

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ**

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

для курсового проектирования по дисциплине  
**“Отопление“** на тему  
**“Отопление и вентиляция**  
**многоквартирного жилого дома”**  
для студентов специальности 70 04 02

Брест 2013

УДК 697.911 (075.8)

Настоящие методические указания для выполнения курсового проекта по отоплению многоквартирного жилого дома составлены в соответствии с программой курса "Отопление" для студентов специальности 70 04 02 "Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна".

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

Составил: В.Г. Новосельцев, к.т.н., доцент

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	3
2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ ЗДАНИЯ....	4
3. РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ТЕПЛОТЫ ПОМЕЩЕНИЯМИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ.....	5
4. КОНСТРУИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ.....	15
5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ.....	22
6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ПУНКТА .....	33
7. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ.....	36
8. КОНСТРУИРОВАНИЕ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЫТЯЖНОЙ КАНАЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	44
Литература .....	48
Приложения .....	49

### 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В курсовом проекте требуется разработать вертикальную систему водяного отопления жилого дома.

Исходными данными в задании на курсовой проект являются: район строительства, план типового этажа здания, ориентация его главного фасада по сторонам света, этажность здания, конструкция наружной стены, сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия и пола 1 этажа, наличие в здании чердака и подвала, тип системы отопления, схема узла присоединения системы отопления к тепловым сетям, температура воды в системе отопления дома ( $t_r$  и  $t_o$ , °C), в тепловых сетях ( $T_r$  и  $T_o$ , °C), давление, передаваемое из тепловой сети в систему отопления для обеспечения циркуляции воды в ней ( $P$ , кПа).

В состав курсового проекта входит пояснительная записка (30-35 страниц) и графическая часть (2 листа чертежей формата А1). Пояснительная записка включает следующие разделы: титульный лист, задание с исходными данными, реферат, введение, содержание:

1. Общая часть.
2. Теплотехнический расчет наружной стены здания.
3. Расчет потерь теплоты помещениями. Определение расчетной тепловой мощности системы отопления.
4. Конструирование системы водяного отопления.
5. Гидравлический расчет системы водяного отопления.
6. Тепловой расчет системы водяного отопления (выбор типа, размера или количества секций отопительных приборов).
7. Проектирование теплового пункта, расчет и подбор основного оборудования схемы узла присоединения системы отопления здания к наружным тепловым сетям (теплообменник, циркуляционный или смесительный насос, расширительный бак, теплосчетчик и др.).
8. Проектирование и расчет системы вентиляции.

Заключение. Список использованной литературы.

Графическая часть содержит:

1. Планы типового этажа здания, подвала, чердака, поперечный разрез здания по лестничной клетке с нанесением элементов системы отопления и вентиляции (М 1:100).

2. Аксонометрическую схему теплопроводов системы отопления с указанием номеров расчетных участков, их длины и диаметров, уклонов, с установкой запорной, регулировочной и балансировочной арматуры, устройств для выпуска воздуха, опорожнения системы (М произвольный).

3. Схему теплового пункта (М произвольный).

4. Узлы системы отопления (М произвольный).

5. Схема системы вентиляции (М произвольный).

## 2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ ЗДАНИЯ

Цель теплотехнического расчета – определение оптимальной в теплотехническом отношении толщины утеплителя  $b_{ут}$  (м) в наружной ограждающей конструкции и общего сопротивления теплопередаче  $R_T$  ( $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ) для этой же конструкции с учетом толщины утеплителя.

Сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций  $R_T$  ( $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ) за исключением наружных дверей, ворот и ограждающих конструкций помещений с избытками явной теплоты, следует принимать не менее нормативного сопротивления теплопередаче  $R_{T, норм}$ , приведенного в [1, табл. 5.1] (в соответствии с изменением №1 к [1]) (приложение 1 методических указаний).

Сопротивление теплопередаче  $R_T$ , ( $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ) ограждающей конструкции определяют в соответствии с [1, п. 5.9] по формуле:

$$R_T = \frac{1}{\alpha_v} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (1)$$

где  $\alpha_v, \alpha_n$  – коэффициенты теплоотдачи соответственно внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции,  $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$ , [1, табл. 5.4 и 5.7];

$R_k$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции ( $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$ ), определяемое для однослойной однородной конструкции по формуле:

$$R_k = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (2)$$

где  $\delta$  и  $\lambda$  – толщина, м и коэффициент теплопроводности,  $Вт/(m \cdot ^\circ C)$  слоя, соответственно. Коэффициенты теплопроводности материалов конструкции наружной стены  $\lambda$ ,  $Вт/(m \cdot ^\circ C)$ , выбираются по [1, прил. А].

Для многослойной конструкции ограждения с последовательно расположенными однородными слоями, включая слой теплоизоляционного материала

и замкнутые (не вентилируемые) воздушные, если они имеются, прослойки, термическое сопротивление определяют по выражению:

$$R_K = \sum_{i=1}^n R_i + R_{yT} + \sum_{k=1}^m R_{впK}, \quad (3)$$

где  $\sum_{i=1}^n R_i$  – сумма термических сопротивлений однородных слоев, определяемых по формуле (2)  $\sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{\delta}{\lambda}$ ;

$\sum_{k=1}^m R_{впK}$  – сумма термических сопротивлений имеющихся замкнутых воздушных прослоек в ограждении, ( $m^2 \cdot ^\circ C / Bt$ );

$R_{yT} = \delta_{yT} / \lambda_{yT}$  – термическое сопротивление теплоизоляционного слоя. Искомая толщина утеплителя,  $m$

$$\delta_{yT} = \left( R_{н.норм} - \left( \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{i=1}^n R_i + \sum_{k=1}^m R_{впK} + \frac{1}{\alpha_{н}} \right) \right) \cdot \lambda_{yT} \quad (4)$$

Найденную толщину слоя ограждения округляют до ближайшей большей толщины, кратной размеру стандартного элемента (в курсовом проекте можно принять шаг толщины стандартных элементов 0,05м, то есть толщина утеплителя может быть 0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3 и т.д.), и уточняют термическое сопротивление наружной стены по формуле (1).

Сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов (окон, балконных дверей) определяют по [1, табл. 5.1.] (в соответствии с изменением №1 к [1]) (приложение 1 методических указаний). Сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия и пола 1 этажа указано в задании на проектирование.

### 3. РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ТЕПЛОТЫ ПОМЕЩЕНИЯМИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Для определения тепловой мощности системы отопления определяют общие потери теплоты для расчетных зимних условий:

$$Q_o = \sum Q + Q_{инф} - Q_{быт} \cdot (1 - \eta_1) \text{ Вт}, \quad (5)$$

где  $Q$  – основные и добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции помещения, Вт;

$Q_{инф}$  – расход теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха через ограждающие конструкции помещения, Вт;

$Q_{быт}$  – бытовые тепловыделения, регулярно поступающие в помещения здания от электрических приборов, освещения, людей и других источников, Вт (в комнатах и кухнях жилых домов в соответствии с изменением №4 к [2] – 9 Вт на  $1 \text{ м}^2$  площади пола при обеспеченности жильем  $20 \text{ м}^2$  общей площади квартир и 3 Вт на  $1 \text{ м}^2$  площади пола при обеспеченности жильем  $45 \text{ м}^2$  общей площади квартир);

$\eta_1$  – коэффициент, принимаемый по таблице М.3 в соответствии с изменением №4 к [2] в зависимости от типа системы отопления и способа регулирования (приложение 2 методических указаний).

Расчет теплопотерь производят через все ограждающие конструкции для каждого помещения в отдельности. Потери теплоты через внутренние ограждающие конструкции помещений не учитывают, если разность температур воздуха в этих помещениях равна 3°C и менее (п. 6.1 [2]). Перед началом расчета тепловых потерь 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 в тепловом расчете.

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

$$Q = \frac{F}{R} \cdot (t_a - t_n) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n \text{ Вт}, \quad (6)$$

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

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

$t_a$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая для жилых зданий по [3, приложение В, табл. В.1], (приложение 3 методических указаний);

$t_n$  – расчетная температура наружного воздуха, °С, для холодного периода года (в соответствии с п.5.14 [2] по параметрам воздуха Б) при расчете потерь теплоты через наружные ограждающие конструкции, принимаемая по [2, приложение Е, табл. Е.1] (приложение 4 методических указаний) или температура воздуха более холодного помещения – при расчете потерь теплоты через внутренние ограждающие конструкции;

$n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, принимаемый по [1, табл. 5.3];

$\beta$  – 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  $\beta = 0,1$ ; на юго-восток и запад – в размере  $\beta = 0,05$ ; на юг и юго-запад  $\beta = 0$ .

б) в угловых помещениях – дополнительно по 0,05 на каждую стену, дверь и окно;

в) для наружных дверей, не оборудованных воздушными или воздушно-тепловыми завесами, при высоте здания от уровня земли до устья вентиляционной шахты  $H$ , м, в размере:  $\beta = 0,2 \cdot H$  – для тройных дверей с двумя тамбурами между ними;  $\beta = 0,27 \cdot H$ ,  $\beta = 0,34 \cdot H$  – для двойных дверей с тамбуром между ними или без тамбура, соответственно;  $\beta = 0,22 \cdot H$  – для одианных дверей.

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося (неорганизованный приток через неплотности и щели в окнах, дверях и т.д.) воздуха определяется в соответствии с [2, приложение К, п. К.1] по формуле:

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot \sum G_i \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot k \text{ Вт}, \quad (7)$$

где  $G_i$  – расход инфильтрующегося воздуха через неплотности ограждающих конструкций помещения, кг/ч;

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

$t_{\text{в}}$ ,  $t_{\text{н}}$  – расчетные температуры воздуха, °С, соответственно в помещении и наружного воздуха в холодный период года;

$k$  – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в ограждающих конструкциях, равный: 0,7 – для окон с тройными переплетами; 0,8 – для окон и балконных дверей с раздельными переплетами; 1,0 – для одианных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами; для окон со стеклопакетами можно принять  $k=1,0$ .

Расход воздуха, инфильтрующегося в помещения  $G_i$ , кг/ч, через неплотности наружных ограждающих конструкций следует определять в соответствии с [2, приложение К, п. К.3]. В связи с тем, что в современных зданиях инфильтрационные потоки через стены и стыки стеновых панелей весьма незначительны [4, п. 1.3.2] достаточно рассчитать только  $G_i$  через неплотности световых проемов (окон, балконных дверей) по формуле:

$$\sum G_i = 0,216 \cdot \sum F_i \cdot G_{\Delta} P^{0,67}, \text{ кг/ч}, \quad (8)$$

где  $F_i$  – соответственно площадь окон, балконных дверей, м<sup>2</sup>;

$G_{\Delta}$  – воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций, кг/(м<sup>2</sup> · ч) (при расчетной разности давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций 10 Па).

У окон со стеклопакетами массовая воздухопроницаемость составляет по различным данным испытаний от 1,0 до 1,6 кг/(м<sup>2</sup> · ч), что приводит к нарушению работы системы естественной вентиляции из-за недостаточного количества приточного воздуха (по табл. 8.1 [1]). Для окон и балконных дверей жилых и общественных зданий нормативная воздухопроницаемость составляет  $G_{\text{н}}=10$  кг/(м<sup>2</sup> · ч). Для устранения этого недостатка необходимо применение в качестве приточных устройств приточных клапанов, монтируемых в наружных стенах (воздухопроницаемость для различных типов клапанов по данным производителей от 5 до 35 м<sup>3</sup>/ч) или в конструкциях окон (воздухопроницаемость для различных типов регулируемых клапанов по данным производителей до 100 м<sup>3</sup>/ч).

$\Delta P$  – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях соответственно окон, балконных дверей и других ограждений, Па, определяется по формуле:

$$\Delta P = (H - h) \cdot (\rho_n - \rho_v) \cdot g + 0,5 \cdot \rho_n \cdot v^2 \cdot (C_n - C_v) \cdot K - P_{уп}, \text{ Па}, \quad (9)$$

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;

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

$$\rho = \frac{353}{273 + t}, \text{ кг/м}^3, \quad (10)$$

$t$  – температура воздуха  $t_n, t_v$ ;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$v$  – скорость ветра, м/с, принимаемая по [2, приложение Е, табл. Е.1] (приложение 4 методических указаний);

$C_n, C_v$  – аэродинамические коэффициенты, соответственно для наветренной и подветренной поверхностей ограждения здания, принимаемые по СНиП 2.01.07 ( $C_n = 0,8$  и  $C_v = -0,6$ );

$K$  – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, принимаемой по СНиП 2.01.07. При высоте здания 10 м –  $K=0,65$ ; при высоте здания 20 м –  $K=0,85$ . Промежуточные значения определяются интерполяцией.

$P_{уп}$  – условно-постоянное давление воздуха в помещении, Па; для жилых и общественных зданий с естественной вентиляцией  $P_{уп}$  можно принять равным потере давления в вытяжной системе и рассчитывать по формуле [4, ф. 1.11]:

$$P_{уп} = h_v \cdot (\rho_{+5} - \rho_v) \cdot g, \text{ Па}, \quad (11)$$

где  $h_v$  – расстояние по вертикали от центра вытяжного отверстия соответствующего этажа (0,2-0,5 м от потолка помещения) до устья вытяжной шахты, м;

$\rho_{+5}$  – плотность наружного воздуха для температуры воздуха +5°C, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_v, g$  – то же, что в формуле (9).

Расход теплоты на нагрев поступающего воздуха в жилые помещения в результате действия естественной вытяжной вентиляции (огранизованный приток):

$$Q_{вент} = 0,28 \cdot L_n \cdot \rho_o \cdot c \cdot (t_o - t_n) \cdot k, \text{ Вт}, \quad (12)$$

где  $L_n$  – расход предварительно не подогреваемого приточного инфильтрующегося воздуха, м<sup>3</sup>/ч; для жилых зданий удельный нормативный расход – 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> жилых помещений, что соответствует примерно однократному воздухообмену; то есть

$$L_n = 3 \cdot F_n, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (13)$$

$F_n$  – площадь пола отапливаемого помещения, м<sup>2</sup>;

$\rho_o$  – то же, что в формуле (9), кг/м<sup>3</sup>;

$c, t_o, t_n, k$  – то же, что в формуле (7), кг/м<sup>3</sup>.

За расчетный расход теплоты на нагревание воздуха, поступающего в жилые помещения, принимается большая из величин  $Q_{инф}$  или  $Q_{вент}$ , рассчитанных по формулам (7) и (12), для кухни подсчитывается только значение  $Q_{инф}$ , определяемое по формуле (7).

Окончательное решение о расчетном расходе теплоты на нагревание воздуха, поступающего в жилые помещения, необходимо делать после сравнения суммарного расхода приточного инфильтрующегося воздуха с необходимым воздухообменом квартиры, определяемым в расчете системы вентиляции (см. пример 1 и пример 6 методических указаний).

При подсчете потерь теплоты в лестничной клетке здания вместо величины  $Q_{инф}$  учитывают добавочные потери теплоты  $\beta$  на подогрев холодного воздуха, поступающего при открывании наружных дверей, принимаемые по формуле (6).

Расчет потерь теплоты сводят в таблицу 1. В графу 3 таблицы записывают условные обозначения наружных ограждений (НС – наружная стена; ГО – окно с тройным остеклением; ПЛ – пол; ПТ – потолок и т.д.). В графе 4 указывается ориентация ограждающей конструкции по сторонам света (Ю – юг; СВ – северо-восток; и т.д.). В графе 5 записываются размеры поверхности охлаждения по строительным чертежам (рис. 1).

