left(\frac{0,01}{0,1}\right)^{0,02} \cdot 1,039 = 668,05 \text{ Вт/м}^2;$$

8. Площадь приборов (ф. 28):

$$F_{\text{пр}}^{102} = \frac{660 \cdot 1,06 \cdot 1,02}{914} = 0,78 \text{ м}^2; \quad F_{\text{пр}}^{202} = \frac{490 \cdot 1,06 \cdot 1,02}{876,3} = 0,6 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{пр}}^{302} = \frac{490 \cdot 1,06 \cdot 1,02}{837,7} = 0,63 \text{ м}^2; F_{\text{пр}}^{402} = \frac{800 \cdot 1,06 \cdot 1,02}{774,97} = 1,12 \text{ м}^2;$$

$$F_{\text{пр}}^{403} = \frac{880 \cdot 1,06 \cdot 1,02}{668,05} = 1,43 \text{ м}^2; \text{ и т. д.}$$

9. Расчетное количество секций (ф. 39):

$$n_{\text{р}}^{102} = \frac{0,78 \cdot 1}{0,244 \cdot 1} = 3,2 \text{ шт.}; n_{\text{р}}^{202} = \frac{0,6 \cdot 1}{0,244 \cdot 1} = 2,46 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{р}}^{302} = \frac{0,63 \cdot 1}{0,244 \cdot 1} = 2,58 \text{ шт.}; \text{ и т. д.}$$

где  $\beta_1=1$ ;  $\beta_4=1$ ,  $f=0,244 \text{ м}^2$  — [5, табл. 8.1].

Результаты расчета примера №6 сведены в табл. 3.

### 3.6.3. Тепловой пункт. Принципиальные схемы узлов присоединения системы водяного отопления здания к наружным тепловым сетям и их оборудование.

Тепловой пункт — узел присоединения системы отопления здания к тепловым сетям.

Выбор схемы узла присоединения системы насосного водяного отопления к тепловым сетям зависит от разности давлений в подающем и обратном трубопроводах тепловых сетей в месте присоединения и от давления в системе отопления, допустимого для отопительных приборов системы (по условию прочности приборов).

В курсовом проекте следует присоединить систему отопления к наружным тепловым сетям по одной из принципиальных схем узлов присоединения:

а) независимая схема присоединения через водоподогреватель (рис. 8а);

б) зависимая схема присоединения системы отопления со смешением воды при помощи смесительного насоса, включенного в перемычку между подающей и обратной магистралями системы отопления (рис. 8б);

в) зависимая схема присоединения со смешением воды при помощи водоструйного элеватора (рис. 8в).

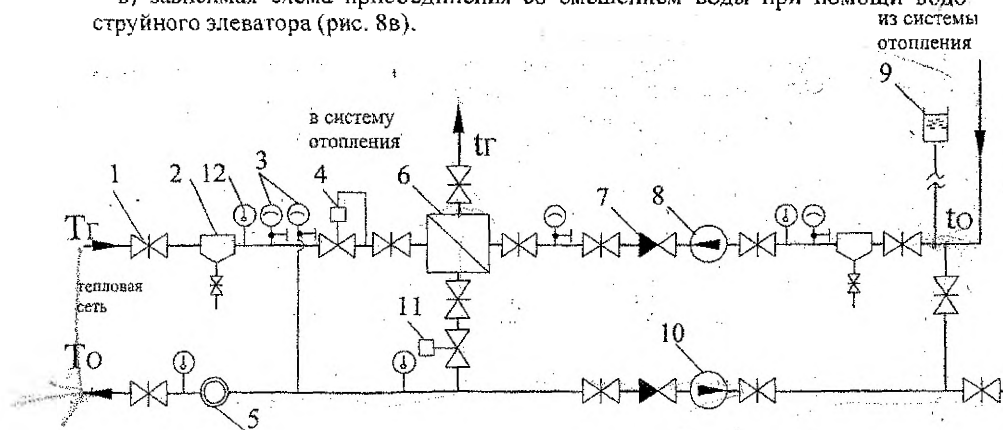


Рис. 8а Принципиальная схема местного теплового пункта при независимом присоединении системы водяного отопления к наружным тепловым сетям  
1—задвижка, 2—грязевик, 3—манометр, 4—регулятор давления, 5—тепломер, 6—теплообменник, 7—обратный клапан, 8—циркуляционный насос, 9—расширительный бак, 10—подпиточный насос, 11—регулирующий клапан, 12 — термометр.

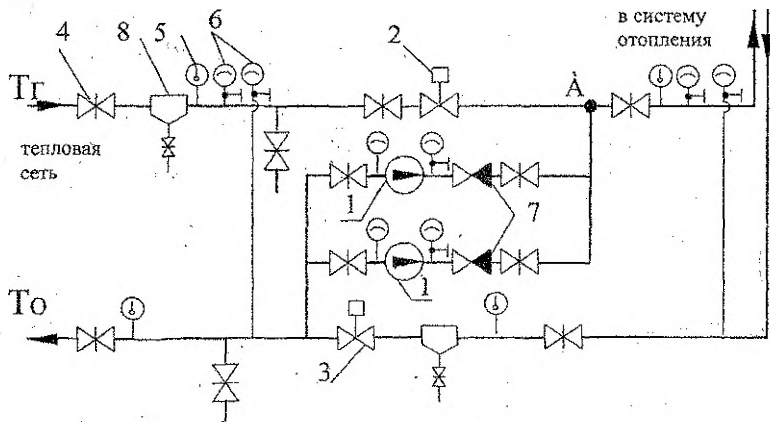


Рис. 8а Принципиальная схема местного теплового пункта при зависимом присоединении системы водяного отопления к наружным тепловым сетям со смесительным насосом, включенным в перемычку.

1—смесительный насос, 2—регулятор температуры, 3—регулятор расхода, 4—задвижка, 5—термометр, 6—манометр, 7—обратный клапан, 8—грязевик.

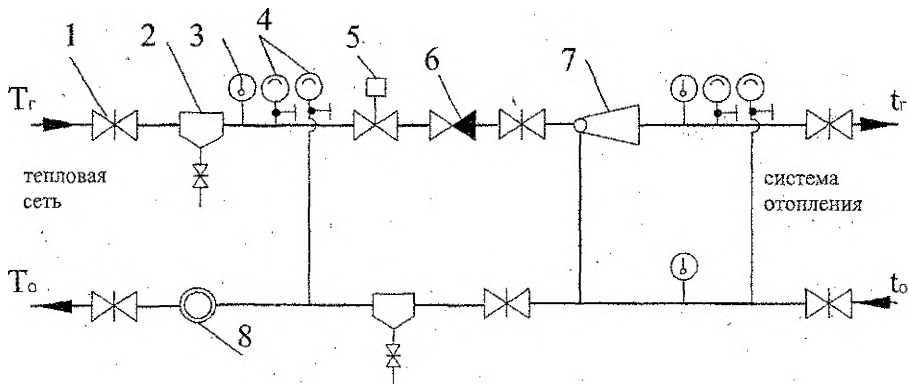


Рис. 8б Принципиальная схема местного теплового пункта при зависимом присоединении системы водяного отопления к наружным тепловым сетям через водоструйный элеватор

1 — задвижка, 2 — грязевик, 3 — термометр, 4 — манометр, 5 — регулятор расхода, 6 — обратный клапан, 7 — водоструйный элеватор, 8 — теплометр.

Независимая схема присоединения с установкой водоподогревателя применяется, когда необходимо гидравлически изолировать местную систему отопления от наружных тепловых сетей. При независимой схеме присоединения давления в системе отопления не зависит от давления в тепловой сети.

Основным оборудованием независимой схемы является водоподогреватель, циркуляционный насос и расширительный бак.

Высокотемпературная вода с температурой  $T_{\Gamma}$  поступает из подающего теплопровода в водоподогреватель и охлаждается до температуры  $T_{\text{O}}$ , не выходя из него, нагревая воду системы отопления, перемешаемую противотоком в водоподогревателе циркуляционным насосом, от температуры  $t_{\text{O}}$  до  $t_{\Gamma}$ . Для нагрева воды применяются различные типы водоподогревателей (трубчатые, пластинчатые и т.д.).

Поверхность нагрева трубчатых рекуперативных водоподогревателей определяют по формуле:

$$F = \frac{Q_{\text{с}}}{k \cdot \Delta t_{\text{ср}}}, \quad (40)$$

где  $Q_{\text{с}} = 1,07 \cdot Q_{\text{зд}}$  - тепловая мощность системы отопления, Вт

$Q_{\text{зд}}$  - общие тепловые потери здания, Вт

$k$  - коэффициент теплопередачи водоподогревателя, Вт/(м<sup>2</sup>·С)

$k=(1500-2000)$  Вт/(м<sup>2</sup>·С) для водоводяных подогревателей.

$\Delta t_{\text{ср}}$  - средняя логарифмическая разность температуры греющей и нагреваемой воды. Для противоточных водоподогревателей:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(T_{\Gamma} - t_{\Gamma}) - (T_{\text{O}} - t_{\text{O}})}{\ln \frac{T_{\Gamma} - t_{\Gamma}}{T_{\text{O}} - t_{\text{O}}}}, \quad (41)$$

где  $T_{\Gamma}$ ,  $T_{\text{O}}$  - температура воды в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, °С;

$t_{\Gamma}$ ,  $t_{\text{O}}$  - температура воды в подающей и обратной магистралях системы отопления, °С.

Температура греющей воды на выходе из водоподогревателя  $T_{\text{O}}$  должна быть выше температуры воды в обратной магистрали системы отопления  $t_{\text{O}}$ , т.е.  $T_{\text{O}} - t_{\text{O}} = 4 \pm 5$  °С.

Движение нагреваемой воды в водоподогревателе сопровождается потерями давления  $\Delta P_{\text{то}}$ , которые определяют расчетным путем или по каталогам заводов-изготовителей.

Для обеспечения циркуляции в системе отопления важно правильно подобрать циркуляционный насос, включенный в обратную магистраль системы. Циркуляционный насос подбирают по его рабочей характеристике, зная требуемый объем перемешаемой воды системы отопления ( $V_{\text{н}}$ , м<sup>3</sup>/ч) и создаваемое насосом циркуляционное давление ( $\Delta P_{\text{н}}$ , Па).