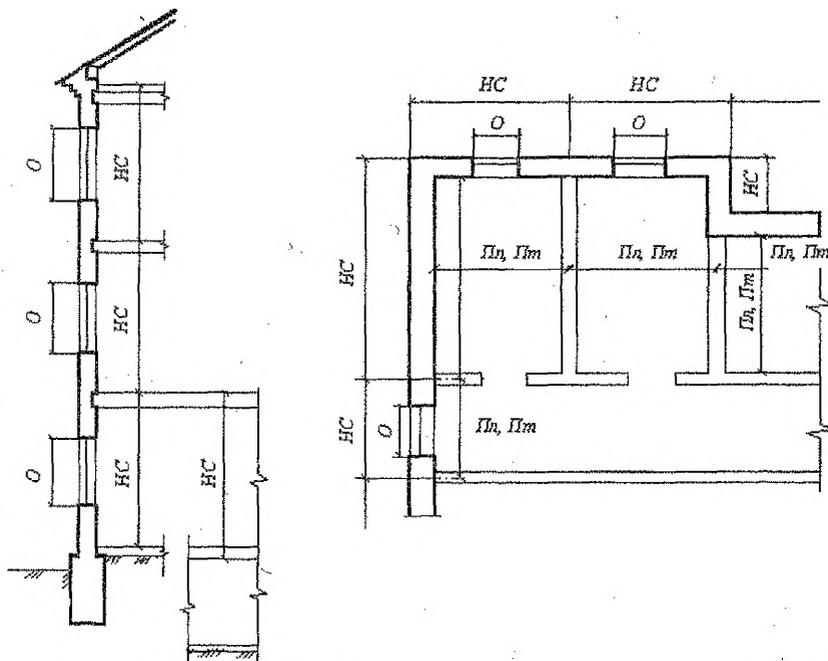


Рисунок 1 – Правила обмера площадей в плане и по высоте здания

Линейные размеры ограждения определяют следующим образом:

- 1) площадь окон, дверей – по размерам строительных проемов в свету;
- 2) площади полов над холодным пространством и потолков – по размерам между осями внутренних стен или от внутренней поверхности наружных стен до осей внутренних стен;
- 3) 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 над подвалом, от нижней поверхности конструкции пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа;
- 4) высота стен промежуточного этажа – между уровнями чистых полов данного и вышележащего этажей;
- 5) высота стен верхнего этажа – от уровня чистого пола до верха чердачного перекрытия или верха бесчердачного покрытия;
- 6) длина наружных стен неугловых помещений – между осями внутренних стен; а угловых помещений – от кромки наружного угла до оси внутренних стен;
- 7) длина внутренних стен – по размерам между осями внутренних стен.

В графу 7 заносят значение коэффициента теплопередачи ( $1/R_0$ ) рассматриваемого ограждения. В графу 8 записывают разность температур ( $t_B - t_H$ ). В графу 17 заносятся общие потери теплоты, определяемые по формуле (5) суммированием основных потерь теплоты (графа 13) с потерями теплоты  $Q_{\text{инф}}$ , (графа 14) за вычетом  $Q_{\text{быт}} \cdot (1 - \eta_1)$  (графа 16).

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

**ПРИМЕР 1.** Определить тепловые потери для двух помещений трехкомнатной квартиры (на всех этажах) жилого дома с подвалом, ориентированного главным фасадом на север, и расположенного в городе Бресте. Площади помещений: жилой комнаты 101, 103 – 16,7 м<sup>2</sup>, жилой комнаты 104 – 9 м<sup>2</sup>. Массовая воздухопроницаемость окон  $G = 1,6$  (м<sup>2</sup>·ч·Па)/кг. Проектируемая система отопления – водяная двухтрубная с ручными радиаторными вентилями (без автоматических терморегуляторов) и центральным регулированием на вводе. План 1 этажа здания показан на рис. 2. Основные строительные размеры здания указаны на рис. 2 и рис. 3. Сопротивление теплопередаче для наружной стены  $R_0 = 3,2$  м<sup>2</sup>·°C/Вт, для чердачного перекрытия  $R_0 = 6,0$  м<sup>2</sup>·°C/Вт, пола 1 этажа над подвалом  $R_0 = 2,5$  м<sup>2</sup>·°C/Вт, окон (стеклопакетов с тройным остеклением)  $R_0 = 1$  м<sup>2</sup>·°C/Вт.

**Решение.** По таблицам приложений методических указаний определяем: температура воздуха в жилом угловом помещении 101 –  $t_B = 20^\circ\text{C}$ , кухне 102 –  $t_B = 18^\circ\text{C}$ , в коридоре  $t_B = 18^\circ\text{C}$ , расчетная температура наружного воздуха  $t_H = -21^\circ\text{C}$ , средняя скорость ветра  $w = 3,7$  м/с; по [1, табл. 5.3] коэффициент  $n$  для стен и перекрытия  $n = 1$ ,

для пола 1 этажа  $n=0,75$ . Высота здания  $H=12,2-(-1,0)=13,2\text{м}$ ;  $h_1=2,3-(-1,0)=3,3\text{м}$ ,  
 $h_2=5,6-(-1,0)=6,6\text{м}$ ,  $h_3=8,9-(-1,0)=9,9\text{м}$ .

Плотности наружного и внутреннего воздуха по формуле (10):

$$\rho_{+20} = \frac{353}{273 + 20} = 1,205 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad \rho_{+18} = \frac{353}{273 + 18} = 1,213 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_{+5} = \frac{353}{273 + 5} = 1,27 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad \rho_{-21} = \frac{353}{273 - 21} = 1,4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

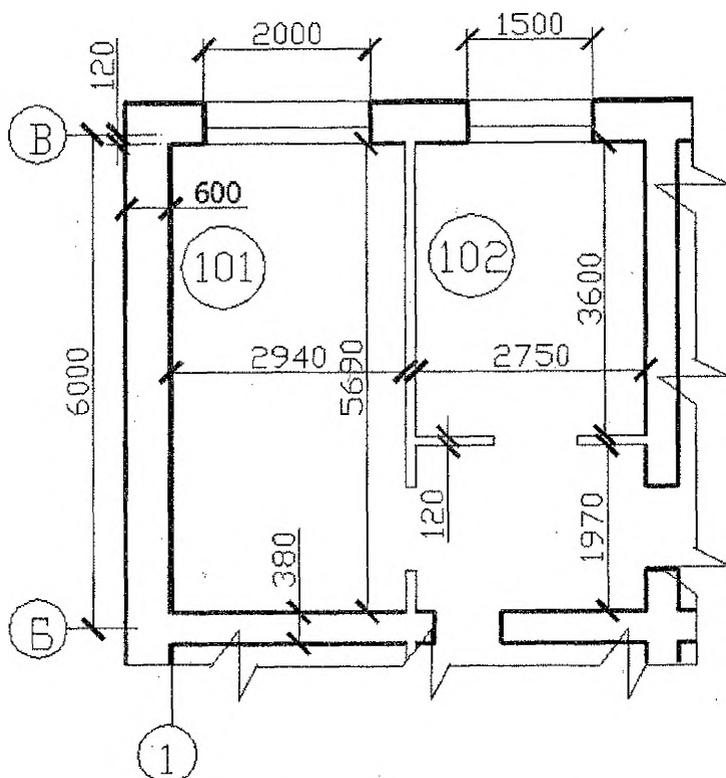


Рисунок 2 – План части здания к примеру 1

Условно-постоянное давление воздуха в помещении по формуле (11):

$$\underline{\text{3 этаж}} \quad P_{\text{уп}} = (12,2 - 9,6) \cdot (1,27 - 1,213) \cdot 9,81 = 1,45 \text{ Па};$$

$$\underline{\text{2 этаж}} \quad P_{\text{уп}} = (12,2 - 6,1) \cdot (1,27 - 1,213) \cdot 9,81 = 3,41 \text{ Па};$$

$$\underline{\text{1 этаж}} \quad P_{\text{уп}} = (12,2 - 2,8) \cdot (1,27 - 1,213) \cdot 9,81 = 5,26 \text{ Па};$$

Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях окон и количество инфилирующего воздуха через окна по формуле (9):

1 этаж

$$\Delta P^{101} = (13,2 - 3,3) \cdot (1,4 - 1,205) \cdot 9,81 + 0,5 \cdot 1,4 \cdot 3,7^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,73 = 5,26 \text{ Па}$$

$$\Delta P^{102} = (13,2 - 3,3) \cdot (1,4 - 1,213) \cdot 9,81 + 0,5 \cdot 1,4 \cdot 3,7^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,73 = 5,26 \text{ Па}$$

2 этаж

$$\Delta P^{201} = (13,2 - 6,6) \cdot (1,4 - 1,205) \cdot 9,81 + 0,5 \cdot 1,4 \cdot 3,7^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,73 = 3,41 \text{ Па}$$

$$\Delta P^{202} = (13,2 - 6,6) \cdot (1,4 - 1,213) \cdot 9,81 + 0,5 \cdot 1,4 \cdot 3,7^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,73 = 3,41 \text{ Па}$$

3 этаж

$$\Delta P^{301} = (13,2 - 9,9) \cdot (1,4 - 1,205) \cdot 9,81 + 0,5 \cdot 1,4 \cdot 3,7^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,73 = 1,45 \text{ Па}$$

$$\Delta P^{302} = (13,2 - 9,9) \cdot (1,4 - 1,213) \cdot 9,81 + 0,5 \cdot 1,4 \cdot 3,7^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,73 = 1,45 \text{ Па}$$

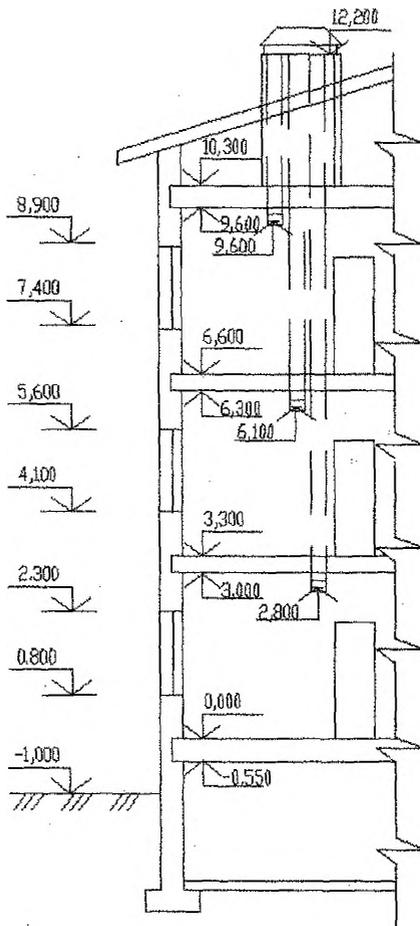


Рисунок 3 – Разрез здания к примеру 1

Расход воздуха, инфильтрующегося через окна по формуле (8):

$$G^{101} = 0,216 \cdot 3 \cdot 1,6 \cdot (23,5)^{0,67} = 8,6 \text{ кг/ч}, G^{102} = 0,216 \cdot 2,25 \cdot 1,6 \cdot (22,7)^{0,67} = 6,2 \text{ кг/ч};$$

$$G^{201} = 0,216 \cdot 3 \cdot 1,6 \cdot (19)^{0,67} = 7,5 \text{ кг/ч}, G^{202} = 0,216 \cdot 2,25 \cdot 1,6 \cdot (18,5)^{0,67} = 5,5 \text{ кг/ч};$$

$$G^{301} = 0,216 \cdot 3 \cdot 1,6 \cdot (14,7)^{0,67} = 6,3 \text{ кг/ч}, G^{302} = 0,216 \cdot 2,25 \cdot 1,6 \cdot (14,4)^{0,67} = 4,6 \text{ кг/ч}.$$

Необходимые воздухообмены по [3, приложение В, табл. В.1], (приложение 3 методических указаний) кухни  $L_K = 90 \text{ м}^3/\text{ч}$ , санузла  $L_{СУ} = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$ , ванной  $L_B = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Воздухообмен по величине жилой площади квартиры:

$$L_{ЖК} = 3 \cdot F_{ЖК} = 3 \cdot (16,7 + 16,7 + 9) = 3 \cdot 42,4 = 127,2 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Суммарное количество воздуха, уходящего из кухни  $L_K$ , ванной  $L_B$ , санузла  $L_{СУ}$ , должно быть не менее необходимого воздухообмена жилых комнат квартиры по формуле (13):

$$L_K + L_B + L_{СУ} > L_{ЖК};$$

$$90 + 25 + 25 = 140 > 127,2.$$

Принимаем воздухообмен квартиры равным  $140 \text{ м}^3/\text{ч}$ , расход предварительно не подогреваемого приточного инфильтрующегося воздуха через окна принимаем равным пропорционально площадям помещений: 101,103 –  $55,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ , 104 –  $29,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Для обеспечения необходимого воздухообмена требуется установка в жилые помещения 101-301, 103-303, 104-304 приточных стеновых клапанов (подбор клапанов не приводится) с расходом приточного воздуха через них:  $G^{101} = 55,1 \cdot 8,6 = 46,5 \text{ кг/ч}$ ,  $G^{201} = 55,1 \cdot 7,5 = 47,6 \text{ кг/ч}$ ,  $G^{301} = 55,1 \cdot 6,3 = 48,8 \text{ кг/ч}$  и т.д.

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося (неорганизованный приток через неплотности и щели в окнах) воздуха определяем по формуле (7):

$$Q_{101}^{инф} = 0,28 \cdot 8,6 \cdot 1 \cdot (20 - (-21)) \cdot 1 = 99 \text{ Вт};$$

$$Q_{102}^{инф} = 0,28 \cdot 6,2 \cdot 1 \cdot (18 - (-21)) \cdot 1 = 68 \text{ Вт};$$

$$Q_{201}^{инф} = 0,28 \cdot 7,5 \cdot 1 \cdot (20 - (-21)) \cdot 1 = 86 \text{ Вт};$$

$$Q_{202}^{инф} = 0,28 \cdot 5,5 \cdot 1 \cdot (18 - (-21)) \cdot 1 = 60 \text{ Вт};$$

$$Q_{301}^{инф} = 0,28 \cdot 6,3 \cdot 1 \cdot (20 - (-21)) \cdot 1 = 72 \text{ Вт};$$

$$Q_{302}^{инф} = 0,28 \cdot 4,6 \cdot 1 \cdot (18 - (-21)) \cdot 1 = 50 \text{ Вт};$$

Расход теплоты на нагрев поступающего воздуха в жилые помещения в результате действия естественной вытяжной вентиляции (огранизованный приток) по формуле (12) с учетом принятого воздухообмена квартиры:

$$Q_{101,201,301}^{вент} = 0,28 \cdot 55,1 \cdot 1,205 \cdot 1 \cdot (20 - (-21)) \cdot 1 = 762 \text{ Вт}.$$

Бытовые тепловыделения в соответствии с формулой (5):

$$Q_{быт1}^{101-301} = 9 \cdot (2,94 \times 5,69) \cdot (1 - 0,7) = 45 \text{ Вт},$$

$$Q_{быт1}^{102-302} = 9 \cdot (2,75 \times 3,6) \cdot (1 - 0,7) = 27 \text{ Вт}.$$

Расчет потерь теплоты сведен в таблицу 1.

Таблица 1 - Расчет потерь теплоты

№ помещения	Назначение помещения, $t_{в}, ^\circ\text{C}$ $F_{п}, \text{м}^2$	Данные по огражде- нию конструкции			Добавочные тепловые потери $\beta$			Основные и добавочные потери теплоты $Q, \text{Вт}$	Расход теплоты на нагревание ин- фильтрующегося наружного воздуха $Q_{инф}, \text{Вт}$	Бытовые тепловыделения $Q_b, \text{Вт}$	$Q_b(1-\eta_1), \text{Вт}$	Общие потери теплоты помещения $Q_{с}, \text{Вт}$					
		Наименование ограждения	Ориентация по сторонам света	Расчетные размеры, м	Площадь $F, \text{м}^2$	Коэффициент теплопередачи $1/R_T, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	Разность температур $(t_{в}-t_{н}), ^\circ\text{C}$						Поправочный коэффициент $\mu$	На ориентацию	Другие	Суммарный коэффициент добавок $(1+\beta)$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
101	жилья комната $t_{в}=20^\circ\text{C}$ $F=16,7\text{м}^2$	нс нс то пл	з с с с	6,48×3,85 3,6×3,85 2×1,5 3×5,88	24,9 13,9 3,0 17,6	0,31 0,31 0,69 0,4	41 41 1 41	1 1 1 0,75	0,05 0,1 0,1 0	0,05 0,05 0,05 0	1,1 1,15 1,15 217	349 203 98 217					
102	кухня $t_{в}=18^\circ\text{C}$ $F=9,9\text{м}^2$ Коридор $t_{в}=18^\circ\text{C}$	нс то пл	с с пл	3×3,85 1,5×1,5 3,66×3 2,22×3	11,6 2,3 11,0 6,7	0,31 0,69 0,4 0,4	39 1 39 0,75	1 0,1 0,75 0	0 0,1 0 0	0 0 1 1	1,1 1,1 1,15 78	154 67 128 78	762	150	45	1583	
201	жилья комната $t_{в}=20^\circ\text{C}$ $F=16,7\text{м}^2$	нс то пл	з с с	6,48×3,3 3,6×3,3 2×1,5	21,4 11,9 3,0	0,31 0,31 0,69	41 41 41	1 1 1	0,05 0,1 0,1	0,05 0,05 0,05	1,1 1,15 1,15	299 174 98		68	89	27	468
202	кухня $t_{в}=18^\circ\text{C}$ $F=9,9\text{м}^2$	нс то пл	с с с	3×3,3 1,5×1,5	9,9 2,3	0,31 0,69	39 39	1 1	0 0,1	0 0	1,1 1,1	132 67	762	150	45	1287	
301	жилья комната $t_{в}=20^\circ\text{C}$ $F=16,7\text{м}^2$	нс то пл	з с с	6,48×3,7 3,6×3,7 2×1,5 3×5,88	24,0 13,3 3,0 17,6	0,31 0,31 0,69 0,17	41 41 41 41	1 1 1 0	0,05 0,1 0,1 0	0,05 0,05 0,05 0	1,1 1,15 1,15 123	335 195 98 123	60	89	27	231	
302	кухня $t_{в}=18^\circ\text{C}$ $F=9,9\text{м}^2$ Коридор $t_{в}=18^\circ\text{C}$	нс то пл	с с пл	3×3,7 1,5×1,5 3,66×3 2,22×3	11,1 2,3 11,0 6,7	0,31 0,69 0,17 0,17	39 39 39 39	1 1 1 1	0 0,1 0 0	0 0 1 1	1,1 1,1 1,1 44	148 67 73 44	762	150	45	1467	
												Σ331	50	89	27	354	

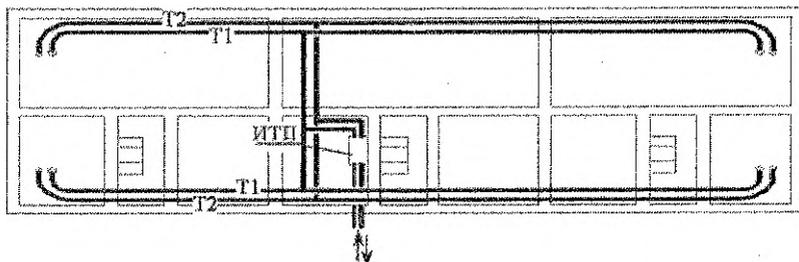
Примечание: полсчет площади наружных стен принимают без вычета площади окон, а в графе 7 - из коэффициента теплопередачи окна вычитают коэффициент теплопередачи стены.

#### 4. КОНСТРУИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

В курсовом проекте необходимо запроектировать вертикальную систему водяного отопления с искусственной циркуляцией (двухтрубную или однотрубную) с верхней или нижней разводкой магистралей. Тип системы отопления указан в задании на проектирование.

Задачей конструирования системы водяного отопления является правильное размещение отопительных приборов, стояков, магистралей, устройств для удаления воздуха из системы, запорно-регулирующей арматуры, назначение уклонов труб, места расположения теплового пункта в подвале здания (рис. 7).

В системах с верхней разводкой подающие магистрали прокладываются на чердаке на расстоянии  $1+1,5$  м от наружных стен, обратные – в подвале, при отсутствии подвала – в подпольном канале. В системах с нижней разводкой прокладка подающих и обратных магистралей осуществляется совместно в подвале, при отсутствии подвала – в подпольном канале. Магистрали прокладываются с уклоном не менее 0,002. В зданиях шириной до 9 метров магистрали можно прокладывать вдоль их продольной оси. В зданиях шириной более 9 метров рационально использовать две разводящие магистрали вдоль каждой фасадной стены (рис. 4).



*Рисунок 4 – Расположение магистралей тупиковой системы отопления с нижней разводкой в зданиях шириной более 9 метров*

Целесообразно разделить систему отопления на две или более частей (ветвей) одинаковой длины и с примерно равными тепловыми нагрузками.

Главный стояк систем отопления с верхней разводкой размещают во вспомогательных помещениях (например, в коридоре или лестничной клетке). Отопительные стояки, как правило, располагаются у наружных стен. В угловых помещениях их следует располагать в углах, образованных наружными стенами, чтобы предохранить углы от сырости и промерзания.

Удаление воздуха из системы водяного отопления предусматривают в верхних точках системы. Для выпуска воздуха из системы с верхней разводкой магистралей на подающих магистралах в верхних точках устанавливают автоматические воздухоотводчики или проточные воздухосорбники. В системах с нижней разводкой обеих магистралей для этих целей предусматривают воздухоотводчики, чаще всего ручные, устанавливаемые в верхней пробке прибора верхнего этажа.

Трубопроводы систем отопления следует проектировать из полимерных, металлополимерных, стальных и медных труб. В курсовом проекте необходимо

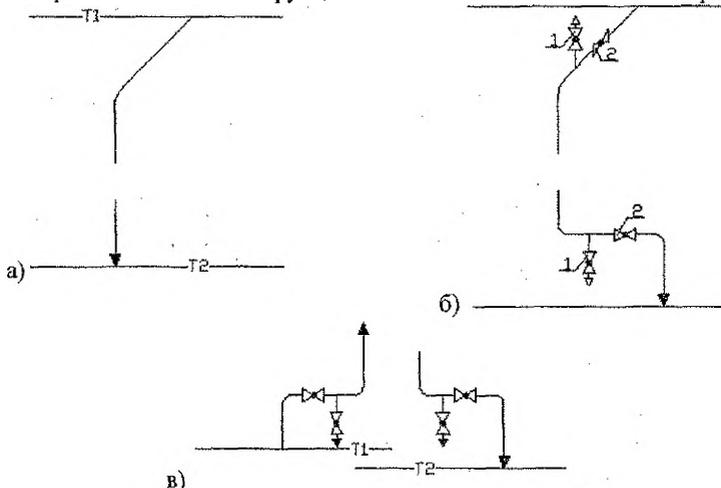
запроектировать систему отопления из стальных труб. Прокладка стальных и медных трубопроводов систем отопления должна предусматриваться открытой. Тепловую изоляцию следует предусматривать для трубопроводов систем отопления, прокладываемых в неотапливаемых помещениях, а также в местах, где возможно замерзание теплоносителя. Трубопроводы в местах пересечения перекрытий, внутренних стен и перегородок следует прокладывать в гильзах из негорючих материалов.

Компенсация удлинения стояков в зданиях до 4 этажей обеспечивается естественными их изгибами в местах присоединения к подающим магистралям. В 4-7 этажных зданиях однотрубные стояки изгибают не только в местах присоединения к подающей, но и к обратной магистрали. Схемы присоединения стояков к магистралям показаны на рис. 5.

Запорную арматуру следует предусматривать для отключения и спуска воды от отдельных колец, ветвей и стояков систем отопления. Установка запорной арматуры не обязательна на стояках в зданиях с числом этажей три и менее. В системах отопления следует предусматривать устройства для их опорожнения и заполнения водой. На каждом стояке, на котором устанавливается арматура, следует предусматривать запорную арматуру со штуцерами для присоединения шлангов (см. рис. 5).

Уклоны трубопроводов необходимы для обеспечения движения воздуха к местам его удаления в подающих магистралях при верхней разводке и самотечного слива воды из подающих и отводящих магистралей при нижней разводке. Уклоны трубопроводов следует принимать не менее 0,002 (рекомендуется 0,003). Трубопроводы допускается прокладывать без уклона при скорости движения воды в них 0,25 м/с и более.

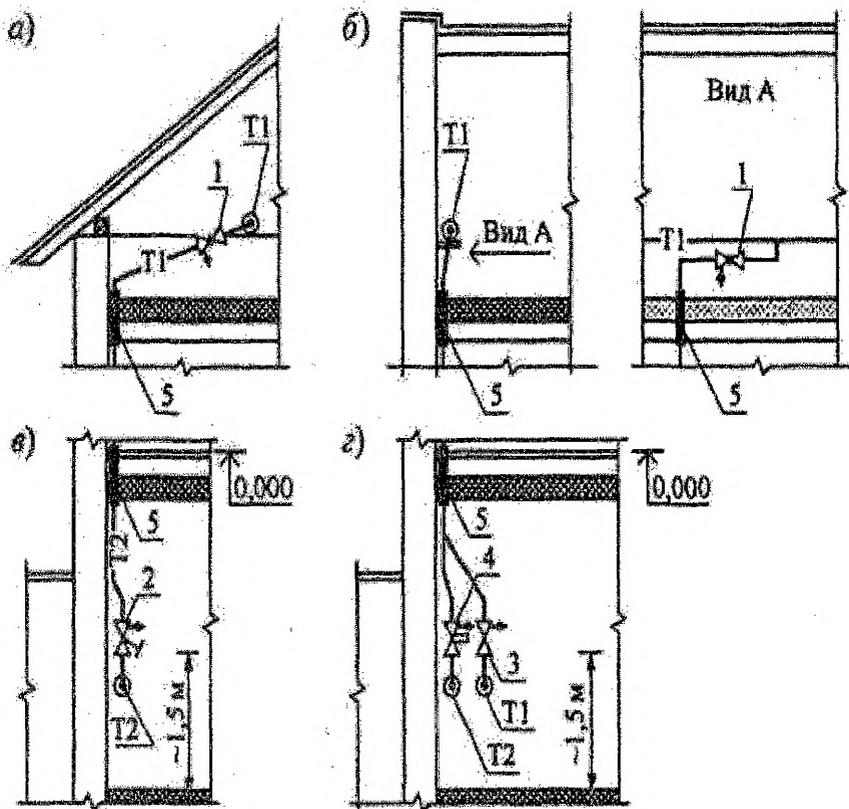
Некоторые элементы конструкции систем отопления показаны на рис. 6.



*а* – двух-трехэтажных; *б* – четырех-семиэтажных с верхней разводкой;

*в* – с нижней разводкой; 1 – спускной кран; 2 – запорный кран

**Рисунок 5 – Схемы присоединения стояков к магистралям зданий различной этажности**



а) подсоединение стояка к подающей магистрали на чердаке с двухскатной кровлей; б) то же с плоской кровлей; в) подсоединение стояка к обратной магистрали в подвале; г) подсоединение стояков при нижней разводке;

1 – кран шаровой; 2 – клапан балансировочный;

3 – кран шаровой для слива воды из стояка; 4 – клапан балансировочный (или регулятор перепада давления для двухтрубной системы); 5 – гильза

**Рисунок 6 – Некоторые элементы конструкции систем отопления**

Пример расположения элементов системы отопления на планах здания показан на рис. 7-9.

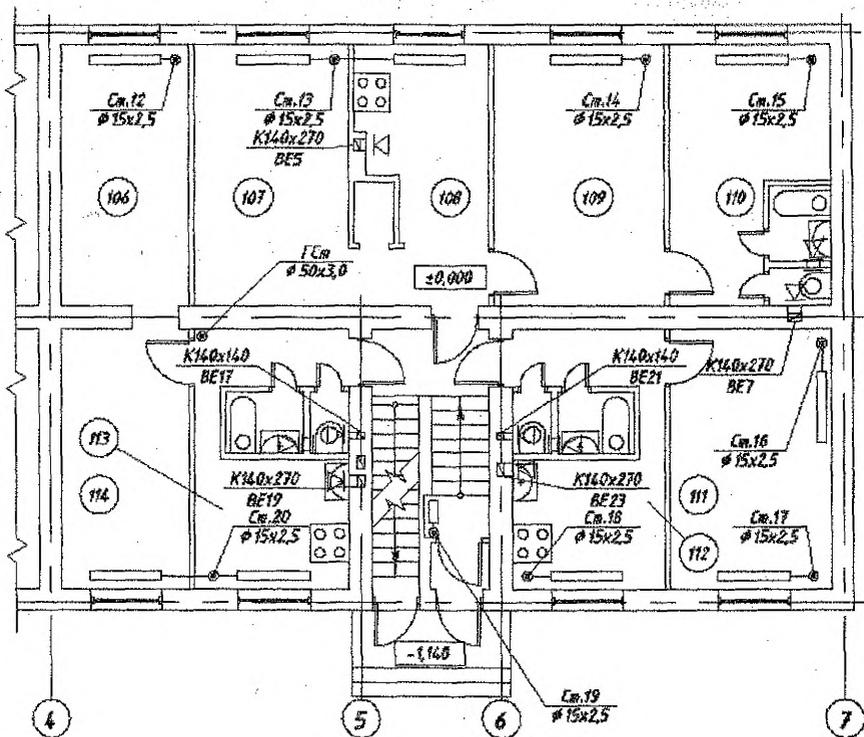


Рисунок 7 – Пример расположения элементов системы отопления и вентиляции на плане этажа

В качестве отопительных приборов в жилых зданиях используют радиаторы или конвекторы.

Отопительные приборы следует размещать, как правило, под световыми проемами в местах, доступных для осмотра, ремонта и очистки. Длина отопительного прибора должна быть не менее 75% длины светового проема. Если приборы под окнами разместить нельзя, то допускается их установка у наружных или внутренних стен, ближе к наружным. В угловых помещениях приборы необходимо размещать на обеих наружных стенах. При таком размещении движение восходящего теплового воздуха от отопительных приборов препятствует образованию ниспадающих холодных потоков от окон и холодных поверхностей стен и попаданию их в рабочую зону.

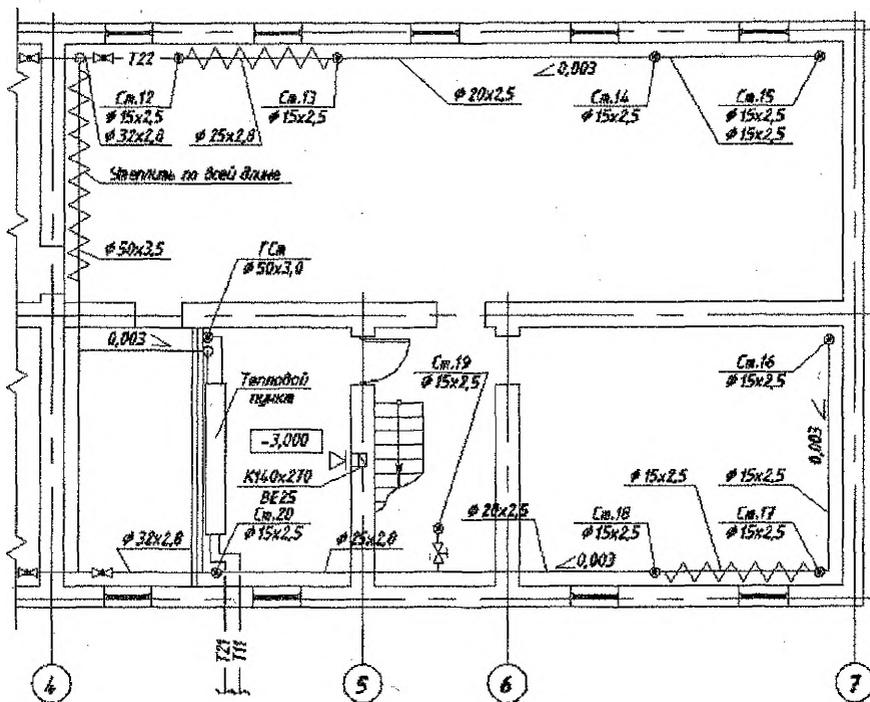
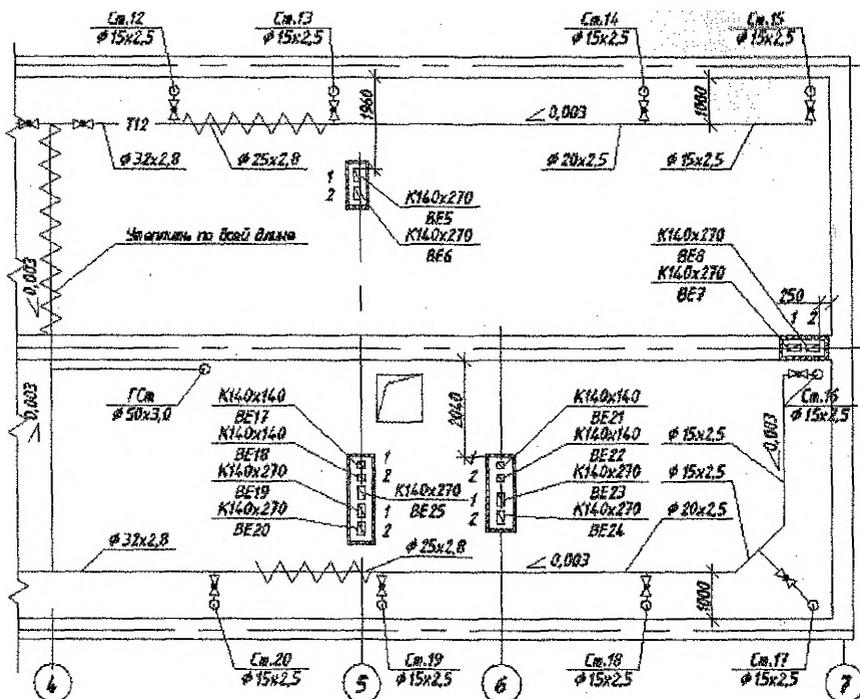


Рисунок 8 – Пример расположения элементов системы отопления и вентиляции на плане подвала

Полная высота отопительного прибора должна быть меньше расстояния от чистого пола до низа подоконной доски (или низа оконного проема при ее отсутствии) на величину не менее 110 мм. Отопительные приборы в жилых зданиях следует устанавливать ближе к полу помещений на расстоянии 60-100 мм от пола. Это позволяет обеспечивать равномерный прогрев воздуха у поверхности пола и в рабочей зоне.