Объем воды:

$$V_{\text{н}} = \frac{0,86 \cdot Q_{\text{с}}}{(t_{\Gamma} - t_{\text{O}}) \cdot \rho 70}, \quad (42)$$

где  $Q_{\text{с}}$  - то же, что и в формуле (40);

$t_{\Gamma}$ ,  $t_{\text{O}}$  - то же, что и в формуле (41);



$\rho_{70}$  - плотность воды,  $\text{кг/м}^3$ , при температуре  $t_0=70$  °С.

Величину циркуляционного давления, достаточного для преодоления всех сопротивлений движению воды в системе отопления ( $\Delta P_H$ ), определяют:

а) исходя из гидравлического расчета системы по предельно допустимой скорости:

$$\Delta P_H = \Delta P_c - \Delta P_e = \sum (R \cdot l + Z) - \Delta P_e, \quad (43)$$

где  $\Delta P_c = \sum (R \cdot l + Z)$  - потери давления в главном расчетном циркуляционном кольце, включая потери давления в водоподогревателе;

$\Delta P_e$  - естественное циркуляционное давление, Па, (формула 53).

б) определяют ориентировочно значение  $\Delta P_H = 100 \cdot l$ , зная длину циркуляционного кольца ( $l$ , м).

в) задают значение  $\Delta P_H$  как разность давления в наружных теплопроводах в месте их ввода в здание. Обычно циркуляционное давление насоса для систем отопления здания принимают  $P_H = (12 \div 15) \cdot 10^3$  Па.

В независимой схеме расширительный бак создает постоянное гидростатическое давление в системе, независимое от тепловых сетей.

Полезный объем ( $V_{\text{п}}$ , л) расширительного бака определяют по формуле:

$$V_{\text{п}} = \alpha \cdot \Delta t \cdot V_c, \quad (44)$$

где  $\alpha$  - 0,0006  $1/^\circ\text{C}$  - коэффициент объемного расширения воды;

$\Delta t$  - изменение температуры воды от начальной до средней расчетной, °С;

$V_c$  - общий объем воды в системе, л

$$V_c = (V_{\text{то}} + V_{\text{тр}} + V_{\text{п}}) \cdot Q_c, \quad (45)$$

где  $V_{\text{то}}$ ,  $V_{\text{тр}}$ ,  $V_{\text{п}}$  - объем воды, соответственно в водоподогревателях, трубах, приборах, л, приходящийся на 1000Вт тепловой мощности системы водяного отопления (3, табл. 10.3).

При  $t_1=95$  °С  $V_{\text{то}}=0,21$ л;  $V_{\text{тр}}=6,9$ л,  $V_{\text{пр}}=9,5$ л.

$Q_c$  - то же, что и в формуле (40).

Второй способ присоединения системы водяного отопления к наружным тепловым сетям - зависимая схема с установкой смесительного насоса на перемычке между магистралями системы отопления на вводе в здание. Такая схема применяется для понижения температуры воды, поступающей из тепловых сетей, до температуры  $t_1$ , допустимой в системе отопления.

Понижение температуры происходит в результате смешения высокотемпературной воды с температурой  $T_1$  с обратной охлажденной до  $t_0$  водой системы отопления. Смешение воды в точке А обеспечивается совместным действием параллельно работающих сетевого насоса на тепловой станции и смесительного, включенного в перемычку. Поток охлажденной воды возвращается из системы отопления, делится на два: первый в количестве  $G_1$  направляется в обратный теплопровод тепловой сети, а второй поток в количестве  $G_0$  перемещается по перемычке к точке смешения.

Количество воды  $G_0$ , перемещаемой смесительным насосом по перемычке в точку смешения, определяют по выражению:

$$G_0 = 0.86 \cdot Q_c \cdot \left( \frac{1}{t_r - t_c} - \frac{1}{T_r - T_0} \right), \text{ кг/ч} \quad (46)$$

где  $Q_c$  - то же, что и в формуле (40);

$T_r, T_0, t_r, t_0$  - то же, что и в формуле (41).

Следовательно, смесительный насос перемещает меньшее количество воды, чем циркуляционный. Принцип подбора смесительного и циркуляционного насосов одинаков с учетом перемещения ими разного количества воды.

Однако практика эксплуатации показала, что смесительные насосы работают надежнее при подборе их на объем перемещаемой воды, равный объему воды в системе отопления (формула 42).

Широко распространена зависимая схема узла присоединения системы водяного отопления к наружным тепловым сетям через водоструйный элеватор. Элеватор применяют для понижения температуры воды  $T_r$ , поступающей из тепловой сети, до заданной температуры воды  $t_r$  в подающей магистрали системы отопления и обеспечения циркуляции воды в системе путем передачи части давления сетевого насоса, установленного на тепловой станции, в систему отопления здания.

Схемы теплового пункта и элеватора представлены на рис. 8в и 9.

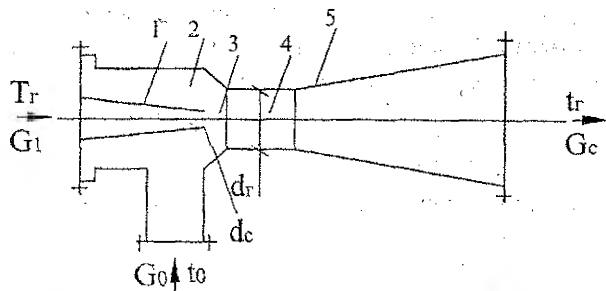


Рис. 9 Принципиальная схема водоструйного элеватора

1 - сопло, 2 - камера всасывания, 3 - смесительный конус, 4 - горловина, 5 - диффузор.

Высокотемпературная вода нагнетается из тепловых сетей насосом, установленным на тепловой станции, через сопло элеватора. Вокруг струи, вытекающей из сопла с большой скоростью, создается зона пониженного давления, благодаря чему вода из обратной магистрали поступает в камеру всасывания, а затем в смесительный корпус, где смешивается с горячей водой, имеющей температуру  $T_r$ . Смешанная вода с температурой  $t_r$  направляется через диффузор в подающую магистраль системы отопления.

Разность давлений за диффузором и в камере всасывания обеспечивает циркуляцию воды в системе. Элеватор – простой, дешевый и надежный в эксплуатации аппарат, хотя его КПД не выше 10%.

Основной характеристикой элеватора является коэффициент смешения  $U$ .

$$U = 1,15 \cdot \frac{G_o}{G_r} = 1,15 \cdot \frac{T_r - t_r}{t_r - t_o}, \quad (47);$$

где  $G_o$  - количество подмешиваемой обратной воды, т/ч (формула 46);

$G_r$  - количество горячей сетевой воды, т/ч;

$T_r, t_r, t_o$  - то же, что и в формуле (41).

Для подбора соответствующего номера сопла и номера элеватора необходимо определить аналитически диаметры сопла и горловины элеватора. Элеватор удобно подбирать, пользуясь номограммой, [6, лист VI.5, рис.1], предварительно определив коэффициент смешения  $U$  и приведенный расход, т/ч смешанной воды.

$$G_{\text{пр}} = \frac{100 \cdot G_{\text{мс}}}{\sqrt{P_c}}, \quad \text{т/ч} \quad (48);$$

где  $P_c$  - гидравлическое сопротивление системы отопления, Па (формула (43) или формула (44));

$G_{\text{мс}}$  - количество воды, циркулирующей в системе отопления, т/ч.

$$G_{\text{мс}} = \frac{0,86 \cdot Q_c}{t_r - t_o} \cdot 10^{-3}, \quad \text{т/ч} \quad (49);$$

где  $Q_c$  - то же, что и в формуле (40);

$t_r, t_o$  - то же, что и в формуле (41).

#### 3.6.4. Гидравлический расчет системы водяного отопления.

Гидравлический расчет трубопроводов системы водяного отопления заключается в подборе диаметров труб, достаточных для пропуска заданного количества воды при действующем циркуляционном давлении в системе.

Правильно выполненный гидравлический расчет обеспечивает прохождение по трубам расчетного количества воды и предопределяет работоспособность системы отопления. Гидравлический расчет основан на законах гидравлики: при движении воды по трубам всегда имеют место потери давления на преодоление трения и местных сопротивлений. Суммарные потери давления, возникающие при движении воды в трубопроводах циркуляционного кольца системы отопления, должны быть меньше расчетного циркуляционного давления для данной системы.

Гидравлический расчет выполняют по аксонометрической схеме трубопроводов системы отопления. На схеме выявляют циркуляционные кольца. В циркуляционное кольцо могут быть включены один (для двухтрубной системы) или несколько (для однетрубной системы) отопительных приборов, теплогенератор, а также побудитель циркуляции воды в насосной (элеваторной) системе.

Выполнение гидравлического расчета начинают с определения расчетного циркуляционного давления  $\Delta P_p$ , Па.

В системе отопления расчетное давление для создания циркуляции воды определяется по формулам:

а) в насосной вертикальной однотрубной

$$\Delta P_p = \Delta P_{H(эл)} + \Delta P_{г}, \text{ Па}, \quad (50);$$

б) в насосной двухтрубной и горизонтальной однотрубной системах

$$\Delta P_p = \Delta P_{H(эл)} + 0,4 \cdot \Delta P_{г}, \text{ Па}, \quad (51);$$

в) в системах с естественной циркуляцией

$$\Delta P_p = \Delta P_{г}, \text{ Па}, \quad (52);$$

где  $\Delta P_{H(эл)}$  - циркуляционное давление, создаваемое насосом или передаваемое в систему отопления через элеватор, Па. В курсовом проекте  $\Delta P_{H(эл)}$  определяется заданием на проектирование.

$\Delta P_{г}$  - естественное циркуляционное давление, Па

$$\Delta P_{г} = \Delta P_{г_{np}} + \Delta P_{г_{тр}}, \text{ Па}, \quad (53);$$

где  $\Delta P_{г_{тр}}$  - естественное циркуляционное давление, возникающее вследствие охлаждения воды в трубах, Па [5, прил.4].