В лестничных клетках зданий до 12 этажей отопительные приборы размещают на первом этаже на уровне входных дверей; в тамбуре установка приборов и прокладка трубопроводов недопустима во избежание замерзания воды в них. В случае невозможности размещения всех приборов рядом с входными дверями в лестничной клетке, часть их переносят на площадку между 1 и 2 этажами.



**Рисунок 9 – Пример расположения элементов системы отопления и вентиляции на плане чердака**

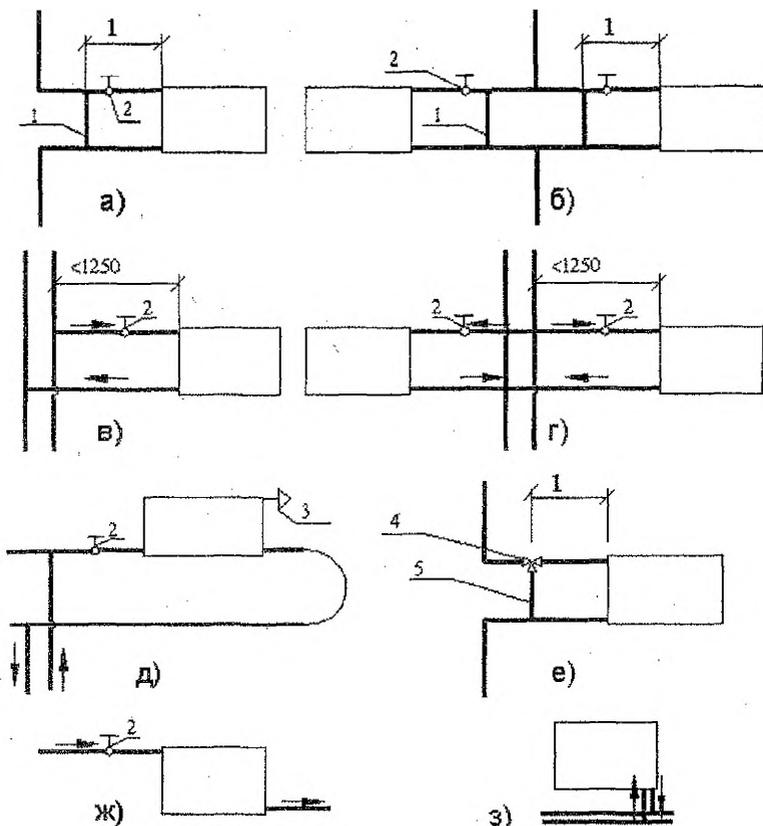
Отопительные приборы подсоединяют к стоякам с одной (рис. 10а, 10в) или с двух сторон (рис. 10б, 10г).

Присоединение отопительных приборов к стоякам системы отопления может быть односторонним, разносторонним и нижним. Присоединение отопительных приборов, располагаемых у наружных углов помещений и в лестничных клетках, следует предусматривать одностороннее. Для отопительных приборов в лестничной клетке предусматривается отдельный стояк, к которому не присоединяются приборы других помещений.

Разностороннее присоединение применяется в случаях, когда отопительный прибор состоит из 25 и более секций радиаторов или имеет длину более 2 метров. Варианты присоединения отопительных приборов к стоякам вертикальных систем отопления показаны на рис. 10.

Для регулирования температуры воздуха в помещениях у отопительных приборов следует устанавливать ручную или автоматическую регулирующую арматуру, кроме приборов лестничных клеток. В жилых зданиях у отопительных приборов следует устанавливать, как правило, автоматические терморегуляторы,

обеспечивающие поддержание заданной температуры в каждом помещении и экономию подачи тепла за счет использования внутренних теплоизбытков (бытовые тепловыделения, солнечная радиация). В проекте в качестве примера необходимо запроектировать ручные регулировочные вентили с возможностью гидравлической настройки или без нее.



а) и б) однотрубных; в) и г) двухтрубных; д) к верхним приборам стояков с нижней разводкой магистралей двухтрубной системы; е) однотрубных проточно-регулируемых; ж) разносторонне присоединение при большой длине прибора; з) нижнее присоединение (для приборов со встроенным терморегулятором).

1 – смещенный замыкающий участок; 2 – регулировочный вентиль ручной;

3 – воздухоотводчик ручной; 4 – кран трехходовой; 5 – смещенный обходной участок

**Рисунок 10 – Присоединение отопительных приборов к стоякам вертикальных систем отопления**

В соответствии с п. 6.14 изменений № 3 к [2] при проектировании отопления жилых зданий необходимо предусматривать регулирование и учет потребляемой теплоты каждым отдельным потребителем в здании (то есть каждой

квартирой), а также зданием в целом. Для определения расхода теплоты каждой квартирой в жилых зданиях следует предусматривать устройство квартирных систем отопления с горизонтальной разводкой труб и установкой счетчика расхода теплоты (теплосчетчика) для каждой квартиры. Однако в вертикальной системе отопления нет возможности установки теплосчетчика, поэтому в этом случае применяется поквартирный учет с применением индикаторов расхода теплоты, устанавливаемых на каждом отопительном приборе.

Отопительные приборы на планах здания изображают линией толщиной 1 мм и длиной 10 мм независимо от количества секций в приборе, а на схеме системы отопления – прямоугольниками, длина которых должна соответствовать принятой на планах, а высота – действительной высоте (в масштабе) приборов. Все подающие трубопроводы изображают сплошной линией, обратные – пунктирной.

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

## 5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Цель гидравлического расчета – подобрать диаметры трубопроводов, регулировочные и балансировочные клапаны при условии использования располагаемого перепада давления на вводе для обеспечения стабильности и бесшумности работы системы отопления, минимизации эксплуатационных и капитальных затрат. Гидравлический расчет основан на законах гидравлики: при движении воды по трубам существуют потери давления на преодоление трения по длине трубопроводов и в местных сопротивлениях. Сумма этих потерь в трубопроводах циркуляционного кольца системы отопления должна быть меньше расчетного циркуляционного давления для этой системы.

Гидравлический расчет выполняют по аксонметрической схеме трубопроводов системы отопления. На схеме находят циркуляционные кольца, делят их на участки, наносят тепловые нагрузки каждого отопительного прибора, равные тепловой расчетной нагрузке помещения  $Q_0$ . (При наличии двух и более отопительных приборов в помещении необходимо разделить величину расчетной нагрузки  $Q_0$  между ними.)

Каждое циркуляционное кольцо системы отопления – это замкнутый контур последовательных участков. Участок – одна или несколько труб с одним и тем же расходом теплоносителя. В однетрубной системе отопления количество циркуляционных колец равно числу стояков, а в двухтрубной – количеству отопительных приборов.

В качестве главного (основного) расчетного циркуляционного кольца принимается циркуляционное кольцо, в котором значение

$$P = P_p / \sum L \text{ наименьшее,}$$

$P_p$  – расчетное циркуляционное давление для рассматриваемого кольца,  
 $\sum L$  – сумма длин участков циркуляционного кольца).

Этими кольцами являются:

- в системах с тупиковым движением теплоносителя в магистралях: для однетрубных систем – кольцо через наиболее нагруженный из самых удаленных стояков, для двухтрубных систем – кольцо через нижний отопительный прибор наиболее нагруженного из самых удаленных стояков. Затем выполняется расчет остальных циркуляционных колец;

- в системах с попутным движением теплоносителя в магистралях: для однетрубных систем – кольцо через наиболее нагруженный стояк, для двухтрубных систем – кольцо через нижний отопительный прибор наиболее нагруженного стояка. Затем выполняется расчет циркуляционных колец через крайние стояки (ближний и дальний).

При гидравлическом расчете СВО следует выбрать одно из двух направлений расчета [5].

Первое направление гидравлического расчета состоит в том, что диаметры труб и потери давления в кольце определяются по задаваемой оптимальной скорости движения теплоносителя на каждом участке основного циркуляционного кольца. Скорость теплоносителя в горизонтально расположенных трубах следует принимать не ниже 0,25 м/с для обеспечения удаления воздуха из них. Оптимальная расчетная скорость движения воды для стальных труб – до 0,3...0,5 м/с, удельная потеря давления на трение  $R$  не более 100...200 Па/м.

На основании результатов расчета основного кольца производится расчет остальных циркуляционных колец путем определения располагаемого давления в них и подбора диаметров по ориентировочной величине удельных потерь давления  $R_{\text{ср}}$  (методом удельных потерь давления).

Второе направление гидравлического расчета состоит в том, что подбор диаметров труб на расчетных участках и определение потерь давления в циркуляционном кольце производится по изначально заданной величине располагаемого циркуляционного давления для системы отопления. В этом случае диаметры участков подбираются по ориентировочной величине удельных потерь давления  $R_{\text{ср}}$  (методом удельных потерь давления).

ПРИМЕР 2. Произвести гидравлический расчет трубопроводов двухтрубной тупиковой системы водяного отопления с нижней разводкой и искусственной циркуляцией, присоединенной к тепловым сетям по зависимой схеме со смесительным насосом на перемычке. Давление, передаваемое в СВО из тепловой сети (за вычетом потерь давления в тепловом пункте)  $P=7300$  Па; прокладка стояков открытая, трубы стальные водогазопроводные, тепловая нагрузка каждого прибора  $Q_{\text{пр}}$  указана на схеме (рис. 11), расчетный перепад температуры воды в системе  $t_{\text{г}}-t_{\text{о}}=95-70=25^{\circ}\text{C}$ , расстояние от центра прибора 1 этажа до центра нагрева в тепловом пункте  $h=1,85$  м, высота этажа – 2,8 м. Для регулирования теплопередачи отопительных приборов используются прямые ручные радиаторные вентили марки Mikrotherm фирмы Heimeier с возможностью предварительной настройки для гидравлической балансировки. Для гидравлической

балансировки СВО у основания стояков применены ручные балансировочные клапаны марки TBV фирмы ТА.

**Решение.** Выполнение гидравлического расчета начинаем с определения расчетного циркуляционного давления  $P_p$ , Па. Выбираем главное расчетное циркуляционное кольцо через нагревательный прибор первого этажа стояка 4 как наиболее удаленного от теплового пункта и наиболее нагруженного ( $\sum Q_{np}=4946 \text{ Вт}$ ).

Разбиваем главное расчетное кольцо на участки, нумеруем участки и указываем на каждом тепловую нагрузку  $Q_{уч}$  и длину. Длина кольца составляет  $\sum l=37,3 \text{ м}$ .

При установке отопительных приборов у стены расчетную нагрузку участка теплопровода, подводящего теплоноситель к отопительному прибору, принимают [5] при скрытой прокладке теплопроводов  $Q_{уч}=1,06 \cdot Q_{np}$ , при открытой прокладке теплопроводов  $Q_{уч}=1,05 \cdot Q_{np}$ .

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

а) в однотрубной

$$P_p = P_H + P_\ell, \text{ Па}; \quad (14)$$

б) в двухтрубной

$$P_p = P_H + 0,4 \cdot P_\ell, \text{ Па}, \quad (15)$$

где  $P_H$  – циркуляционное давление, создаваемое насосом (давление, передаваемое в СВО из тепловой сети), Па;

$P_\ell$  – естественное циркуляционное давление, Па

$$P_\ell = P_{\ell_{np}} + P_{\ell_{тр}}, \text{ Па}, \quad (16)$$

где  $P_{\ell_{тр}}$  – естественное циркуляционное давление, возникающее вследствие охлаждения воды в трубах, Па [6, прил. 4];

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

– для вертикальной однотрубной при приборах в стояке, входящем в циркуляционное кольцо:

$$P_{\ell_{тр}} = \frac{\beta \cdot g}{Q_{ст}} \cdot (t_r - t_o) \cdot \sum_{i=1}^n (Q_{np_i} \cdot h_i), \text{ Па}, \quad (17)$$

где  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$\beta$  – среднее приращение плотности при понижении температуры воды на  $1^\circ\text{C}$ , для  $t_r - t_o = (95-70)^\circ\text{C}$   $\beta = 0,64$ ; для  $t_r - t_o = (85-65)^\circ\text{C}$   $\beta = 0,6$ ;

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

$$Q_{\text{ст}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{пр}i}, \text{ Вт}, \quad (18)$$

$Q_{\text{пр}i}$  – тепловая нагрузка  $i$ -го прибора;

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

$h_1$  – вертикальное расстояние между условными центрами: охлаждения в стояке для  $i$ -го прибора и нагрева в системе (середина высоты котла, теплообменника, точка смешения 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 – это точка присоединения замыкающего участка к обратной подводке отопительного прибора;

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

$$P_{\ell_{\text{пр}}} = \beta \cdot g \cdot h_1 \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{о}}), \text{ Па}, \quad (19)$$

где  $h_1$  – вертикальное расстояние между условными центрами охлаждения воды в отопительном приборе 1 этажа и центром ее нагрева в системе, м;

$\beta$  – то же, что и в формуле (17).

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

$$P_{\ell_{\text{пр}}}^{\text{II}} = \beta \cdot g \cdot (h_1 + h_2) \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{о}}), \text{ Па}, \quad (20)$$

$$P_{\ell_{\text{пр}}}^{\text{III}} = \beta \cdot g \cdot (h_1 + h_2 + h_3) \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{о}}), \text{ Па}, \quad (21)$$

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

Так как в нашем случае система отопления с нижней разводкой, то давлением от остывания воды в трубах  $P_{\ell_{\text{тр}}}$  пренебрегаем.

Естественное давление в стояке 4, возникающее за счет охлаждения воды в отопительных приборах:

$$P_{\ell_{\text{тр}}} = \beta \cdot g \cdot h_1 \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{о}}) = 0,64 \cdot 9,8 \cdot 1,85 \cdot (95 - 70) = 290 \text{ Па},$$

где 1,85 м – расстояние от центра прибора 1 этажа до центра нагрева в тепловом пункте.

Определяем расчетное циркуляционное давление:  $P_{\text{в}} = 7300 + 0,4 \cdot 290 = 7416 \text{ Па}$ . Гидравлический расчет производим с использованием второго направления расчета -- по методу удельных потерь давления.

Ориентировочная величина удельных потерь давления на трение:

$$R_{\text{уд}}^{\text{оп}} = \frac{0,65 \cdot P_p}{\sum l} = \frac{0,65 \cdot 7416}{37,3} = 129 \text{ Па/м}, \quad (22)$$

где 0,65 – предполагаемая доля потерь давления на трение по длине трубопроводов в системе отопления от общей величины  $P_p$ ;

$\sum l$  – суммарная длина всех участков циркуляционного кольца, м.

Определяем расходы воды на участках по формуле:

$$G = \frac{0,86 \cdot Q_{\text{уч}}}{(t_e - t_o)}, \text{ кг/ч}. \quad (23)$$

По расходам воды на участках и по величине  $R_{\text{уд}}^{\text{оп}}$  подбираем диаметры труб по таблицам для гидравлического расчета (например, [6, прил. 6] или с помощью компьютерной программы подбора Tihomirov), определяя для этих диаметров фактическую величину  $R_{\text{уд}}^{\text{ф}}$ , скорость движения воды  $W$ , м/с и динамическое давление  $P_d$ . Определяем потери давления на трение на участках  $R_{\text{уд}}^{\text{ф}} \cdot l$ . Определяем сумму коэффициентов местных сопротивлений на каждом из участков кольца (табл. 2) с использованием данных приложения В [5]. Местное сопротивление (тройник, крестовина) на границе двух участков относят к расчетному участку с меньшим расходом воды, местное сопротивление отопительного прибора на границе двух участков учитывают поровну на каждом участке. Определяем потери давления в местных сопротивлениях  $Z = \sum \zeta \cdot P_d$ . Потери давления на балансировочных клапанах и регулировочных вентилях определяются по номограммам изготовителя или при известном значении пропускной способности элемента  $k_v$  ( $k_{VS}$ ) по формуле:

$$\Delta P = 0,1 \cdot \left( \frac{G}{k_v} \right)^2, \text{ Па}, \quad (24)$$

где  $G$  – расход воды на участке, кг/ч;

$k_v$  ( $k_{VS}$ ) – пропускная способность (по каталогу изготовителя),  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Определяем общие потери давления  $R_{\text{уд}}^{\text{ф}} \cdot l + Z$  на каждом участке и суммарные потери давления во всех участках главного циркуляционного кольца. Расчет сведен в таблицу 3.

Таблица 2 – Расчёт коэффициентов местных сопротивлений

№ участка	Наименование сопротивления	Коэффициент местного сопротивления	Сумма коэффициентов местных сопротивлений
1	½ радиатора Тройник на схождения потоков	1 3	4
2	Ручной балансировочный клапан	По данным изготовителя	6,5
	Ø15 3 отвода L 90°	1,5·3	
	Тройник на проходе	1	
3	Внезапное расширение	1	4
	Тройник на противотоке	3	
	Кран шаровой	1	
4	Тройник на противотоке	3	3
5	Ø25 отвод L 90°	1	1
6	Ø25 отвод L 90°	1	1
7	Тройник на ответвлении	1,5	1,5
8	Тройник на ответвлении	1,5	2,5
	Кран шаровой	1	
9	Тройник на проходе	1	7
	Ø15 3 отвода L 90°	1,5·3	
	Кран шаровой	1	
	Внезапное сужение	0,5	
10	Вентиль регулирующий ручной	По данным изготовителя	2
	½ радиатора	1	
11	Тройник на проходе	1	4
	½ радиатора	1	
12	Крестовина поворотная	3	6
	Ø15 2 Отвода L 90°	1,5·2	
13	Тройник на схождения потоков	3	8,5
	Ø15 2 отвода L 90°	1,5·2	
	Кран шаровой	1	
	Тройник на ответвлении	1,5	
14	Скоба	3	По данным изготовителя
	Вентиль регулирующий ручной	По данным изготовителя	
15	½ радиатора	1	4
	Крестовина поворотная	3	
16	½ радиатора	1	4
	Тройник на схождения потоков	3	
17	Тройник на проходе	1	4
	Скоба	3	
18	Тройник на проходе	1	1
	Тройник на ответвлении	1,5	
19	½ радиатора	1	2,5
	Вентиль регулирующий ручной	По данным изготовителя	
19	Радиатор	2	10
	2 тройника на проходе	1·2	
	Ø15 2 отвода L 90°	1,5·2	
	Скоба	3	

Примечания:

1. Ручной балансировочный клапан в основании стояка 3 (участок 12) не учтен в качестве местного сопротивления, так как с его помощью будет осуществляться увязка циркуляционных колец.

2. Вентиль регулирующий ручной на участках, являющихся подводками к отопительным приборам, не учтен в качестве местного сопротивления, так как его потери рассчитываются по номограммам каталогов изготовителя и заносятся в таблицу 3.

Таблица 3 – Гидравлический расчет двухтрубной СВО

№ участка	Тепловая нагрузка $Q_{тв}$ , Вт	Расход воды на участке $G$ , кг/ч	Длина участка, м	Диаметр, мм	Скорость движения воды, $W$ , м/с	Удельная потеря давления, Па/м	Потери давления на трение, Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений	Динамическое давление, Па	Дополнительные местные сопротивления, Па	Потери давления в местных сопротивлениях, Па	Суммарные потери давления, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1948	67	1	15	0,098	14	14	4	4,7	0	19	33
2	5193	179	8	15	0,263	96	768	6,5	34,3	990	1213	1981
3	10550	363	2,5	20	0,28	74,6	187	4	38,3	0	153	340
4	17290	595	4,5	20	0,459	187,3	843	3	103,7	0	311	1154
5	31691	1090	2,5	25	0,529	202,1	505	1	137,5	0	138	643
6	31691	1090	2,2	25	0,529	202,1	445	1	137,5	0	138	582
7	17290	595	4,3	20	0,459	187,3	805	1,5	103,7	0	156	961
8	10550	363	2,5	20	0,28	74,6	187	2,5	38,3	0	96	282
9	5193	179	8,7	15	0,263	96	835	7	34,3	0	240	1075
10	1948	67	1,1	15	0,098	14	15	2	4,7	170	179	195
			37,3									7246
11	1240	42,7	1	15	0,06	5,68	6	4	1,84	0	7	13
12	5357	184	1,5	15	0,27	101,1	152	6	36,4	0	218	370
13	5357	184	1	15	0,27	101,1	101	8,5	36,4	0	309	411
14	1240	42,7	1,1	15	0,06	5,68	6	4	1,84	70	77	84
												877
15	1404	48,3	1	15	0,07	7	7	4	2,4	0	10	17
16	3246	112	2,8	15	0,16	40	112	4	13,2	0	53	165
17	3246	112	2,8	15	0,16	40	112	1	13,2	0	13	125
18	1404	48,3	1,1	15	0,07	7	8	2,5	2,4	0	6	14
												320
19	1842	63,4	7,3	15	0,09	12,2	89	10	3,8	0	38	127

Примечания:

1. Потери ручных радиаторных вентилей рассчитываются по номограмме каталога фирмы Heimeier. На участках 10 и 14 принимаются максимальные предварительные настройки  $K_{vs}$  радиаторных вентилей (вентили приняты диаметром 15 мм по диаметру подводок).

2. По каталогу фирмы ТА принимаем ручные балансировочные клапаны TBV диаметром 15 мм (по диаметрам трубопроводов, на которые они установлены). Потери давления в ручных балансировочных клапанах рассчитываются по формуле (24) или определяются по диаграмме каталога фирмы ТА (приложение 5). Принимаем для клапана на участке 2 настройку №10 (максимально открытый клапан), при этом потери давления на клапане составят 990 Па.

Суммарные расчетные потери давления основного циркуляционного кольца могут быть меньше расчетного циркуляционного давления не более чем на 10%. Невязка в главном циркуляционном кольце:  $(7416-7246)/7416 \cdot 100\% = 2,3\% < 10\%$ .

Далее проведем расчет трубопроводов второстепенных циркуляционных колец. Расчет второстепенных циркуляционных колец проводят, исходя из расчета главного 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  $P_p^{доп}$  должно быть равно потерям давления на участках (уже рассчитанных) основного кольца, замыкающих рассматриваемый стояк.

Для двухтрубной системы:

$$P_p^{доп} = \sum (R \cdot l + Z)_{осн}^{не общ}, \text{ Па.} \quad (25)$$

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%.

Стояк 3, прибор 1 этажа ( $Q=1181$  Вт). Участки рассматриваемого кольца – 11-14. Участки рассматриваемого кольца 3-8 являются общими с участками главного циркуляционного кольца. Располагаемое давление

$$P_{11-14} = \sum (R_{уд}^{\phi} \cdot l + Z)_{1,2,9,10} = 33 + 1981 + 1075 + 195 = 3284 \text{ Па.}$$

Невязка в кольце:  $(3284-877)/3284 \cdot 100\% = 73\% > 15\%$ .

Для гидравлической увязки у основания стояка установлен ручной балансировочный клапан TBV диаметром 15 мм, настройку которого необходимо подобрать. Необходимые потери на клапане  $3284-877=2407$  Па. По диаграмме каталога фирмы ТА (приложение 5) принимаем настройку №8, при этом потери давления на клапане составят 2750 Па. Невязка в кольце составит:  $(3284-(877+2750))/3284 \cdot 100\% = -10,5\% < 15\%$ .

Стояк 4, прибор 2 этажа. Участки рассматриваемого кольца – 15-18. Прибор находится выше прибора 1 этажа на 2,8 м, следовательно, располагаемое естественное давление для циркуляционного кольца через прибор 2 этажа больше на  $P_e = 0,4 \cdot 0,64 \cdot 9,8 \cdot 2,8 \cdot (95-70) = 175$  Па. Участки рассматриваемого кольца 2-9 являются общими с участками главного циркуляционного кольца.

Для определения диаметров на участках 15-18 находим располагаемое давление  $P_{15-18} = \sum (R_{уд}^{\phi} \cdot l + Z)_{1,10} + P_e = 33 + 195 + 175 = 403$  Па.

Невязка в кольце:  $(403-320)/403 \cdot 100\% = 20,6\% > 15\%$ . Увязку осуществляем подбором настройки ручного радиаторного вентиля по диаграмме каталога фирмы Heimeier. Принимаем настройку №9, при этом потери давления на вентиле составят 90 Па. Невязка в кольце составит:

$$(403-(320+90))/403 \cdot 100\% = -1,7\% < 15\%.$$

Стояк 4, прибор 3 этажа. Участок рассматриваемого кольца – 19. Прибор находится выше прибора 2 этажа на 2,8 м, следовательно, располагаемое естественное давление для циркуляционного кольца через прибор 3 этажа больше на  $P_e = 0,4 \cdot 0,64 \cdot 9,8 \cdot 2,8 \cdot (95-70) = 175$  Па. Участки рассматриваемого кольца 2-9, 16, 17 являются общими с участками циркуляционного кольца через прибор 2 этажа.

Для определения диаметров на участках 19, 20 находим располагаемое давление  $P_{19-20} = \sum (R_{уд}^{\phi} \cdot l + Z)_{15,18} + P_e = 17 + (14 + 90) + 175 = 296 \text{ Па}$ .

Невязка в кольце:  $(296 - 127) / 296 \cdot 100\% = 57\% > 15\%$ . Увязку осуществляем подбором настройки ручного радиаторного вентиля по диаграмме каталога фирмы Heimeier. Принимаем настройку №9, при этом потери давления на вентиле составят 155 Па. Невязка в кольце составит:

$$(296 - (127 + 155)) / 296 \cdot 100\% = 4,7\% < 15\%.$$

Остальные циркуляционные кольца рассчитываются аналогично.

**ПРИМЕР 3.** Произвести гидравлический расчет трубопроводов однострувной тупиковой системы водяного отопления с верхней разводкой и искусственной циркуляцией, присоединенной к тепловым сетям по зависимой схеме со смешительным насосом на перемычке. Давление, передаваемое в СВО из тепловой сети (за вычетом потерь давления в тепловом пункте)  $P = 6000 \text{ Па}$ ; прокладка стояков открытая, трубы стальные водогазопроводные, тепловая нагрузка каждого прибора  $Q_{пр}$  указана на схеме (рис. 12), расчетный перепад температуры воды в системе  $t_r - t_0 = 95 - 70 = 25^\circ \text{ C}$ , расстояние от центра прибора 1 этажа до центра нагрева в тепловом пункте  $h = 1,85 \text{ м}$ , высота этажа – 2,8 м.

Для регулирования теплопередачи отопительных приборов используются прямые ручные радиаторные вентили марки Terpotec фирмы Heimeier. Для гидравлической балансировки СВО у основания стояков применены ручные балансировочные клапаны марки TBV фирмы TA.

**Решение.** Выполнение гидравлического расчета начинаем с определения расчетного циркуляционного давления  $P_p$ , Па. Выбираем главное расчетное циркуляционное кольцо через стояк 4 как наиболее удаленный от теплового пункта и наиболее нагруженный ( $\sum Q_{пр} = 7680 \text{ Вт}$ ).

Разбиваем главное расчетное кольцо на участки, нумеруем участки и указываем на каждом тепловую нагрузку  $Q_{уч}$  ( $Q_{уч} = 1,05 \cdot Q_{пр}$ ) и длину. Длина кольца составляет  $l = 70,9 \text{ м}$ .

Определяем естественное циркуляционное давление, возникающее вследствие охлаждения воды в трубах: при длине трубопроводов от теплового пункта до рассматриваемого стояка 14,5 м  $P_{гтп} = 95 \text{ Па}$  по [6, прил. 4].

Естественное давление в стояке 4, возникающее за счет охлаждения воды в отопительных приборах по формуле (17):

$$P_{пр} = \frac{0,64 \cdot 9,81}{7680} (95 - 70) \cdot (1,855 + 1,85 + (4,65 + 7,45 + 10,25) \cdot 1357 + 1754 \cdot 13,05) = 1158 \text{ Па}$$

Определяем расчетное циркуляционное давление по формуле (14):  $P_p = 6000 + 1158 + 95 = 7253 \text{ Па}$ . Гидравлический расчет производим с использованием второго направления расчета – по методу удельных потерь давления.

Ориентировочная величина удельных потерь давления на трение:

$$R_{уд}^{сп} = \frac{0,65 \cdot P_p}{\sum l} = \frac{0,65 \cdot 7253}{70,9} = 66,5 \text{ Па/м,}$$

где 0,65 – предполагаемая доля потерь давления на трение по длине трубопроводов в системе отопления от общей величины  $P_p$ .

Гидравлический расчет и местные сопротивления приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 - Расчет коэффициентов местных сопротивлений

№ участка	Наименование сопротивления	Коэффициент местного сопротивления	Сумма коэффициентов местных сопротивлений
1	Отвод L 90° (при d=40мм)	0,5	0,5
2	Тройник на ответвлении	1,5	2
	Внезапное сужение	0,5	
3	Тройник на ответвлении	1,5	2,5
	Кран шаровой	1	
4	Тройник на проходе	1	7
	Ø20 3 отвода L 90°	1,5·3	
	Кран шаровой	1	
	Внезапное сужение	0,5	
5	Тройник на ответвлении	1,5	4,5
	Тройник на схождении потоков	3	
6	2 отвода 90°	2·1,5	3
7	Тройник на ответвлении	1,5	4,5
	Тройник на схождении потоков	3	
8	2 отвода 90°	2·1,5	3
9	Тройник на ответвлении	1,5	4,5
	Тройник на схождении потоков	3	
10	2 отвода 90°	2·1,5	3
11	Тройник на ответвлении	1,5	4,5
	Тройник на схождении потоков	3	
12	2 отвода 90°	2·1,5	3
13	Тройник на ответвлении	1,5	4,5
	Тройник на схождении потоков	3	
14	Ручной балансировочный клапан	По данным изготовителя	8
	Тройник на проходе	1	
	Ø20 4 отвода L 90°	1,5·4	
	Внезапное расширение	1	
15	Тройник на противотоке	3	4
	Кран шаровой	1	
16	Тройник на противотоке	3	4
	Внезапное расширение	1	
17	Отвод L 90° (при d=40мм)	0,5	0,5
18	2 Тройника на ответвлении	1,5·2	5,5
	Кран шаровой	1	
	Отвод L 90° (при d=20мм)	1,5	
19	Тройник на ответвлении	1,5	4,5
	Тройник на схождении потоков	3	
20	Тройник на противотоке	3	4,5
	Тройник на ответвлении	1,5	
21	Тройник на ответвлении	1,5	4,5
	Тройник на схождении потоков	3	

Продолжение таблицы 4

22	Тройник на противотоке Тройник на ответвлении	3 1,5	4,5
23	Тройник на ответвлении Тройник на схождении потоков	1,5 3	4,5
24	Тройник на противотоке Тройник на ответвлении	3 1,5	4,5
25	Тройник на ответвлении Тройник на схождении потоков	1,5 3	4,5
26	Тройник на противотоке Тройник на ответвлении	3 1,5	4,5
27	Тройник на ответвлении Тройник на схождении потоков	1,5 3	4,5
28	Тройник на схождении потоков Ø20 2 отвода L 90 <sup>0</sup>	1,5 1,5-2	4,5

Примечание:

Ручной балансировочный клапан в основании стояка 3 не учтен в качестве местного сопротивления, так как с его помощью будет осуществляться увязка циркуляционных колец.