$\Delta P_{г_{np}}$  - естественное циркуляционное давление, возникающее в циркуляционном кольце вследствие охлаждения воды в отопительных приборах, Па; определяемое по формулам:

- для вертикальной однотрубной при N приборах в стояке, входящем в циркуляционное кольцо. [3, формула 10.12а]

$$\Delta P_{г_{np}} = \frac{\beta \cdot g}{Q_{ст}} \cdot (t_{г} - t_{о}) \cdot \sum_{i=1}^n (Q_{np_i} \cdot h_i), \text{ Па}, \quad (54);$$

где  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$\beta$  - среднее приращение плотности при понижении температуры воды на  $1^\circ\text{C}$ , [3, табл.10.4];

для  $t_{г} - t_{о} = (95 - 70)^\circ\text{C}$   $\beta = 0,64$ ;

для  $t_{г} - t_{о} = (105 - 70)^\circ\text{C}$   $\beta = 0,66$ ;

$Q_{ст}$  - тепловая нагрузка стояка, Вт;

$$Q_{ст} = \sum_{i=1}^n Q_{np_i}, \quad (55)$$

$Q_{np_i}$  - тепловая нагрузка i-го прибора;

$t_{г} - t_{о}$  - расчетная разность температур в системе;

$h_i$  - вертикальное расстояние между условными центрами: охлаждения в стояке для i-го прибора и нагрева (середина высоты котла, теплообменника, точка смещения в тепловом пункте и т.п.), м

Для проточных и проточно-регулируемых систем водяного отопления за центр охлаждения в стояке принимают середину i-го отопительного прибора, а для систем водяного отопления с осевыми и со смещенными замыкающими участками центр охлаждения соответствует точке, где в стояке изменяется температура воды (рис. 7, 10).

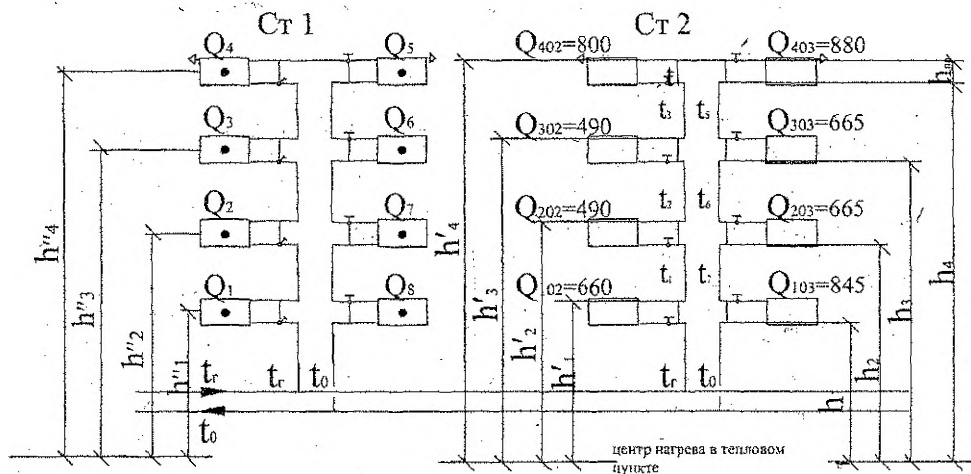


Рис. 10 Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с нижней разводкой магистралей (с П-образными стояками)

Ст 1 – проточно-регулируемый стояк

Ст 2 – стояк с замыкающими участками

для двухтрубной системы водяного отопления в расчетном кольце через отопительный прибор 1 этажа:

$$\Delta P_{\text{т.пр}} = h_1 \cdot (\gamma_0 - \gamma_r) = \beta \cdot g \cdot h_1 \cdot (t_r - t_0), \quad (56)$$

где  $h_1$  – вертикальное расстояние между условными центрами охлаждения воды в отопительном приборе 1 этажа и центром ее нагревания в системе, м  
 $\beta$  – то же, что и в формуле (47).

При определении  $\Delta P_{\text{т.пр}}$  в циркуляционном кольце через отопительные приборы второго и третьего этажей:

$$\Delta P_{\text{т.пр}}^{\text{II}} = \beta \cdot g \cdot (h_1 + h_2) \cdot (t_r - t_0) \quad (57)$$

$$\Delta P_{\text{т.пр}}^{\text{III}} = \beta \cdot g \cdot (h_1 + h_2 + h_3) \cdot (t_r - t_0) \quad (58)$$

где  $h_2, h_3$  – вертикальные расстояния между центрами охлаждения воды в приборах на втором и первом, третьем и втором этажах соответственно, м.

Если в насосных системах естественное давление  $\Delta P_{\text{т}} < 0,1 \cdot \Delta P_{\text{н}}$ , то его можно не учитывать.

Гидравлический расчет трубопроводов выполняют по методу удельных потерь в следующей последовательности:

1. Определяют циркуляционное давление  $\Delta P_{\text{р}}$  в системе (формула (50) или (51)).

2. Выбирают основное расчетное циркуляционное кольцо, в котором наименьшее значение

$$P = \frac{\Delta P_p}{\sum l} \quad (59)$$

где  $\sum l$  - сумма длин циркуляционного кольца, м

В насосной однострунной системе это кольцо через наиболее нагруженный стояк из удаленных от теплового пункта стояков при тупиковом движении воды или через наиболее нагруженный из средних стояков при попутном движении воды в магистралях. В насосной двухтрубной системе - это кольцо через нижний отопительный прибор аналогично выбранных стояков.

3. Разбивают основное циркуляционное кольцо на расчетные участки, граница которых определяется в местах изменения расхода или скорости воды. На расчетной схеме обозначают номера участков, длины и тепловые нагрузки. Длины участков определяются по планам и разрезам здания.

4. Определяют ориентировочную величину удельной потери на трение  $R_{уд}^{cp}$ , Па/мп, по формуле:

$$R_{уд}^{cp} = \frac{B \cdot P_p}{\sum l} \quad (60)$$

где  $B=0,65$  - доля потерь давления на трение от общего расчетного давления  $\Delta P_p$  в системе.

$\sum l$  - то же, что в формуле (59), м

5. Определяют расход воды на участке, кг/ч, по формуле (37), где  $Q$  - тепловая нагрузка участка, которая равна сумме тепловых нагрузок приборов, обслуживаемых протекающей по участку водой.

6. Подбирают диаметры труб участков в циркуляционном кольце, исходя из  $R_{уд}^{cp}$  и расхода воды  $G$ , пользуясь [5, прил. 6], [6, табл. III-60], выписывая из таблиц диаметр участка  $d$ , фактическую величину удельной потери давления на трение  $R_{уд}^{\phi}$  и скорость движения воды  $W$  на участке.

7. Определяют на каждом участке потери давления на трение по формуле:

$$R_{уд}^{\phi} \cdot l, \text{ Па} \quad (61)$$

8. Находят потери давления в местных сопротивлениях каждого участка кольца [5, прил. 7], зная скорость движения воды  $W$ , м/с, и сумму коэффициентов местных сопротивлений участков  $\sum \zeta$ , определяемых по [5, прил. 5].

Местное сопротивление (тройник, крестовина) на границе двух участков относят к расчетному участку с меньшим расходом воды; местное сопротивление (нагревательный прибор, элеватор и т.п.) учитывают поровну на каждом участке.

9. Определяют суммарные потери давления на трение и в местных сопротивлениях на каждом участке ( $R_{уд}^{\phi} \cdot l + Z$ ); и в циркуляционном кольце.

$$\sum_{i=1}^n (R_{уд}^{\phi} \cdot l + Z)_i = (0,9 + 0,95) \cdot \Delta P_p \quad (62)$$

Расчет второстепенных циркуляционных колец проводят исходя из расчета основного кольца. В каждом новом кольце рассчитывают только дополнительные (не общие) участки, параллельно соединенные с участками основного кольца.

Располагаемое циркуляционное давление для расчета дополнительных (не общих) участков  $\Delta P_p^{\text{доп}}$  должно быть равно потерям давления на участках (уже рассчитанных) основного кольца, замыкающих рассматриваемый стояк.

Для двухтрубной системы:

$$\Delta P_p^{\text{доп}} = \sum (R \cdot l + Z)_{\text{осн}}^{\text{не общ}}, \text{ Па} \quad (63)$$

Для однострубной системы:

$$\Delta P_p^{\text{доп}} = \sum (R \cdot l + Z)_{\text{осн}}^{\text{не общ}} + (\Delta P_e^{\text{доп}} - \Delta P_e^{\text{осн}}), \text{ Па} \quad (64)$$

где  $\Delta P_e^{\text{доп}}, \Delta P_e^{\text{осн}}$  - естественное давление в основном и рассматриваемом (второстепенном) кольцах (формула 51).

Расхождение (невязка) в расчетных потерях давления на параллельно соединенных участках в системах с тупиковым движением воды в магистралях составляет до 15%, при попутном движении - 5%.

**ПРИМЕР 7.** Выполнить гидравлический расчет основного и второстепенного циркуляционных колец вертикальной однострубной системы отопления с верхней разводкой, тупиковым движением воды в магистралях, присоединенной через водоструйный элеватор к наружным теплопроводам, если  $T_r=150^\circ\text{C}$ ,  $t_r=95^\circ\text{C}$ ,  $t_0=70^\circ\text{C}$ . Тепловые нагрузки приборов и участков, длины участков указаны на схеме (рис. 7) - [3, рис. 10.21]. Приборы - радиаторы РСВ - установлены у световых проемов, присоединены к стоякам без уток со смещенными обходными участками на третьем этаже (с кранами КРТ), с осевыми и смещенными замыкающими участками на втором и первом этаже соответственно (с кранами КРП).