Таблица 5 – Гидравлический расчет однотрубной СВО

№ участка	Тепловая нагрузка Q <sub>т</sub> , Вт	Расход воды на участке G, кг/ч	Длина участка, м	Диаметр, мм	Скорость движения воды, W, м/с	Удельная потеря давления, Па/м	Потери давления на трение, Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений	Динамическое давление, Па	Дополнительные местные сопротивления, Па	Потери давления в местных сопротивлениях, Па	Суммарные потери давления, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	50390	1733	18,1	40	0,365	51,5	932	0,5	65,65	0	33	965
2	26466	910	3,6	25	0,441	141,8	510	2	95,49	0	191	701
3	16304	561	2,5	25	0,272	54,9	137	2,5	36,7	0	92	229
4	8064	277	1,1	20	0,214	43,3	476	7	22,35	0	156	633
5	-	138,5	0,5	15	0,204	59,6	30	4,5	20,47	0	92	122
6	8064	277	3,8	20	0,214	43,3	165	3	22,35	0	67	232
7	-	138,5	0,5	15	0,204	59,6	30	4,5	20,47	0	92	122
8	8064	277	3,8	20	0,214	43,3	165	3	22,35	0	67	232
9	-	138,5	0,5	15	0,204	59,6	30	4,5	20,47	0	92	122
10	8064	277	3,8	20	0,214	43,3	165	3	22,35	0	67	232
11	-	138,5	0,5	15	0,204	59,6	30	4,5	20,47	0	92	122
12	8064	277	3,8	20	0,214	43,3	165	3	22,35	0	67	232
13	-	138,5	0,5	15	0,204	59,6	30	4,5	20,47	0	92	122
14	8064	277	8,5	20	0,214	43,3	368	8	22,35	665	844	1212
15	16304	561	2,5	25	0,272	54,9	137	4	36,7	0	147	284
16	26466	910	4,5	25	0,441	141,8	638	4	95,49	0	382	1020
17	50390	1733	2,5	40	0,365	51,5	129	0,5	65,65	0	33	162
			70,9									6742

Продолжение таблицы 5

18	8240	283	3,6	20	0,219	45,3	163	5,5	23,3	0	128	291
19	-	141,5	0,5	15	0,209	62,1	31	4,5	21,3	0	96	127
20	8240	283	3,8	20	0,219	45,3	172	4,5	23,3	0	105	277
21	-	141,5	0,5	15	0,209	62,1	31	4,5	21,3	0	96	127
22	8240	283	3,8	20	0,219	45,3	172	4,5	23,3	0	105	277
23	-	141,5	0,5	15	0,209	62,1	31	4,5	21,3	0	96	127
24	8240	283	3,8	20	0,219	45,3	172	4,5	23,3	0	105	277
25	-	141,5	0,5	15	0,209	62,1	31	4,5	21,3	0	96	127
26	8240	283	3,8	20	0,219	45,3	172	4,5	23,3	0	105	277
27	-	141,5	0,5	15	0,209	62,1	31	4,5	21,3	0	96	127
28	8240	283	2	20	0,219	45,3	91	4,5	23,3	0	105	195
												2229

Примечания:

1. Расход воды на участках 5, 7, 9, 11, 13 (замыкающий участок)  $\alpha=0,5$ ,  
 $G_4=(1-\alpha) \cdot G_{пр}=(1-0,5) \cdot 277=138,5$  кг/ч. Расход воды на участках 19,21,23,25,27 (замыкающий участок)  $\alpha=0,5$ ,  $G_4=(1-\alpha) \cdot G_{пр}=(1-0,5) \cdot 283=141,5$  кг/ч.

2. По каталогу фирмы ТА принимаем ручные балансировочные клапаны ТВУ диаметром 20 мм (по диаметрам трубопроводов, на которые они установлены). Потери давления в ручных балансировочных клапанах рассчитываются по формуле (24) или определяются по диаграмме каталога фирмы ТА (приложение 5). Принимаем для клапана на стояке 4 настройку №10 (максимально открытый клапан), при этом потери давления на клапане составят 665 Па.

Невязка в главном циркуляционном кольце:  $(7253-6742)/7253 \cdot 100\% = 7\% < 10\%$ .

Далее проведем расчет других циркуляционных колец.

Стояк 3. Участки рассчитываемого кольца – 18-28.

Участки рассчитываемого кольца 1-3, 15-17 являются общими с участками главного циркуляционного кольца. Располагаемое давление:

$$P_{18-28} = \sum (R_{уд}^{\Phi} \cdot (1+Z))_{4-14} + (\Delta P_{пр4} - \Delta P_{пр3}) = 633 + (122 + 232) \cdot 4 + 122 + 1212 + (1158 - 1160) = 3381 \text{ Па.}$$

Естественное давление в стояке 3, возникающее за счет охлаждения воды в отопительных приборах:

$$\Delta P_{пр} = \frac{0,64 \cdot 9,81}{7848} (95 - 70) \cdot ((755 + 1181) \cdot 1,85 + (446 + 907) \cdot (4,65 + 7,45 + 10,25)) + (660 + 1193) \cdot 13,05 = 1160 \text{ Па.}$$

Невязка в кольце:  $(3381 - 2229)/3381 \cdot 100\% = 34\% > 15\%$ .

Для гидравлической увязки у основания стояка установлен ручной балансировочный клапан ТВУ диаметром 20, настройку которого необходимо подобрать. Необходимые потери на клапане  $3381 - 2229 = 1152$  Па. По диаграмме каталога фирмы ТА (приложение 5) принимаем настройку №8, при этом потери давления на клапане составят 1390 Па. Невязка в кольце составит:  $(3381 - (2229 + 1390))/3381 \cdot 100\% = -7\% < 15\%$ .

Остальные циркуляционные кольца рассчитываются аналогично.

## 6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ПУНКТА

Тепловой пункт – это комплекс трубопроводов, запорной арматуры, оборудования и приборов, обеспечивающий присоединение систем отопления, теплоснабжения, вентиляции, горячего водоснабжения к тепловым сетям. Индивидуальный тепловой пункт (ИТП) – тепловой пункт для присоединения систем

теплопотребления одного здания или его части к тепловым сетям. В тепловых пунктах осуществляется: преобразование, регулирование расхода и контроль параметров теплоносителя, распределение его по системам потребления теплоты; отключение систем потребления теплоты; защита местных систем от аварийного повышения параметров теплоносителя; заполнение и подпитка систем потребления теплоты; учет тепла.

В многоквартирных жилых домах следует устанавливать приборы учета теплоты на здание в целом. Прибор учета теплоты (теплосчетчик) состоит из двух датчиков температуры и счетчика воды, которые связаны с вычислительным блоком. Диаметр теплосчетчика подбирается по расчетному расходу теплоносителя,  $G$ , м<sup>3</sup>/ч (т/ч) с учетом потерь давления на приборах учета.

Системы теплопотребления могут подсоединяться к тепловым сетям по зависимой (вода из тепловой сети подается непосредственно в систему) и независимой (вода из тепловой сети подается в теплообменник) схемам.

Зависимые схемы бывают с непосредственным подключением и подключением с узлом смешения, который применяется для понижения температуры воды, поступающей из тепловых сетей, до температуры  $t_r$ , допустимой в системе отопления. Узлы смешения бывают со смесительным насосом; с циркуляционным насосом; с гидравлическим разделителем.

В курсовом проекте следует присоединить систему отопления к наружным тепловым сетям по зависимой схеме присоединения системы отопления со смешением воды при помощи смесительного насоса, включенного в переемычку между подающей и обратной магистралями системы отопления.

Понижение температуры происходит в результате смешения высокотемпературной воды с температурой  $T_r$  с обратной охлажденной до  $t_0$  водой системы отопления. Поток охлажденной воды возвращается из системы отопления, делится на два: первый направляется в обратный теплопровод тепловой сети, а второй поток перемещается по переемычке к точке смешения в подающей магистрали с водой температурой  $T_r$ .

Количество воды  $G_{см}$ , перемещаемой смесительным насосом по переемычке в точку смешения, определяют по формуле:

$$G_{см} = 0.86 \cdot Q_C \cdot \left( \frac{1}{t_r - t_0} - \frac{1}{T_r - T_0} \right), \text{ кг/ч,} \quad (26)$$

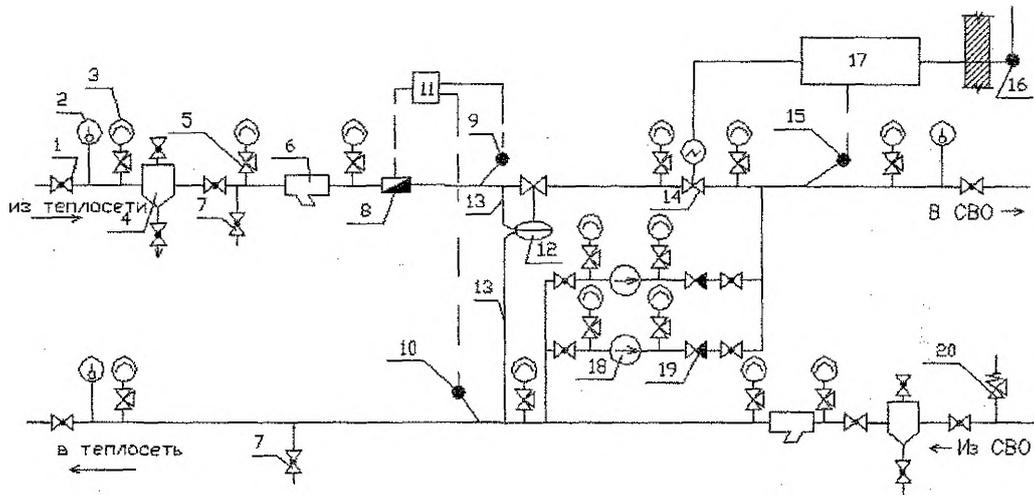
где  $Q_C = 1,07 \cdot Q_{зд}$  – тепловая мощность системы отопления, Вт;

$Q_{зд}$  – общие тепловые потери здания, Вт;

$T_r, T_0$  – температура воды в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, °С;

$t_r, t_0$  – температура воды в подающей и обратной магистралях системы отопления, °С.

Оборудование и запорно-регулирующую арматуру теплового пункта подбирают по каталогам изготовителей. Для выбранного оборудования и арматуры определяют потери давления по формуле (24). Суммируя полученные потери всех элементов получают общие потери давления оборудования ИТП. Схема ИТП при зависимом присоединении системы водяного отопления к наружным тепловым сетям со смесительным насосом, включенным в переемычку, показана на рис. 13.



1 – шаровый кран; 2 – термометр; 3 – манометр; 4 – грязевик; 5 – трехходовой кран; 6 – фильтр; 7 – контрольно-спускной кран;

**теплосчетчик:**

8 – счетчик воды; 9 – датчик температуры горячей воды; 10 – датчик температуры охлажденной воды;  
11 – вычислительный блок; 12 – регулятор перепада давления; 13 – импульсная трубка;

**регулятор теплового потока:**

14 – двухходовой клапан с электроприводом; 15 – датчик температуры горячей воды; 16 – датчик температуры наружного воздуха;  
17 – блок автоматизации; 18 – смесительный насос; 19 – обратный клапан; 20 – предохранительный клапан

**Рисунок 13 – Схема ИТП со смесительным насосом, включенным в перемычку**

## 7. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ

Целью теплового расчета является выбор типа и количества секций (или размера) отопительного прибора. Исходные данные для расчета: тепловая нагрузка прибора, принимаемая равной потерям теплоты помещения за вычетом теплоотдачи теплопроводов, проложенных в этом помещении; расчетные температуры воды  $t_r$ ,  $t_o$ , °С; температура воздуха в отапливаемом помещении,  $t_b$ , °С.

**ПРИМЕР 4.** Определить количество секций чугунных радиаторов 2КП100-90х500 для стояка двухтрубной системы водяного отопления, установленных под окном у наружной стены без ниши под подоконной доской длиной 100 мм в жилой комнате (рис. 14). Температура воды в подающей магистрали  $t_r=95^\circ\text{C}$ , температура обратной воды  $t_o=70^\circ\text{C}$ , температура воздуха в комнате  $101\pm 301$   $t_b=18^\circ\text{C}$ .

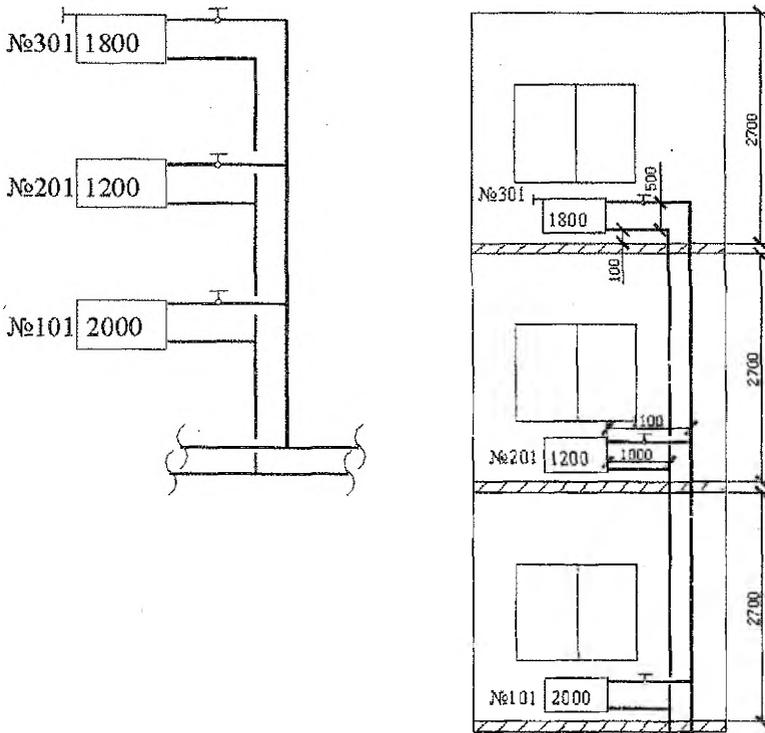


Рисунок 14 – Схема стояка к примеру 4

Длина теплоизолированных магистралей от теплового пункта до рассматриваемого стояка – 26 м, диаметр магистралей 25,32,40 мм по результатам гидравлического расчета; диаметр стояка и подводов – 15 мм.

**Решение.** Суммарное понижение температуры горячей воды на участках подающих теплоизолированных магистралей от теплового пункта до рассматриваемого стояка составляет (потери температуры от основания стояка до рассматриваемого отопительного прибора при выполнении расчетов в курсовом проекте пренебрегаем):

$$\sum \Delta t_m = \Delta t_m \cdot L_m = 26 \cdot 0,04 = 1,04^\circ\text{C}.$$

Ориентировочные значения понижения температуры 1 м изолированной подающей магистрали

$d_w$ , мм	25-40	50
$\Delta t_m$ , °C/м	0,04	0,03

Температура горячей воды на входе в рассматриваемый стояк

$$t_n = t_z - \sum \Delta t_m = 95 - 1,04 = 93,96^\circ\text{C} \approx 94^\circ\text{C}.$$

Расход воды в отопительном приборе вычисляем по формуле:

$$G_{np} = \frac{0,86 \cdot Q_{np} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{t_n - t_o},$$

$Q_{np}$  – тепловая нагрузка прибора, Вт;

$\beta_1$  – коэффициент учета дополнительного теплового потока устанавливаемых отопительных приборов за счет округления сверх расчетной величины [5, табл. 3.1]. Для радиатора 2КП100-90x500 по данным завода-изготовителя определяем номинальный поток одной секции 140 Вт, следовательно  $\beta_1=1,03$ ;

$\beta_2$  – коэффициент учета дополнительных потерь теплоты приборами у наружных ограждений [5, табл. 3.2]. При установке прибора у наружной стены под окном  $\beta_2=1,02$ .

$$\text{Температурный напор: } \Delta t_{cp} = \frac{t_n + t_o}{2} - t_g, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент приведения номинального теплового потока отопительного прибора к расчетным условиям:

$$\phi = \left( \frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t_n} \right)^{1+n} \cdot \left( \frac{G_{np}}{360} \right)^p,$$

$n$  и  $p$  – эмпирические показатели, принимаемые по каталогам производителей [5, табл. 10.3, 10.4].  $n=0,3$ ;  $p=0$  – для приборов помещений 101, 301;  $p=0,02$  – для прибора помещения 201;

$\Delta t_n$  – номинальный температурный напор, равный  $70^\circ\text{C}$  – для приборов отечественного производства,  $60^\circ\text{C}$  или  $50^\circ\text{C}$  – для большинства импортных приборов (см. каталоги производителей);

360 – номинальный расход воды в отопительном приборе при тепловых испытаниях образцов приборов, кг/ч.

Теплоотдача открыто проложенных в пределах помещения теплопроводов (труб, стояка, ветви и подводок):

$$Q_{\text{тп}} = q_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}} + q_{\text{г}} \cdot l_{\text{г}},$$

где  $q_{\text{в}}, q_{\text{г}}$  – теплоотдача 1 м вертикальных и горизонтальных труб, Вт/м ([7], табл. П.22);

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

В нашем случае в подающем теплопроводе  $t_{\text{п}} - t_{\text{в}} = 94 - 18 = 76 \text{ } ^\circ\text{C}$ , в обратном теплопроводе  $t_{\text{п}} - t_{\text{в}} = 70 - 18 = 52 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

$$Q_{\text{тп}}^{101} = (66 \cdot 2,7 + 39 \cdot 2,7) + (86 \cdot 1,1 + 52 \cdot 1) = 430 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{тп}}^{201} = (66 \cdot 2,7 + 39 \cdot 2,7) + (86 \cdot 1,1 + 52 \cdot 1) = 430 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{тп}}^{301} = (66 \cdot 0,6 + 39 \cdot 0,1) + (86 \cdot 1,1 + 52 \cdot 1) = 190 \text{ Вт}.$$

Расчетный требуемый тепловой поток отопительного прибора:

$$Q_1 = Q_{\text{тп}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 - 0,9 \cdot Q_{\text{мп}}, \text{ Вт}.$$

Номинальный требуемый тепловой поток:

$$Q_{\text{ном}} = \frac{Q_1 \cdot \beta_4}{\phi}, \text{ Вт},$$

$\beta_4$  – коэффициент, учитывающий способ установки радиатора в помещении [5, табл. 10.2].  $\beta_4 = 1,02$

Расчетное число секций в радиаторе:

$$n_p = \frac{Q_{\text{н}}}{q_{\text{н}} \cdot \beta_3}, \text{ шт},$$

$q_{\text{н}}$  – номинальный тепловой поток одной секции радиатора, принимаемый по каталогу производителя, Вт/секц. Для радиатора 2КП100-90х500 - 140 Вт;

$\beta_3$  – коэффициент учета числа секций в одном радиаторе.

Число секций	до 15	16-20	21-25
$\beta_3$	1,0	0,98	0,96

Расчет сведен в таблицу 6.

Таблица 6 - Тепловой расчет двухтрубной СВО

№ помещения	Температура воздуха в помещении, °С	Тепловая нагрузка на прибор Q <sub>пр</sub> , Вт	Температура входящей воды в прибор, °С	Температура воды на выходе, °С	Поправочный коэффициент β <sub>1</sub>	Поправочный коэффициент β <sub>2</sub>	Расход воды в приборе G <sub>пр</sub> , кг/ч, кг/с	Температурный напор, °С	Коэффициент приведения φ	Теплоотдача открыто расположенных трубопроводов Q <sub>тр</sub> , Вт	Расчетный требуемый тепловой поток Q <sub>1</sub> , Вт	Номинальный требуемый тепловой поток Q <sub>н</sub> , Вт	Поправочный коэффициент β <sub>3</sub>	Поправочный коэффициент β <sub>4</sub>	Расчетное число секций n <sub>р</sub> , шт	Установочное число секций n <sub>у</sub> , шт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
101	18	2000	94	70	1,03	1,02	75,3	64	0,89	430	1714	1965	1	1,02	14	14
201	18	1200	94	70	1,03	1,02	45,2	64	0,85	430	874	1044	1	1,02	7,5	8
301	18	1800	94	70	1,03	1,02	67,8	64	0,89	190	1720	1971	1	1,02	14,1	14

При округлении расчетного числа секций допускается уменьшение теплового потока Q<sub>н</sub> не более чем на 5 % (но не более чем на 60 Вт). Выполняем расчеты по округлению числа секций:

201 -  $1044 \cdot 7 \cdot 1044 / 7,5 = 70 \text{ Вт} > 60 \text{ Вт}$  – принимаем 8 секций,

301 -  $1971 \cdot 14 \cdot 1971 / 14,1 = 14 \text{ Вт} < 60 \text{ Вт}$ ;  $14 \text{ Вт} \cdot 100\% / 1971 = 0,7\% < 5\%$  – принимаем 14 секций.

**ПРИМЕР 5.** Определить количество секций чугунных радиаторов 2КП100-90x500 для стояка однотрубной системы водяного отопления, установлены под окном у наружной стены без ниши под подоконной доской длиной 100 мм в жилой комнате (рис. 15). Температура воды в подающей магистрали t<sub>г</sub>=95°С, температура обратной воды t<sub>о</sub>=70°С, температура воздуха в комнате 101+301 t<sub>в</sub>=18°С. Длина теплоизолированных магистралей от теплового пункта до рассматриваемого стояка – 26 м, диаметр магистралей 25,32,40 мм по результатам гидравлического расчета; стояка и подводок – 20 мм, смещенного замыкающего участка – 15 мм.

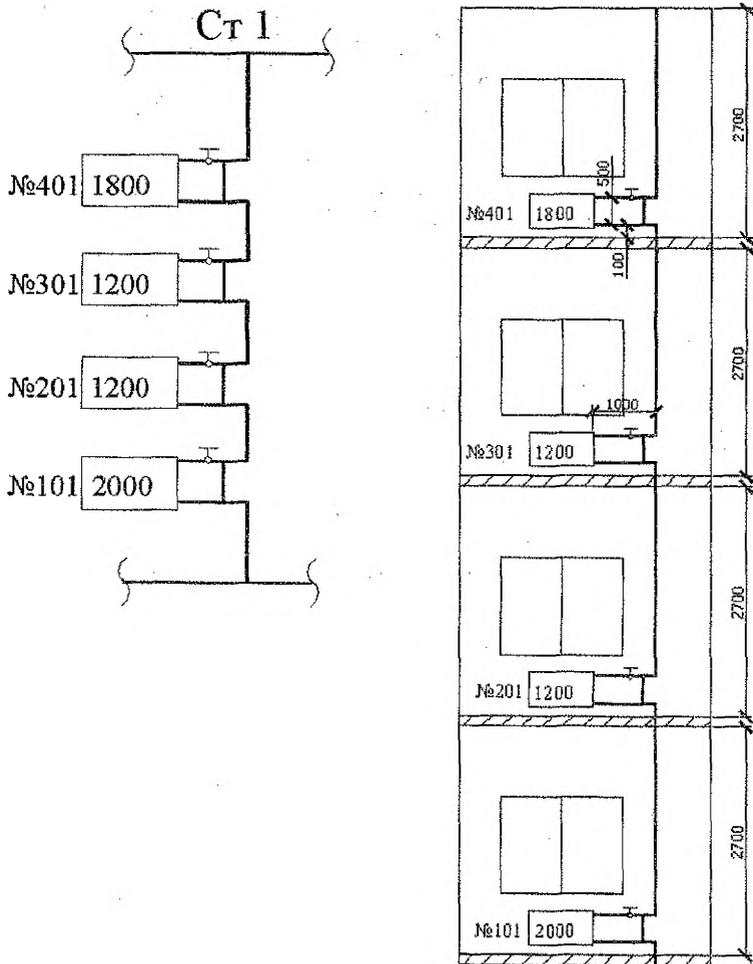


Рисунок 15 – Схема стояка к примеру 5

**Решение.** Суммарное понижение температуры горячей воды на участках подающих теплоизолированных магистралей от теплового пункта до рассматриваемого стояка составляет:

$$\sum \Delta t_m = \Delta t_m \cdot L_m = 26 \cdot 0,04 = 1,04^\circ\text{C}.$$

Температура горячей воды на входе в рассматриваемый стояк

$$t_n = t_e - \sum \Delta t_m = 95 - 1,04 = 93,96^\circ\text{C} \approx 94^\circ\text{C}.$$

Расход воды в стояке вычисляем по формуле:

$$G_{cm} = \frac{0,86 \cdot Q_{cm} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{t_n - t_o},$$

$Q_{cm}$  – тепловая нагрузка стояка (сумма нагрузок всех отопительных приборов на стояке), Вт;

$\beta_1, \beta_2$  – коэффициенты, определяемые также, как и в примере 4.

$$G_{cm} = \frac{0,86 \cdot 6200 \cdot 1,03 \cdot 1,02}{94 - 70} = 233,4 \text{ кг/ч.}$$

Температура воды, поступающей в нагревательный прибор:

$$t_{ex} = t_n - \frac{\sum Q_{npj}}{Q_{cm}} \cdot (t_n - t_o), \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $\sum Q_{npj}$  – 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.

Средняя температура воды в отопительном приборе:

$$t_{cp}^{np} = t_{ex} - \frac{0,43 \cdot Q_{npj} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{\alpha \cdot G_{cm}}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $Q_{npj}$  – тепловая нагрузка прибора, Вт;

$\alpha$  – коэффициент затекания воды в прибор;

$\alpha=1$  и  $\alpha=0,5$  для проточно-регулируемой системы с трехходовыми кранами при одностороннем присоединении прибора к стояку и 2-стороннем, соответственно;

$\alpha=0,5$  и  $\alpha=0,20$  для систем 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  $\alpha=0,33$ , двухстороннем –  $\alpha=0,17$ .

Температурный напор:  $\Delta t_{cp} = t_{cp}^{np} - t_o, \text{ } ^\circ\text{C}.$

Коэффициент приведения номинального теплового потока отопительного прибора к расчетным условиям:

$$\phi = \left( \frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t_n} \right)^{1+n} \cdot \left( \frac{G_{np}}{360} \right)^p;$$

$n$  и  $p$  – эмпирические показатели, принимаемые по каталогам производителей [5, табл. 10.3, 10.4].  $n=0,3$ .

В нашем случае  $\alpha=0,5$  – система со смещенным замыкающим участком при одностороннем присоединении прибора к стояку, следовательно  $G_{np} = G_{cm} \cdot \alpha = 233,4 \cdot 0,5 = 116,7 \text{ кг/ч}$ , значит  $p=0$ .

$\Delta t_H$  – номинальный температурный напор, равный  $70^\circ\text{C}$  – для приборов отечественного производства,  $60^\circ\text{C}$  или  $50^\circ\text{C}$  – для большинства импортных приборов (см. каталоги производителей).

Теплоотдача открыто проложенных в пределах помещения теплопроводов (труб, стояка, ветви и подводок):

$$Q_{\text{тр}} = q_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}} + q_{\text{г}} \cdot l_{\text{г}},$$

где  $q_{\text{в}}, q_{\text{г}}$  – теплоотдача 1 м вертикальных и горизонтальных труб, Вт/м ([7], табл. II.22);

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

при  $94-18=76^\circ\text{C}$  и  $87-18=69^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{тр}}^{401} = (83 \cdot 2,1 + 72 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 66) + (103 \cdot 1 + 92 \cdot 1) = 410 \text{ Вт};$$

при  $87-18=69^\circ\text{C}$  и  $82,4-18=64,4 \approx 64^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{тр}}^{301} = (72 \cdot 2,1 + 65 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 57) + (92 \cdot 1 + 83 \cdot 1) = 361 \text{ Вт};$$

при  $82,4-18=64,4 \approx 64^\circ\text{C}$  и  $77,7-18=59,7 \approx 60^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{тр}}^{201} = (65 \cdot 2,1 + 59 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 52) + (83 \cdot 1 + 77 \cdot 1) = 328 \text{ Вт};$$

при  $77,7-18=59,7 \approx 60^\circ\text{C}$  и  $70-18=52^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{тр}}^{101} = (59 \cdot 2,1 + 50 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 47) + (77 \cdot 1 + 64 \cdot 1) = 293 \text{ Вт}.$$

Расчетный требуемый тепловой поток отопительного прибора:

$$Q_1 = Q_{\text{тр}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 - 0,9 \cdot Q_{\text{пр}}, \text{ Вт}.$$

Номинальный требуемый тепловой поток:

$$Q_{\text{ит}} = \frac{Q_1 \cdot \beta_4}{\varphi}, \text{ Вт},$$

$\beta_4$  – коэффициент, учитывающий способ установки радиатора в помещении, определяемый также, как и в примере 4.

Расчетное число секций в радиаторе:

$$n_p = \frac{Q_{\text{ит}}}{q_n \cdot \beta_3}, \text{ шт},$$

$q_n$  – номинальный тепловой поток одной секции радиатора, принимаемый по каталогу производителя, Вт/секц. Для радиатора 2КП100-90x500 - 140 Вт;

$\beta_3$  – коэффициент учета числа секций в одном радиаторе определяемый также, как и в примере 4.

Расчет сведен в таблицу 7.

Таблица 7 – Тепловой расчет однотрубной СВО

№ помещения																			
		Температура воздуха в помещении, °С																	
		Тепловая нагрузка на прибор Q <sub>пр</sub> , Вт																	
		Суммарная тепловая нагрузка приборов, расположенных выше или ниже рассматриваемого ∑Q <sub>пр</sub> , Вт																	
		Температура входящей воды в прибор, °С																	
		Поправочный коэффициент β <sub>1</sub>																	
		Поправочный коэффициент β <sub>2</sub>																	
		Коэффициент затекания воды α																	
		Средняя температура воды в приборе, °С																	
		Температурный напор, °С																	
		Коэффициент приведения φ																	
		Теплоотдача открыто расположенных трубопроводов Q <sub>тр</sub> , Вт																	
		Расчетный требуемый тепловой поток Q <sub>1</sub> , Вт																	
		Номинальный требуемый тепловой поток Q <sub>н</sub> , Вт																	
		Поправочный коэффициент β <sub>3</sub>																	
		Поправочный коэффициент β <sub>4</sub>																	
		Расчетное число секций n <sub>р</sub> , шт																	
		Установочное число секций n <sub>у</sub> , шт																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
401	18	1800	0	94	1,03	1,02	0,5	87,0	69,0	0,98	410	1522	1581	1	1,02	11,3	11		
301	18	1200	1800	87,0	1,03	1,02	0,5	82,4	64,4	0,90	361	936	1064	1	1,02	7,6	8		
201	18	1200	3000	82,4	1,03	1,02	0,5	77,7	59,7	0,81	328	966	1210	1	1,02	8,6	9		
101	18	2000	4200	77,7	1,03	1,02	0,5	70,0	52,0	0,68	293	1838	2758	0,98	1,02	20,1	20		
		6200																	

Выполняем расчеты по округлению числа секций:

101 – 2758-20-2758/20,1=14Вт<60Вт; 14·100%/2758=0,5%<5% – принимаем 20 секций,

201 – 1210-8-1210/8,6=85Вт>60Вт – принимаем 9 секций,

301 – 1064-7-1064/7,6=84Вт>60Вт – принимаем 8 секций,

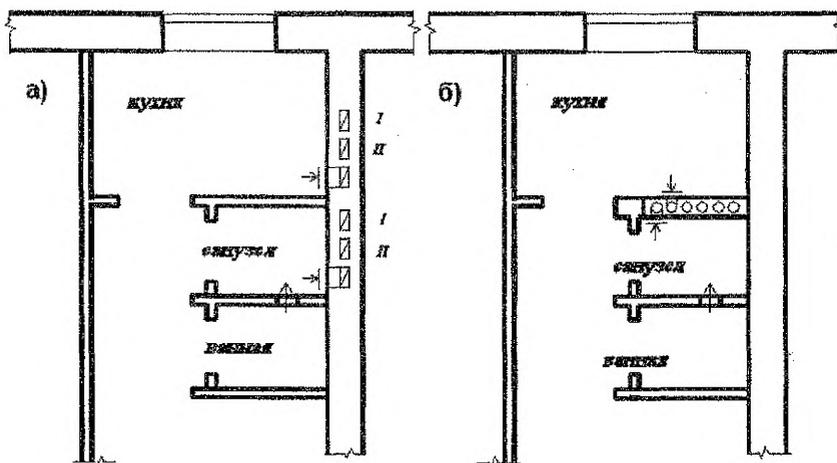
401 – 1581-11-1581/11,3=42Вт<60Вт; 42·100%/1581=2,7%<5% – принимаем 11 секций.