**РЕШЕНИЕ:**

1. Основное циркуляционное кольцо выбираем через стояк 1; длина кольца - 56 м (принимая, что правая часть системы значительно длиннее левой). Расчетное циркуляционное давление определяем по [3, ф. 10.6], ф. (50) пренебрегая как незначительной величиной  $\Delta P_{\text{гтр}}$ :

$$\Delta P_p = \Delta P_{\text{эл}} + \Delta P_{\text{гтр}} = 5600 + 980 = 6580 \text{ Па},$$

где  $P_{\text{эл}} = 100 \cdot l = 100 \cdot 56 = 5600 \text{ Па}$  [7, ф. 6.10]

$$\Delta P_{\text{гтр}} = \frac{0,64 \cdot 9,81}{4500} \cdot (95 - 70) \cdot (1600 \cdot 3 + 1100 \cdot 6 + 1800 \cdot 9,25) = 980 \text{ Па},$$

[3, ф. 3.12а], ф. (54)

2. Расход воды в стояке 1 (ф. 37):

$$G_{\text{СТ}} = \frac{0,86 \cdot 4500 \cdot 1,06 \cdot 1,1}{95 - 70} = 180 \text{ кг/ч}$$

3. Средняя удельная потеря давления на трение [3, ф. 10.33] или (ф. 60):

$$R_{\text{ср}} = \frac{0,65 \cdot 6580}{56} = 76 \text{ Па/мп}$$

Результаты расчета по [3, табл. П.1 и П.2] заносим в бланк (табл. 4).

Гидравлический расчет основного циркуляционного кольца однетрубной системы водяного отопления (по 3, пример 10.1)

Таблица 4

Данные по схеме				принято						Rl+Z, Па
уча-сток	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	D <sub>н</sub> , мм	W, м/с	R, Па/м	Rl, Па	∑ξ	Z, Па	Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	33000	1320	15	32	0,37	64	960	2	134	1094
2	12500	500	5	25	0,245	43	215	11,6	340	555
3	4500	180	14	15	0,265	101	1414	14,3	490	1904
4	-	120	0,5	15	0,175	47	23	2,3	35	58
5	4500	180	3	15	0,265	101	303	0,8	28	331
6	-	90	0,5	15	0,13	28	14	7,4	61	75
7	4500	180	6,5	15	0,265	101	657	6,4	220	877
8	12500	500	9	25	0,245	43	387	10,3	302	689
9	33000	1320	2	32	0,37	64	128	1	67	195
10	-	907,5	0,5	25	0,445	133	67	1,2	116	183
			∑l=56				∑R·l=4168		∑Z=1793	∑R·l+Z=5961

Примечания:

1. Расход воды на участке 4 (замыкающий участок)  $\alpha=0,33$ ,  $G_4=(1-\alpha) \cdot G_{пр}=(1-0,33) \cdot 180=120$  кг/ч; расход воды на участке 6 при  $\alpha=0,5$ ,  $G_6=(1-0,5) \cdot 180=90$  кг/ч

2. Расход воды на подмешивание воды из теплотрассы:

$$G_{10}=G_{мс}-G_1=1320-\frac{0,86 \cdot 33000 \cdot 1,06 \cdot 1,1}{150-70}=907,5 \text{ кг/ч}$$

3. Запас давления в основном кольце  $\frac{6580-5961}{6580} \cdot 100=9,4\%$

При расчете приняты следующие коэффициенты местных сопротивлений на участках (по [3, табл. II.12-II.16]), причем для смежных участков местное сопротивление тройника отнесено к участку с меньшей тепловой нагрузкой:

Уча-сток 1	Задвижка D=40 мм 3 отвода D=32 мм	$\alpha=0,5$ $3 \cdot 0,5=1,5$ $\Sigma \zeta_1=2$	Уча-сток 6	Тройник на ответвлении при $G_{отв}=1-0,5=0,5$ и делении потока то же, при слиянии потоков	1 5,4 $\frac{2}{\Sigma \zeta_6=7,4}$
Уча-сток 2	Тройник на растекании при $G_{отв} = G_{отв} / G_{ств}$ $=500/1320=0,38$ кран пробочный про- ходной D=25 мм	10,1 $\frac{1,5}{\Sigma \zeta_2=11,6}$	Уча-сток 7	отводы D=15 мм, 2 шт тройник на проходе при $G_{прох}=0,36$	0,8·2=1,6 $\frac{4,8}{\Sigma \zeta_7=6,4}$



Уча- сток 3	Тройник на проходе при $G_{\text{прох}} = 180/500 = 0,36$ воздухосборник отводы $D=15$ мм, 4 шт тройник на проходе при $G_{\text{прох}} = 1$ радиатор РСВ при $D=15$ мм кран трехходовой $D=15$ мм при проходе	4,8 1,5 $0,8 \cdot 4 = 3,2$	Уча- сток 8	отводы $D=25$ мм, 2 шт кран пробочный проходной $D=25$ мм тройник на противотоке при $G_{\text{отв}} = 500/1320 = 0,38$	$0,5 \cdot 2 = 1$ 1,5 $\Sigma \zeta_8 = 10,3$
		0,7 0,6 3,5 $\Sigma \zeta_3 = 14,3$			Уча- сток 9
Уча- сток 4	два тройника на про- ходе при $G_{\text{прох}} = 1 - \alpha =$ $1 - 0,33 = 0,67$	1,14 · 2 = 2, 3 $\Sigma \zeta_4 = 2,3$	Уча- сток 10	Тройник на ответвлении при $G_{\text{отв}} = 907,5/1320 = 0,7$ и делении потока	$\Sigma \zeta_{10} = 1,2$
Уча- сток 5	Отвод $D=15$ мм	$\Sigma \zeta_5 = 0,8$			

Далее определим располагаемое циркуляционное давление второстепенного циркуляционного кольца системы отопления, изображенной на рис. 7.

Гидравлический расчет второстепенного кольца через стояк 2 сводится в данном случае к расчету самого стояка 2. Располагаемое циркуляционное давление для расчета стояка 2 определяем по формуле [3, ф. 10.37], (ф. 64) (каждый стояк рассматривается как отдельный участок):

$$\Delta P_{\text{р.ст.2}} = \sum (R \cdot l + Z)_{3-7} + (\Delta P_{\text{е.ст.2}} - \Delta P_{\text{е.ст.1}}) = 3245 + (1027 - 980) = 3292, \text{ Па}$$

$$\text{где } \Delta P_{\text{е.ст.2}} = \frac{0,86 \cdot 9,81}{8000} \cdot (2500 \cdot 3 + 1900 \cdot 6 + 3600 \cdot 9,25) \cdot (95 - 70) = 1027 \text{ Па}$$

**ПРИМЕР 8.** Произвести гидравлический расчет трубопроводов одной ветви двухтрубной тупиковой системы водяного отопления с верхней разводкой и искусственной циркуляцией, присоединенной к тепловым сетям ( $T_r = 130^\circ\text{C}$ ,  $T_o = 70^\circ\text{C}$ ) через водоструйный элеватор  $P_э = 7000$  Па; прокладка стояков открытая, тепловая нагрузка каждого прибора указана на схеме (рис. 11), расчетный перепад температуры воды в системе  $t_r - t_o = 95 - 70 = 25^\circ\text{C}$ , расстояние от центра прибора 1 этажа до оси элеватора в тепловом пункте  $h = 1,8$  м, высота этажа – 2,8 м.

**РЕШЕНИЕ:**

1. Выбираем главное расчетное циркуляционное кольцо системы через нагревательный прибор ( $Q = 1280$  Вт) первого этажа первого стояка.

2. Разбиваем главное расчетное кольцо на участки, нумеруем участки и указываем на каждом тепловую нагрузку и длину. Длина кольца  $l = 92,2$  м.

3. Определяем расходы воды на участках по ф. (37); расход подмешиваемой воды в элеваторе (участок 8) находят по разности расходов воды, циркулирующей в системе отопления и поступающей из тепловой сети:

$$G_{\text{эл}} = 0,86 \cdot \left( \frac{129000}{95 - 70} - \frac{129000}{130 - 70} \right) = 2588 \text{ кг/ч}$$

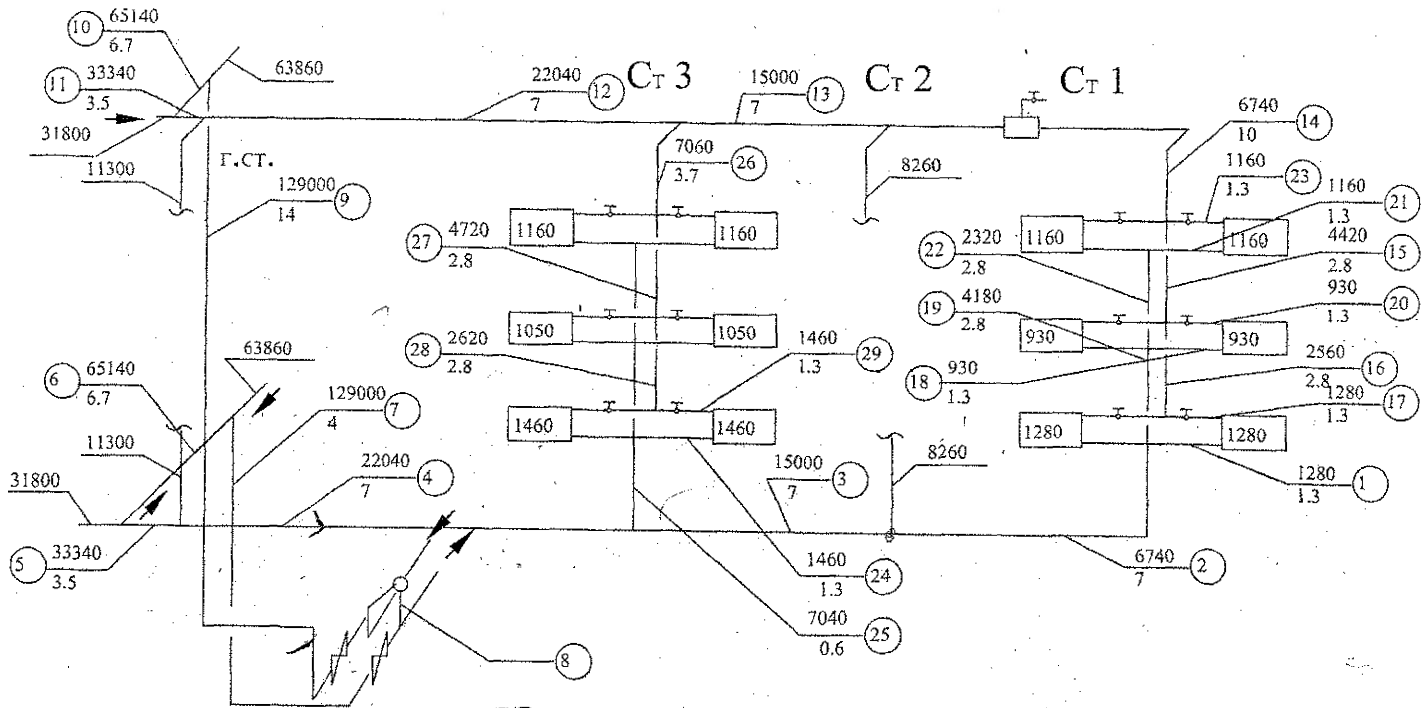


Рис. 11 Схема трубопроводов двухтрубной системы водяного отопления с верхней разводкой и искусственной циркуляцией

4. Определяем расчетное циркуляционное давление для главного расчетного циркуляционного кольца по ф. 51, 53 и 56:

$$\Delta P_p = 7000 + 0,4 \cdot (0,64 \cdot 9,81 \cdot 1,8 \cdot 25 + 150) = 7172 \text{ Па,}$$

где 0,4 – доля естественного давления, учитываемого при подсчете расчетного циркуляционного давления в системе; разность  $t_1 - t_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $h = 1,8 \text{ м}$ ;  $\beta = 0,64$ ; дополнительное давление от остывания воды в трубах для главного циркуляционного кольца  $\Delta P_{\text{ТР}} = 150 \text{ Па}$  – [5, прил. 4]

5. Определяем ориентировочную величину удельных потерь давления на трение на 1 м длины кольца по формуле (60):

$$R_{\text{уд}}^{\text{ср}} = \frac{0,65 \cdot 7172}{92,2} = 50,56 \text{ Па/м,}$$

где 0,65 – предполагаемая доля потерь давления на трение в системе отопления от общей величины  $R_p = 7172 \text{ Па}$ .

6. По расходам воды на участках и по величине  $R_{\text{уд}}^{\text{ср}}$  подбирают диаметры труб (графа 5, табл. 5) по [5, прил. 6], выписывая для этих диаметров фактическую величину  $R_{\text{уд}}^{\text{ф}}$ , графа 7, табл. 5), скорость движения воды  $W$ , м/с, (графа 6, табл. 5).

7. Определяем потери давления на трение  $R_{\text{уд}}^{\text{ф}} \cdot l$  на участках по ф. (61), (графа 8, табл. 5)

8. Определяем сумму коэффициентов местных сопротивлений (графа 9, табл. 5) по [5, прил. 5] на каждом из участков кольца.

Уча- сток 1	½ радиатора утка (на рис. не показана) крестовина на ответвлении	1,5  <u>3</u> $\Sigma \zeta_1 = 5,5$	Уча- сток 10,11	Тройник на ответвлении	$\Sigma \zeta_{10,11} = 1,5$
Уча- сток 2	отвод $L \ 90^\circ \ d=20 \text{ мм}$ Тройник на проходе	1,5 <u>1</u> $\Sigma \zeta_2 = 2,5$	Уча- сток 12,13	Тройник на проходе	$\Sigma \zeta_{12,13} = 1$
Уча- сток 3, 4	Тройник на проходе	$\Sigma \zeta_{3,4} = 1$	Уча- сток 14	Тройник на проходе отвод $L \ 90^\circ \ d=20 \text{ мм}$ воздухосборник	1 1 <u>1,5</u> $\Sigma \zeta_{14} = 3,5$
Уча- сток 5	Тройник на противотоке Задвижка	3 <u>0,5</u> $\Sigma \zeta_5 = 3,5$			
Уча- сток 6	Тройник на противотоке	$\Sigma \zeta_6 = 3$	Уча- сток 15,16	Скоба крестовина на проходе	2 <u>2</u> $\Sigma \zeta_{15,16} = 4$
Уча- сток 7	2 отвода $L \ 90^\circ$ Тройник на ответвлении Задвижка	2·0,5=1 1,5 <u>0,5</u> $\Sigma \zeta_7 = 3$			
Уча- сток 8		$\Sigma \zeta_8 = 0$	Уча- сток 17	Тройник на ответвлении Утка	1,5 1,5
Уча- сток 9	3 отвода $L \ 90^\circ$ Задвижка	3·0,5=1,5 <u>0,5</u> $\Sigma \zeta_9 = 2$		Кран двойной регули- ровки ½ радиатора	4 <u>1</u> $\Sigma \zeta_{17} = 8$

9. Определяем потери давления в местных сопротивлениях по [5, прил. 7], зная величины  $W$  и  $\sum \zeta$  на участках, и заносим в графу 10, табл. 5.

10. Определяем общие потери давления  $R_{уд}^{\Phi} \cdot l + Z$  на каждом участке (графа 11, табл. 5) и суммарные потери давления во всех участках  $1 \div 17$  главного циркуляционного кольца.

11. Сравниваем  $\sum (R_{уд}^{\Phi} \cdot l + Z)_{1-17} = 6499,6$  Па с  $P_p = 7172$  Па. Запас давления на неучтенные гидравлические сопротивления составляет 9,4%.

Далее проведем расчет трубопроводов других циркуляционных колец.

Стояк 1, прибор второго этажа ( $Q=930$  Вт). Прибор находится выше прибора первого этажа на 2,8 м, следовательно, располагаемое естественное давление для циркуляционного кольца через прибор второго этажа больше на  $\Delta P_e = 0,4 \cdot 0,64 \cdot 9,81 \cdot 2,8 \cdot 25 = 175$  Па. Участки рассчитываемого кольца – 18, 19, 2  $\div$  15, 20; из них 2  $\div$  15 являются общими с участками главного циркуляционного кольца (см. табл. 5).

Для определения диаметров на участках 18, 19, 20 находим располагаемое давление  $P_{p18,19,20} = \sum (R_{уд}^{\Phi} \cdot l + Z)_{1,16,17} + \Delta P_e = 18,6 + 106,7 + 23,5 + 175 = 323,8$  Па.

Стояк 1, прибор третьего этажа ( $Q=1160$  Вт). Превышение прибора третьего этажа над прибором второго этажа составляет 2,8 м, поэтому величина расчетного естественного давления увеличивается по сравнению с давлением для второго кольца также на  $\Delta P_e = 0,4 \cdot 0,64 \cdot 9,81 \cdot 2,8 \cdot 25 = 175$  Па.

В этом циркуляционном кольце не рассчитаны участки 21, 22, 23.

$P_{p21,22,23} = \sum (R_{уд}^{\Phi} \cdot l + Z)_{18,15,20} + \Delta P_e = 9,9 + 66,4 + 10,4 + 175 = 261,7$  Па.

Циркуляционное кольцо через прибор первого этажа ( $Q=1460$  Вт) стояка 3. Участки кольца 24, 25, 4  $\div$  12, 26, 27, 28, 29.

$P_{p24 \div 29} = \sum (R_{уд}^{\Phi} \cdot l + Z)_{1 \div 3, 13 \div 17} = 1564,1$  Па.

В той же последовательности рассчитывают другие циркуляционные кольца.

### Гидравлический расчет трубопроводов

Таблица 5

№ участка	тепловая нагрузка $Q$ , Вт	расход воды на участке $G$ , кг/ч	длина участка $l$ , м	Диаметр $d$ , мм	скорость движения воды $W$ , м/с	удельная потеря давления $R_{уд}^{\Phi}$ , Па/м	потери давления на трение $R_{уд}^{\Phi} \cdot l$ , Па	сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \zeta$	потери давления в местных сопротивлениях $Z$ , Па	суммарные потери давления $R_{уд}^{\Phi} \cdot l + Z$ , Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Расчет главного циркуляционного кольца через нагревательный прибор 1 этажа ( $Q=1280$ Вт) стояка 1 $P_p=7172$ Па										
1	1280	44	1,3	15	0,063	6	7,8	5,5	10,8	18,6
2	6740	232	7	20	0,18	31	217	2,5	39,9	256,9
3	15000	516	7	25	0,25	47,5	332	1	31	363
4	22040	758	7	32	0,215	23	161	1	23	184
5	33340	1146	3,5	32	0,318	50	175	3,5	177,3	352,3

Продолжение таблицы 5

6	65140	2238	6,7	40	0,47	85	570	3	332	902
7	129000	4440	4	50	0,56	85	340	3	465	805
8	-	2588	6	50	0,334	32	19,2	-	-	19,2
9	129000	4440	14	50	0,56	85	1190	2	314	1504
10	65140	2238	6,7	40	0,47	85	570	1,5	165	735
11	33340	1146	3,5	32	0,318	50	175	1,5	75	250
12	22040	758	7	32	0,215	23	161	1	23	184
13	15000	516	7	25	0,25	47,5	332	1	31	363
14	6740	232	10	20	0,18	31	310	3,5	56	366
15	4420	152	2,8	20	0,117	14	392	4	27,2	66,4
16	2560	88	2,8	15	0,13	23	72,8	4	33,9	106,7
17	1280	44	1,3	15	0,063	6	7,8	8	15,7	23,5
Σ			92,2							6499,6

$$\text{Невязка} = \frac{7172 - 6499,6}{7172} \cdot 100 = 9,4\%$$

Расчет полукольца через нагревательный прибор 2 этажа (Q = 930 Вт)  
стояка I P<sub>18,19,20</sub> = 323,8 Па

18	930	32	1,3	15	0,045	3,4	4,4	5,5	5,5	9,9
19	4180	144	2,8	15	0,21	63	177	5	110	287
20	930	32	1,3	15	0,045	3,4	4,4	6	6	10,4
			5,4							307,3

$$\text{Невязка} = \frac{323,8 - 307,3}{323,8} \cdot 100 = 5,1\%$$

Расчет полукольца через нагревательный прибор 3 этажа (Q = 1160 Вт)  
стояка I P<sub>21,22,23</sub> = 261,7 Па

21	1160	40	1,3	15	0,057	5	6,5	5,5	9	15,5
22	2320	70	2,8	15	0,114	22	61,5	5	33,5	95
23	1160	40	1,3	15	0,057	5	6,5	6	9,8	16,3
			5,4							126,8

$$\text{Невязка} = \frac{261,7 - 126,8}{261,7} \cdot 100 = 52\%$$

Остальное давление (134,9 Па) погашаем краем двойной регулировки на участке 23.

Расчет полукольца через нагревательный прибор I этажа (Q = 1460 Вт)  
стояка III P<sub>24,25</sub> = 1564,1 Па

24	1460	50	1,3	15	0,072	7,5	9,8	5,5	14,3	24,1
25	7040	242	0,6	20	0,187	33,5	20	1,5	29	49
26	7040	242	3,7	15	0,358	180	665	3	324	989
27	4720	162	2,8	15	0,238	75	210	5	141	351
28	2620	90	2,8	15	0,135	28	78,4	5	36,5	114,9
29	1460	50	1,3	15	0,072	7,5	9,8	5	15,6	25,4
			12,5							1554,9

$$\text{Невязка} = \frac{1564,1 - 1554,9}{1564,1} \cdot 100 = 0,6\%$$

### 3.7. Конструирование и аэродинамический расчет естественной вытяжной канальной вентиляции.

#### 3.7.1. Общие положения об устройстве канальной системы вентиляции и принцип ее работы.

В современном жилищном строительстве принята следующая схема вентиляции квартир: отработанный воздух удаляется из зоны его наибольшего загрязнения, т.е. из кухни и санитарных помещений, посредством естественной канальной вытяжной системы вентиляции. Его замещение происходит за счет наружного воздуха, поступающего через неплотности наружных ограждений (главным образом оконного заполнения) всех помещений квартиры и нагреваемого системой отопления.

Количество удаляемого воздуха для жилых зданий принимается  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  жилой площади квартиры. Нормируемый воздухообмен для кухни с газовыми плитами в зависимости от количества комфорок плиты: с четырехкомфорочной плитой -  $90 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; с трехкомфорочной -  $75 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; двухкомфорочной -  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; воздухообмен индивидуальной ванной составляет  $25 \text{ м}^3/\text{ч}$ , санузла на 1 унитаз -  $25 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Сначала подсчитывают воздухообмен по величине жилой площади квартиры, который сравнивают с воздухообменом для кухонь и санузлов.

$$L_{\text{жк}} = 3 \cdot F_{\text{жк}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $F_{\text{жк}}$  – жилая площадь квартиры,  $\text{м}^2$

Суммарное количество воздуха,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , уходящего из кухни  $L_{\text{к}}$ , ванной  $L_{\text{в}}$ , санузла  $L_{\text{су}}$ , должно быть не менее необходимого воздухообмена жилых комнат квартиры

$$L_{\text{к}} + L_{\text{в}} + L_{\text{су}} \geq L_{\text{жк}}$$

Система естественной канальной вытяжной вентиляции состоит из вертикальных каналов с отверстиями, закрытыми жалюзийными решетками, сборных горизонтальных воздуховодов, вытяжной шахты. Для усиления вытяжки воздуха из помещений на шахте часто устанавливают специальную насадку – дефлектор.

Вентиляционные каналы устраивают во внутренних кирпичных стенах. Минимальный размер таких каналов  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$  кирпича ( $140 \times 140$ ) мм. Толщина стенок канала принимается не менее  $\frac{1}{2}$  кирпича (рис. 12).

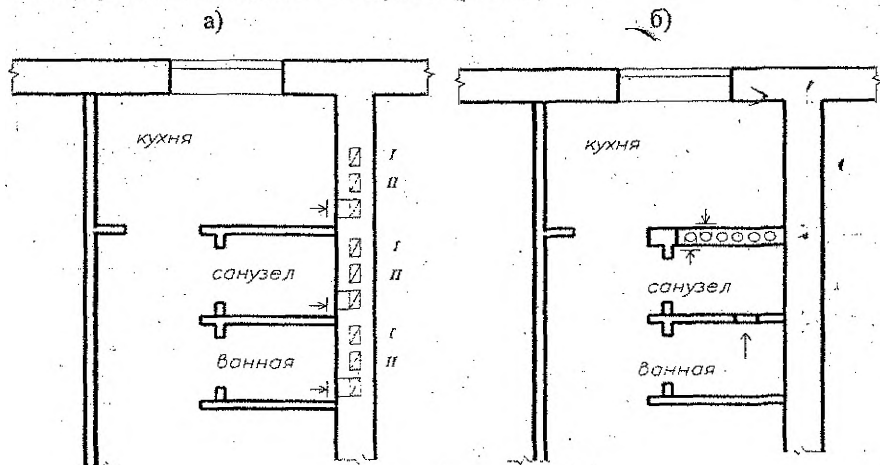


Рис. 12. Устройство вентиляционных каналов: а) во внутренних кирпичных стенах; б) с использованием вентиляционных панелей

Сборные воздуховоды выполняют из двойных гипсошлаковых или шлакобетонных плит толщиной 40-50 мм с воздушной прослойкой 40 мм либо из многопустотных гипсошлаковых или шлакобетонных плит толщиной 100 мм. Минимальные размеры сборных горизонтальных воздуховодов 200×200 мм.

Загрязненный воздух из помещений поступает через жалюзийную решетку в канал, поднимается вверх, достигая сборных воздуховодов, и оттуда воздух выходит через вытяжную шахту в атмосферу. Шахты с объединенными каналами выполняют из легкого бетона, бетонных плит или каркасные (рис. 13).

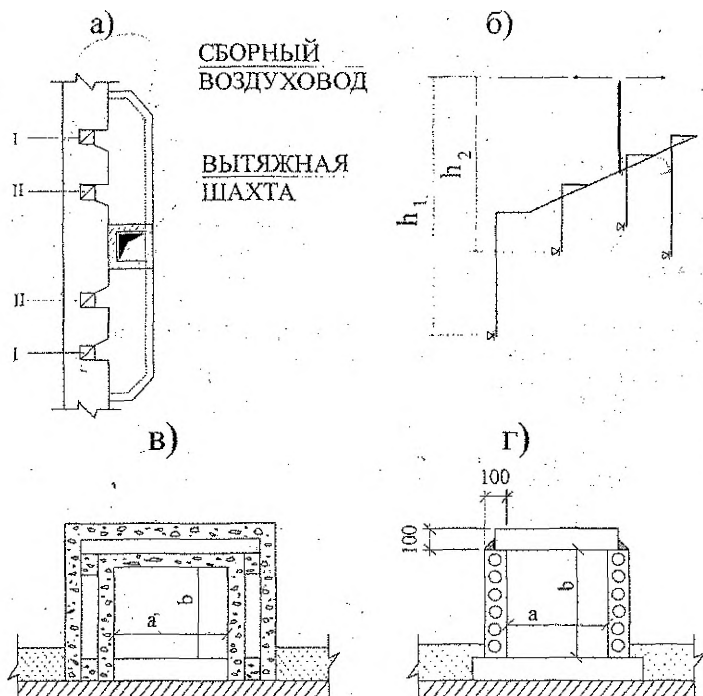


Рис. 13. Вентшахта с объединенными вентканалами: а) схема объединения вертикальных каналов на чердаке; б) аксонометрическая схема каналов вентсистемы; в) сборный воздуховод из двойных гипсошлаковых плит; г) сборный воздуховод из шлакобетонных плит

В современных крупнопанельных зданиях вентиляционные каналы изготавливают из специальных блоков или панелей из бетона железобетона, состоящих из нескольких вертикальных каналов. Вентблоки зданий высотой до 5 этажей изготавливают с индивидуальными каналами круглого, прямоугольного и овального сечения для каждого этажа.

Вытяжные шахты с обособленными каналами могут быть выполнены в виде бетонных блоков с утеплителем из фибролитовых плит (рис. 14), с утолщенными стенками из шлакобетона, керамзитобетона.

Движение воздуха в каналах, воздуховодах и шахте происходит под действием естественного давления, возникающего вследствие разности удельных весов холодного наружного и теплого внутреннего воздуха в помещении:

$$\Delta P_c = h \cdot (\gamma_5 - \gamma_{в}), \text{ Па} \quad (65);$$

где  $h$  - высота воздушного столба, принимаемая от центра вытяжного отверстия (0,3-0,5 м от потолка помещения) до устья вытяжной шахты, м;

$\gamma_5$  - удельный вес наружного воздуха для температуры воздуха  $+5^\circ\text{C}$  [2, п.4.22],  $\text{Н/м}^3$ ;

$\gamma_{в}$  - удельный вес внутреннего воздуха вентилируемого помещения,  $\text{Н/м}^3$ .

Величины  $\gamma_5$  и  $\gamma_{вп}$  определяются по формуле (17).

При проектировании естественной канальной вентиляции необходимо иметь в виду следующее:

- а) каждое вентилируемое помещение в жилых зданиях высотой до 5 этажей обслуживается самостоятельным вытяжным каналом;
- б) объединение вентиляционных каналов сборными горизонтальными воздуховодами в одну систему допускается только для одноименных помещений;
- в) радиус действия естественной системы вентиляции принимают не более 8 м;
- г) вытяжные шахты устраивают с обособленными или объединенными каналами, рис. 11, 12;
- д) допускается в пределах одной квартиры объединение вентиляционного канала из ванной и душевой (без унитаза) с вентканалом из кухни или канала санузла и ванной комнаты.

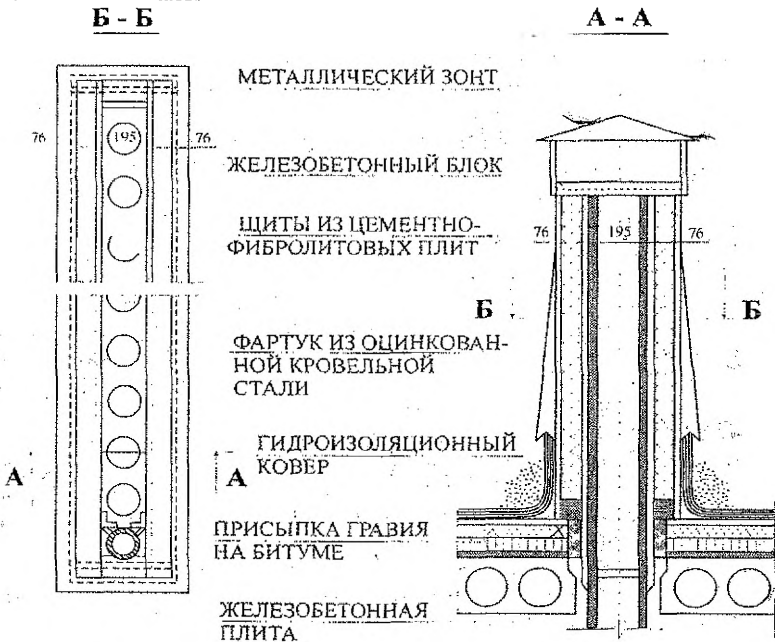


Рис. 14. Вытяжная шахта с обособленными каналами



### 3.7.2. Аэродинамический расчет естественной вытяжной канальной системы вентиляции.

При движении воздуха по каналам, воздуховодам и шахте имеют место потери давления на трение и в местных сопротивлениях. Правильно подобранные размеры каналов, сборных воздуховодов и шахты обеспечивают удаление необходимого объема воздуха из помещения и увязку потерь давления на трение и в местных сопротивлениях сети с располагаемым естественным давлением.

Для нормальной работы системы вентиляции необходимо, чтобы соблюдалось условие:

$$\sum (P_T + Z) \cdot \alpha = \Delta P_e, \quad (66)$$

где  $P_T$  - потери давления на трение в расчетной ветви, Па;

$Z$  - потери давления в местных сопротивлениях, Па;

$\alpha$  - коэффициент запаса, равный 1,1-1,15;

$\Delta P_e$  - располагаемое естественное давление, Па.

Проверка работы вытяжной канальной системы вентиляции (проверка равенства ф. 66) производится путем аэродинамического расчета системы вентиляции.

Расчет системы вентиляции выполняют по аксонометрической схеме, которая вычерчивается после проделанной работы:

- а) определены воздухообмены  $L$ ,  $m^3/ч$  для вентилируемых помещений;
- б) определены предварительно сечения каналов и их количество (табл. 4)

$$F = \frac{L}{W \cdot 3600}, m^2 \quad (67);$$

где  $W$  - скорость воздуха в канале, м/с.

$W = (0,5 - 0,6)$  м/с - для вертикальных каналов верхнего этажа;

Для каждого нижерасположенного этажа  $W$  на 0,1 м/с больше, чем у предыдущего, но не более чем 1 м/с; в сборных воздуховодах  $W$  - до 1,0 м/с и в вытяжных шахтах  $W = 1,0$  м/с до 1,5 м/с.

- в) komponуют вентиляционную систему.

Последовательность расчета.

1) Выбирают расчетную ветвь системы вентиляции через вентиляционный канал верхнего этажа как наиболее неблагоприятно расположенный по отношению к вытяжной шахте.

2) Определяют располагаемое гравитационное давление для расчетной ветви по формуле (65).

- 3) Уточняют скорость движения воздуха в канале по принятому сечению канала

$$W = \frac{L}{3600 \cdot F}, m/c \quad (68).$$

- 4) Находят эквивалентный по трению диаметр канала для прямоугольного сечения

$$d_{\text{экв}} = \frac{2 \cdot (ab)}{a + b}, \text{ мм} \quad (69);$$

где  $a, b$  - размеры сторон прямоугольного канала, мм.

5) Зная эквивалентный диаметр канала и скорость движения воздуха, определяют потери давления на трение  $R$ , Па на I погонный метр и динамическое давление  $h_d$ , Па, используя номограмму для расчета круглых стальных воздуховодов [5, рис. 14.9].

- 6) Определяют потери давления на трение на участке.

$$P_T = R \cdot l \cdot \beta, \text{ Па} \quad (70), \checkmark$$

где  $l$  - длина участка, м;

$\beta$  - коэффициент шероховатости, определяемый [5, табл.14.3].

7) Определяют потери на трение в местных сопротивлениях, зная  $h_d$  и сумму коэффициентов местных сопротивлений  $\sum \zeta$  по [5, прил. 9], (прил. 3 мет. указаний).

$$Z = \sum \zeta \cdot h_d, \quad (71)$$

8) Находят суммарные потери давления на участке  $P_T + Z$ , Па, и в рассчитываемой ветви

$$\sum_{i=1}^n (P_T + Z)_i \cdot \alpha, \text{ Па.}$$

9) Проверяют равенство (ф. 56)  $\sum_{i=1}^n (P_T + Z)_i \cdot \alpha = \Delta P_e$

Расчет других каналов следует производить с увязкой потерь давления в параллельных участках с учетом разности значений располагаемых давлений для ветканалов, обслуживающих помещения других этажей.

Расчет сводят в бланк, табл. 6 и 7.

Если в индивидуальном задании в курсовом проекте предусмотрена вентиляционная панель с известными сечениями и количеством вентиляционных каналов, то расчет системы вентиляции сводится к проверке достаточности площади сечения вытяжных каналов для вентилируемых помещений.

Так как стандартные вентиляционные панели или блоки обычно выводятся на крышу здания отдельными каналами, то расчет системы вентиляции ведут для одиночного вентиляционного канала.

**ПРИМЕР 9.** Произвести аэродинамический расчет естественной вытяжной канальной системы вентиляции кухни, изображенной на рис. 15. Воздухообмен кухни принят  $L=90 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

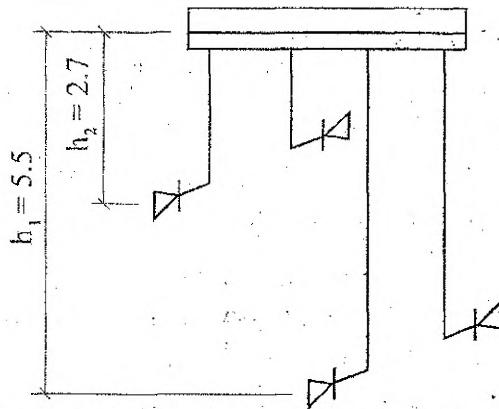


Рис. 15. Схема вытяжной системы вентиляции с обособленными каналами

Вентиляционные каналы расположены в кирпичной стене и выводятся на крышу отдельными каналами. Расстояние по вертикали между центром вытяжного отверстия и устьем вытяжной шахты составляет: для ветканала на первом этаже - 5,5 м; для ветканала на 2 этаже - 2,7 м. Температура воздуха в кухне  $t_B = 15^\circ \text{C}$ .

### РЕШЕНИЕ:

1. Определяем предварительные сечения вертикальных каналов и жалюзийных решеток по формуле (67) с уточнением скоростей движения воздуха по каналам, (см. табл. 6).

2. Определяем располагаемое давление для каналов каждого этажа по формуле (65).

Для II этажа  $\Delta P_{II} = 2,7 \cdot (12,46 - 12,02) = 1,19$  Па.

Для I этажа  $\Delta P_I = 5,5 \cdot (12,46 - 12,02) = 2,42$  Па.

Где  $\gamma_{15} = 12,46 \text{ н/м}^3$ ;  $\gamma_{-15} = 12,02 \text{ н/м}^3$  - ф. (17).

3. Выбираем расчетную ветвь системы через канал II этажа, как наиболее неблагоприятно расположенного ( $\Delta P_{II} < \Delta P_{I}$ ). Дальнейший расчет ведем согласно п.3.7.2. настоящим методическим указаниям. Расчет сведен в таблицу 7.

Предварительный расчет вентиляционных каналов и жалюзийных решеток

Таблица 6.

Наименование помещений	Воздухообмен $L, \text{ м}^3/\text{ч}$	Скорость $W, \text{ м/с}$	Площадь канала $F, \text{ м}^2$	Размеры канала (а×в) мм	Принятая площадь канала $F, \text{ м}^2$	Действительная скорость в канале $W, \text{ м/с}$	Размер жалюзийной решетки
II этаж							
Кухня	90	0,67	0,0375	140×270	0,038	0,66	200×300
I этаж							
Кухня	90	0,67	0,0375	140×270	0,038	0,66	200×300

### Расчет системы вентиляции кухни

Таблица 7

№ участка	Расход воздуха, $L, \text{ м}^3/\text{ч}$	Длина участка, $l, \text{ м}$	Скорость движения воздуха, $W, \text{ м/с}$	Линейные размеры воздуховода, (а×б), мм	Площадь поперечного сечения канала, $F, \text{ м}^2$	Эквивалентный диаметр по трению, $d, \text{ мм}$	Удельная потеря давления на трение, $R, \text{ Па/м}$	Коэффициент шероховатости, $\beta$	Потери на участке на трение, $R_l, \text{ Па}$	Динамическое давление, $h_d, \text{ Па}$	Сумма коэффициентов местного сопротивления, $\sum \xi$	Потери давления в местных сопротивлениях, $Z, \text{ Па}$	Суммарные потери давления на участке, $R_l + Z, \text{ Па}$	Примечание
1	90	2,7	0,66	140×270	0,038	180	0,048	1,36	0,176	0,25	3,78	0,945	1,121	Вход в ж.р. с поворотом $\xi=2$ . Колено $\xi=1,28$ шахта с зонтом $\xi=1,3$

$$\text{Невязка} = \frac{1,19 - 1,121}{1,19} \times 100 = 5,8\%$$

Потери давления в вентиляционном канале, обслуживающем кухню I этажа, определяют аналогично произведенному выше аэродинамическому расчету.

### 3.8 ПРИЛОЖЕНИЯ

#### Приложение I

(номера таблиц соответствуют номерам таблиц СНБ 2.04.01-97)

Таблица 4.2

Относительная влажность внутреннего воздуха, %, при температуре $t_B$			Режим помещений	Условия эксплуатации ограждений
до 12°C	св. 12 до 24°C	св. 24 °C		
до 60 включ.	до 50 включ.	до 40 включ.	Сухой	А
св. 60 до 75 включ.	св. 50 до 60 включ.	св. 40 до 50 включ.	Нормальный	Б
" 75	" 60 " 75 "	" 50 " 60 "	Влажный	Б
	" 75	" 60	Мокрый	Б

Примечание — Внутренние ограждающие конструкции, перекрытия чердачные, перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями помещений с нормальным влажностным режимом следует рассчитывать для условий эксплуатации ограждений «А».

Таблица 4.3

Расчетный период	Средние температуры наружного воздуха ( $t_n$ , °C, по областям)					
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Наиболее холодные сутки обеспеченностью 0,98	-31	-37	-32	-31	-33	-34
Наиболее холодные сутки обеспеченностью 0,92	-25	-31	-28	-26	-28	-29
Наиболее холодная пятидневка обеспеченностью 0,92	-21	-25	-24	-22	-24	-25

Таблица 4.4

Область	Средняя температура наружного воздуха, $t_n$ , °C	Средняя относительная влажность наружного воздуха, $\Phi_n$ , %	Среднее парциальное давление водяного пара, $P_n$ , Па	Продолжительность отопительного периода, $Z_{от}$ , сут
Брестская	0,2	84	521	187
	0,8	83	538	205
Витебская	-2,0	82	424	207
	-1,4	82	447	222
Гомельская	-1,6	83	444	194
	-0,8	82	470	212
Гродненская	-0,5	85	499	194
	0,4	85	535	213
Минская	-1,6	85	455	202
	-0,9	84	477	220
Могилевская	-1,9	84	439	204
	-1,2	84	465	221

Примечание — В числителе приведены данные для среднесуточной температуры наружного воздуха начала отопительного периода 8 °C, в знаменателе — для 10 °C.

Таблица 4.5

Месяц зимнего периода	Наибольшая средняя скорость ветра $V_{ср}$ , м/с, по румбам с повторяемостью 16% и более по областям					
	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Декабрь	3,4	5,1	4,1	5,4	4,1	4,8
Январь	3,7	5,4	4,1	5,2	4,0	4,9
Февраль	3,6	5,5	4,6	6,1	4,0	5,1

Таблица 5.1

Ограждающие конструкции	Нормативное сопротивление теплопередаче $R_{норм}$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт
<b>А Строительство</b>	
1 Наружные стены крупнопанельных, каркасно-панельных и объемно-блочных зданий	2,5
2 Наружные стены монолитных зданий	2,2
3 Наружные стены из штучных материалов (кирпич, шлакоблоки и т.п.)	2,0
4 Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия (кроме теплых чердаков) и перекрытия над проездами	3,0
5 Покрытия теплых чердаков	По расчету, обеспечивая перепад между температурами потолка и воздуха помещения последнего этажа не более 2 °C
6 Перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями	По расчету, обеспечивая перепад между температурами пола и воздуха помещения первого этажа не более 2 °C
7 Заполнения световых проемов	0,6
<b>Б Реконструкция, ремонт</b>	
1 Наружные стены	2,0
2 Остальные ограждающие конструкции	Такие же требования как и для строительства

Таблица 5.2

Тепловая инерция ограждающей конструкции $D$	Расчетная зимняя температура наружного воздуха $t_{н}$ , °C
До 1,5 включ.	Средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98
Св. 1,5 до 4,0 включ.	То же, обеспеченностью 0,92
" 4,0 " 7,0 "	Средняя температура наиболее холодных трех суток
" 7,0 "	Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92

Таблица 5.3

Ограждающие конструкции	Коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, $\mu$
1 Наружные стены и покрытия (в том числе вентилируемые наружным воздухом); перекрытия чердачные с кровлей из штучных материалов и перекрытия над проездами	1
2 Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытия чердачные с кровлей из рулонных материалов	0,9
3 Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75
4 Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенные выше уровня земли	0,6
5 Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями расположенные ниже уровня земли	0,4

Таблица 5.4

Ограждающие конструкции	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности $\alpha_{в}$ Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1 Стены, полы, гладкие потолки, потолки с выступающими ребрами при отношении высоты $h$ ребер к расстоянию $a$ между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
2 Потолки с выступающими ребрами при отношении $h/a \leq 0,3$	7,6

Таблица 5.5

Здания и помещения	Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности, $\Delta t^H$ , °С		
	Наружные стены	Покрытия и чердачные перекрытия	Перекрытия над проездами, подвалами и подпольями
1 Здания жилые, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей), родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов; спальные корпуса общеобразовательных детских школ, здания детских садов, яслей, яслей-садов (комбинатов), детских домов и детских приемников-распределителей	6	4	2
2 Здания диспансеров и амбулаторно-поликлинических учреждений; учебные здания общеобразовательных детских школ	6	4,5	2,5

Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек

Таблица Б.1

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки $R_T$ , $m^2 \cdot C / Вт$			
	горизонтальной при потоке тепла снизу вверх и вертикальной		горизонтальной при потоке тепла сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке			
	положительной	отрицательной	положительной	отрицательной
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,10	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,20-0,30	0,15	0,19	0,19	0,24

Сопротивление воздухопроницанию заполнений световых проемов

Таблица Д.1

Заполнение светового проема	Число уплотненных притворов заполнения	Сопротивление воздухопроницанию $R_b$ , $m^2 \cdot ч / кг$ (при $\Delta p = 10 Па$ ), заполнений световых проемов с деревянными переплетами с уплотнением прокладками из		
		целлофанопласта	зубчатой резины	полушерстяного шнура
1. Одинарное остекление или двойное остекление в спаренных переплетах	1	0,26	0,16	0,12
2. Двойное остекление в рядельных переплетах	1	0,29	0,18	0,13
	2	0,38	0,26	0,18
3. Тройное остекление в рядельно-спаренных переплетах	1	0,30	0,18	0,14
	2	0,44	0,26	0,20
	3	0,56	0,37	0,27

Приложение 2

КОЭФФИЦИЕНТЫ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ  $\zeta$  ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ (ПРИБЛИЖЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ)

Элементы систем отопления	$\zeta$ при условном проходе труб $d$ , мм					
	15	20	25	32	40	50
Радиаторы двухколонтные	2	2	2	2	2	2
Котлы чугунные	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	2	2	2	2	2	2
Котлы стальные	2	2	2	2	2	2
Внезапное расширение	1	1	1	1	1	1
Внезапное сужение	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Продолжение приложения 2

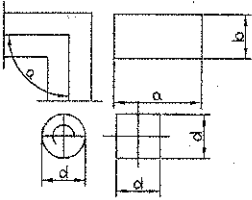
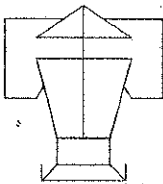

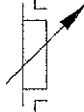


Отступы	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Компенсаторы:						
П-образные	2	2	2	2	2	2
сальниковые	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Отводы:						
90° и углы	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5
двойные узкие	2	2	2	2	2	2
двойные широкие	1	1	1	1	1	1
Скобы	3	2	2	2	2	2
Тройники:						
на проходе	1	1	1	1	1	1
на ответвлении	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
на противоходе	3	3	3	3	3	3
Крестовины:						
на проходе	2	2	2	2	2	2
на ответвлении	3	3	3	3	3	3
Вентили:						
обыкновенные	16	10	9	9	8	7
прямоточные	3	3	3	2,5	2,5	2
Задвижки	—	—	0,5	0,5	0,5	0,5
Краны:						
проходные	4	2	2	2	—	—
двойной регулировки	4	2	2	—	—	—
Трехходовой кран:						
при повороте потока	3	3	4,5	—	—	—
при прямом проходе	2	1,5	2	—	—	—

Приложение 3  
КОЭФФИЦИЕНТЫ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ФАСОННЫХ ЧАСТЕЙ ВОЗДУХОВОДОВ

Отводы круглые, квадратные и прямоугольные		$\alpha$	30	45	60	90	130
		R/d=1					
		$\xi$	0,09	0,13	0,16	0,21	0,25
		R/d=2					
		$\xi$	0,07	0,09	0,12	0,15	
		Для прямоугольных отводов необходимо умножить на коэффициент c					
	b/a	0,25	0,5	1	1,5	2	
	c	1,3	1,17	1	0,9	0,85	
Вытяжная шахта с зонтом		$\xi=1,3$					



Продолжение приложения 3

Колено круглое, квадратное и прямоуголь- ное			$\alpha$	30	45	60	90
			$\xi$	0,16	0,32	0,56	1,2
			Для прямоугольных колен умножить на $c$				
			$b/a$	0,25	0,5	1	1,5
			$c$	1,1	1,07	1	0,95
Дефлектор круглый ЦАГИ			$\xi=0,64$				
Вход с пово- ротом потока воздуха (в от- верстие с ост- рыми краями)	Щель в кон- це воздухо- вода 	Жалюзийная решетка 	$\xi=2$				
Вход с по- воротом по- тока воздуха			$\xi=2,5$				

### ЛИТЕРАТУРА

- СНБ 2.04.01-97. Строительная теплотехника. – Минск, 1998.
- СниП 2.04.05.-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М., 1992.
- Староверов И.Г., Шилер Ю.И. Справочник проектировщика. Часть 1. Отопление. – М.: Стройиздат, 1990.
- Андреевский А.К. Курсовой проект центрального отопления гражданских зданий. Минск: Вышэйшая школа, 1973.
- Тихомиров К.В., Сергеенко Э.С. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. – М.: Стройиздат, 1991.
- Щекин Р.Н. и др. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Ч.1 и 2. – Киев: Будивельник, 1976.
- Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление. – М.: Стройиздат, 1991.
- Горбачёва М.Г., Северянин В.С. Методические указания для курсового проектирования по дисциплине «Инженерные сети и оборудование» на тему «Отопление и вентиляция жилого здания» для студентов специальности Т 19 06 60. – Брест, 2000

## УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составители: Горбачева Мария Григорьевна  
Северянин Виталий Степанович  
Новосельцев Владимир Геннадьевич  
Черников Игорь Анатольевич

**Методические указания**  
для курсового проектирования  
по дисциплине **"Инженерные сети и оборудование"**  
на тему **"Отопление и вентиляция жилого здания"**  
для студентов специальностей 70 04 03, 70 02 01.

Ответственный за выпуск: Горбачева М.Г.

Редактор: Строкач Т.В.

Корректор: Никитчик Е.В.

Компьютерный набор: Новосельцев В.Т.

Компьютерная вёрстка: Боровикова Е.А.

---

Подписано к печати 14.02.2004 г. Формат 60 x 84 1/16. Бумага писчая. Усл. п. л. 4,0. Уч. изд. л. 4,25. Тираж 200 экз. Заказ № 191. Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017. Брест, ул. Московская, 267.