## 8. КОНСТРУИРОВАНИЕ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЫТЯЖНОЙ КАНАЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Вентиляция – это обмен воздуха в помещении для удаления избытков теплоты, влаги, вредных и других веществ с целью обеспечения допустимых метеорологических условий чистоты воздуха. По способу перемещения воздуха системы вентиляции делятся на естественные и механические (искусственные).

В жилых зданиях массовой застройки традиционно выполняется естественная вытяжная вентиляция, которая работает следующим образом: загрязненный воздух удаляется по вентиляционным каналам в атмосферу, а наружный воздух поступает через неплотности окон. Каждое вентилируемое помещение в жилых зданиях высотой до 5 этажей обслуживается самостоятельным вытяжным каналом.

Система естественной вытяжной вентиляции состоит из вертикальных каналов с отверстиями, закрытыми вентиляционными решетками; сборных горизонтальных воздухопроводов; вытяжной шахты с зонтом. На шахте возможна также установка дефлектора – устройства, использующего давление ветра для усиления тяги из вентсистемы. Вентиляционные решетки монтируются для архитектурного оформления входных отверстий вертикальных вентканалов. Вентиляционные каналы устраивают во внутренних кирпичных стенах. Минимальный размер таких каналов  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$  кирпича (140x140 мм). Толщина стенок канала принимается не менее  $\frac{1}{2}$  кирпича. Вентблоки и вентиляционные панели изготавливают с индивидуальными каналами круглого, прямоугольного и овально-го сечения для каждого этажа (рис. 15).



а) во внутренних кирпичных стенах; б) с использованием вентиляционных панелей  
Рисунок 15 – Устройство вентиляционных каналов

В пределах одной квартиры допускается осуществлять удаление воздуха одним каналом с подключением к нему следующих помещений [3]: а) кухня, ванная или душевая; б) уборная, ванная или душевая.

Воздухообмен квартиры должен быть не менее одной из двух величин: суммарной нормы вытяжки из туалетов, ванных комнат и кухни, или нормы притока, равной  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  жилой площади квартиры. Нормируемые воздухообмены приведены в [3] приложение В, табл. В.1 (приложение 3 методических указаний).

Радиус действия естественной системы вентиляции (от оси вытяжной шахты до оси наиболее удаленного отверстия) принимают не более 10 м [4].

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:

$$P_e = h_b \cdot (\rho_{+5} - \rho_0) \cdot g, \text{ Па}, \quad (27)$$

где  $h_b$  – расстояние по вертикали от центра вытяжного отверстия (0,2-0,5 м от потолка помещения) до устья вытяжной шахты, м;

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

$\rho_{+5}$  – удельный вес наружного воздуха для температуры воздуха  $+5^\circ\text{C}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\rho_0$  – плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , воздуха вентилируемого помещения, определяемая по формуле (10).

Для обеспечения нормальной работы естественной вытяжной системы вентиляции необходимо увязать потери давления на трение и в местных сопротивлениях при движении воздуха с располагаемым естественным давлением, т.е. произвести аэродинамический расчет системы.

Сначала определяют воздухообмены  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$  для вентилируемых помещений; предварительные сечения каналов и их количество; компонуют вентиляционную систему.

Предварительные сечения каналов определяют по формуле:

$$F = \frac{L}{W \cdot 3600}, \text{ м}^2, \quad (28)$$

где  $W$  – скорость воздуха в канале,  $\text{м}/\text{с}$ ; (0,4-0,6) $\text{м}/\text{с}$  – для вертикальных каналов верхнего этажа [4].

Последовательность расчета:

1. Выбирают расчетную ветвь системы вентиляции через вентиляционный канал верхнего этажа как наиболее неблагоприятно расположенный по отношению к вытяжной шахте. Определяют естественное давление для расчетной ветви по формуле (27);

2. Уточняют скорость движения воздуха в канале по принятому сечению канала:

$$W = \frac{L}{3600 \cdot F}, \text{ м}/\text{с}; \quad (29)$$

3. Находят эквивалентный по трению диаметр канала для прямоугольного сечения:

$$d_{\text{экв}} = \frac{2 \cdot (ab)}{a + b}, \text{ мм}, \quad (30)$$

где  $a, b$  – размеры сторон прямоугольного канала, мм;

4. Зная эквивалентный диаметр канала и скорость движения воздуха, определяют потери давления на трение  $R$ , Па на 1 погонный метр и динамическое давление  $h_d$ , Па, используя номограмму для расчета круглых стальных воздуховодов [6, рис. 14.9];

5. Определяют потери давления на трение на участке:

$$P_T = R \cdot l \cdot \beta, \text{ Па}, \quad (31)$$

где  $l$  – длина участка, м;

$\beta$  – коэффициент шероховатости, определяемый по [6, табл. 14.3];

6. Определяют потери на трение в местных сопротивлениях, зная  $h_d$  и сумму коэффициентов местных сопротивлений  $\sum \zeta$  [6]:

$$Z = \sum \zeta \cdot h_d; \quad (32)$$

7. Находят суммарные потери давления на участке  $P_T + Z$  и сравнивают с естественным давлением. Необходимо, чтобы выполнялось условие:  $P_T + Z \leq \Delta P_e$  (запас 10-15%). Если условие выполняется, то предварительно полученные площади сечения каналов принимаются как окончательные, если нет – площадь сечения каналов следует изменить (увеличить или уменьшить) и произвести перерасчет.

**ПРИМЕР 6.** Произвести аэродинамический расчет естественной вытяжной канальной системы вентиляции кухни. Жилая площадь квартиры  $F_{\text{жк}} = 30 \text{ м}^2$ . В кухне установлена четырехкомфорочная газовая плита. В квартире имеется ванная и индивидуальная уборная. Схема системы вентиляции изображена на рис. 16. Вентиляционные каналы расположены в кирпичной стене и выводятся на крышу отдельными каналами. Расстояния по вертикали между центром вытяжного отверстия и устьем вытяжной шахты для вентканала на первом этаже  $h_1$  и для вентканала на 2 этаже  $h_2$  показаны на схеме. Температура воздуха в кухне  $t_B = 18^\circ\text{C}$ .

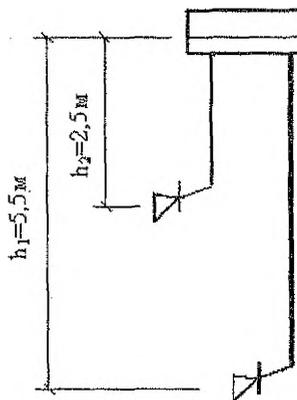


Рисунок 16 – Схема системы вентиляции

Решение. Необходимые воздухообмены (приложение 3 методических указаний) кухни  $L_K=90 \text{ м}^3/\text{ч}$ , санузла  $L_{Су}=25 \text{ м}^3/\text{ч}$ , ванной  $L_B=25 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Воздухообмен по величине жилой площади квартиры:

$$L_{ЖК}=3 \cdot F_{ЖК}=3 \cdot 30=90 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Суммарное количество воздуха, уходящего из кухни  $L_K$ , ванной  $L_B$ , санузла  $L_{Су}$ , должно быть не менее необходимого воздухообмена жилых комнат квартиры:

$$L_K + L_B + L_{Су} \geq L_{ЖК}$$

$$90 + 25 + 25 \geq 90,$$

$140 \geq 90$  – условие выполняется.

Предварительные сечения каналов по формуле (28):

$$F = \frac{90}{0,6 \cdot 3600} = 0,042 \text{ м}^2.$$

Принимаем размер каналов  $\frac{1}{2} \times 1$  кирпича (140x270 мм). Площадь принятого канала  $F=0,14 \cdot 0,27=0,0378 \text{ м}^2$ .

Действительная скорость в канале:

$$W = \frac{90}{3600 \cdot 0,0378} = 0,66 \text{ м/с}.$$

Плотности наружного и внутреннего воздуха по формуле (10):

$$\rho_{+18} = \frac{353}{273 + 18} = 1,213 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \rho_{+5} = \frac{353}{273 + 5} = 1,27 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Естественное давление для каналов каждого этажа по формуле (27).

Для II этажа  $\Delta P_{\text{ен}} = 2,5 \cdot 9,81 \cdot (1,27 - 1,213) = 1,4 \text{ Па}$ .

Для I этажа  $\Delta P_{\text{ен}} = 5,5 \cdot 9,81 \cdot (1,27 - 1,213) = 3,08 \text{ Па}$ .

Расчетную ветвь системы вентиляции выбираем через канал II этажа, как наиболее неблагоприятно расположенного ( $\Delta P_{\text{ен}} < \Delta P_{\text{ен}}$ ). Расчет сведен в таблицу 8.

$$\text{Невязка: } \frac{1,4 - 1,308}{1,4} \times 100 = 6,6\% < 15\%$$

Таблица 8 – Расчет системы вентиляции кухни

№ участка	Расход воздуха, $L$ , м <sup>3</sup> /ч	Длина участка, $h$ , м	Скорость движения воздуха, $W$ , м/с	Линейные размеры воздуховода, (а×б), мм	Площадь поперечного сечения канала, $F$ , м <sup>2</sup>	Эквивалентный диаметр по трению, $d$ , мм	Удельная потеря давления на трение, $R$ , Па/лм	Коэффициент шероховатости, $\beta$	Потери на участке на трение, $R_t$ , Па	Динамическое давление, $h_d$ , Па	Сумма коэффициентов местного сопротивления, $\sum \xi$	Потери давления в местных сопротивлениях, $Z$ , Па	Суммарные потери давления на участке, $R_t + Z$ , Па	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Расчет ветви системы через канал кухни 2 этажа														
1	90	2,5	0,66	140×270	0,038	180	0,048	1,36	0,163	0,25	4,58	1,145	1,308	Вход в вентиляционную решетку с поворотом $\xi=2$ Колено $\xi=1,28$ шахта с зонтом $\xi=1,3$

Потери давления в вентиляционном канале, обслуживающем кухню 1 этажа, определяют аналогично произведенному выше аэродинамическому расчету.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Строительная теплотехника: ТКП 45-2.04-43-2006. – Минск, 2007.
2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03. – Минск, 2004.
3. Жилые здания: СНБ 3.02.04-03. – Минск, 2003.
4. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование. / Под ред. проф. Б.М. Хрусталева. – М.: АСВ, 2007.
5. Покотилов, В.В. Пособие по расчету систем отопления / В.В. Покотилов. – Минск, 2006.
6. Тихомиров, К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция / К.В. Тихомиров, Э.С. Сергеевко. – М.: Стройиздат, 1991.
7. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.1. Отопление / В.Н. Богословский [и др.]; под ред. И.Г. Старовойра и Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1990.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

Таблица 5.1 изменение №1 к [1]

Ограждающие конструкции	Нормативное сопротивление теплопередаче $R_{т.норм.}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт
<b>Жилые и общественные здания</b>	
<b>А Строительство, реконструкция, модернизация</b>	
Наружные стены зданий	3,2
Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами	6,0
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями	2,5
Заполнения световых просмов	1,0

### Приложение 2

Таблица М.3 изменение №4 к [2]

Система отопления и способ регулирования	$\eta_1$
1. Однотрубная система отопления с автоматическими терморегуляторами и с пофасадным авторегулированием на вводе или система поквартирного отопления однотрубная или двухтрубная с горизонтальной разводкой	1
2. Двухтрубная система отопления с автоматическими терморегуляторами и с центральным авторегулированием	0,95
3. Однотрубная система отопления с автоматическими терморегуляторами и с центральным авторегулированием на вводе или однотрубная система без автоматических терморегуляторов и с пофасадным авторегулированием на вводе, а также двухтрубная система отопления с автоматическими терморегуляторами и без авторегулирования на вводе	0,9
4. Однотрубная система отопления с автоматическими терморегуляторами и без авторегулирования на вводе	0,85
5. Система отопления без автоматических терморегуляторов и с центральным авторегулированием на вводе с коррекцией по температуре внутреннего воздуха	0,7
6. Система отопления без автоматических терморегуляторов и без авторегулирования на вводе – регулирование центральное в ЦТП или котельной	0,5
7. Водяное отопление без регулирования	0,2

Приложение 3

Расчетная температура воздуха и кратность воздухообмена в помещениях жилых зданий

Приложение В, табл. В.1[3]

Наименование помещений	Расчетная температура воздуха в холодный период года, °С	Кратность воздухообмена или количество удаляемого воздуха из помещения	
		Приток	Вытяжка
Жилая комната в квартире или в общежитии	18	По расчету для компенсации удаляемого воздуха	3 м <sup>3</sup> /ч на 1 м <sup>2</sup> жилых комнат
Кухня в квартире или общежитии: с электроплитами  с газовыми плитами	18	По расчету для приточно-вытяжной механической вентиляции	Не менее 60 м <sup>3</sup> /ч  Не менее: 60 м <sup>3</sup> /ч – при двухконфорочных плитах; 75 м <sup>3</sup> /ч – при трехконфорочных плитах; 90 м <sup>3</sup> /ч – при четырехконфорочных плитах
Ванная	25	-	25 м <sup>3</sup> /ч
Уборная индивидуальная	18	-	25 м <sup>3</sup> /ч
Совмещенный санитарный узел	25	-	50 м <sup>3</sup> /ч
Совмещенный санитарный узел с индивидуальным нагревом	18	-	50 м <sup>3</sup> /ч
Вестибюль, лестничная клетка, общий коридор в квартирном доме	16	-	-

Примечания:

1. В угловых помещениях квартир и общежитий расчетную температуру воздуха следует принимать на 2 °С выше указанной в таблице.
2. В лестничных клетках домов с поквартирным отоплением температура воздуха нормируется.
3. Расчетная производительность вытяжной вентиляции, определяемая по норме для кухни и санитарных узлов, не должна быть ниже расчетного воздухообмена квартиры, определяемого по норме для жилых комнат.

## Приложение 4

### Расчетные параметры наружного воздуха

Приложение Е табл. Е.1 [2]

Наименование пункта	Расчетная географическая широта, °с.ш.	Барометрическое давление, Па	Период года	Параметры А		Параметры Б		Скорость ветра, м/с	Средняя суточная амплитуда температуры воздуха, °С
				Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг		
<b>Витебская область</b>									
Верхнедвинск	56	1000	Теплый	21,0	47,0	25,6	50,8	2,9	10,8
			Холодный	-11,0	-8,0	-25,0	-24,3	3,8	-
Полоцк	56	1000	Теплый	21,1	47,0	25,7	50,8	2,9	10,9
			Холодный	-11,5	-8,7	-25,0	-24,0	4,1	-
Шарковщина	56	1000	Теплый	21,0	47,0	25,6	50,8	3,3	10,6
			Холодный	-11,5	-8,0	-24,0	-23,4	4,7	-
Витебск	56	990	Теплый	21,1	47,8	25,7	51,4	3,1	10,3
			Холодный	-12,0	-9,4	-25,0	-24,4	4,8	-
Лепель	54	990	Теплый	21,0	47,2	25,6	50,8	2,3	9,9
			Холодный	-11,5	-8,7	-24,0	-23,5	2,9	-
<b>Минская область</b>									
Вилейка	54	990	Теплый	21,4	47,0	26,0	50,6	2,6	11,0
			Холодный	-10,0	-6,7	-24,0	-22,9	3,9	-
Борисов	54	990	Теплый	21,6	47,5	26,2	51,1	2,6	10,8
			Холодный	-11,0	-8,0	-24,0	-23,2	3,8	-
Воложия	54	990	Теплый	20,8	47,0	25,4	50,6	2,8	9,8
			Холодный	-9,5	-6,0	-23,0	-21,9	4,2	-
Минск	54	990	Теплый	21,2	47,2	25,8	50,6	2,6	10,3
			Холодный	-10,0	-6,8	-24,0	-22,7	3,7	-
Марьяна Горка	54	990	Теплый	21,8	48,3	26,4	51,7	3,3	11,4
			Холодный	-11,0	-7,3	-24,0	-22,7	4,3	-
Слуцк	54	1000	Теплый	21,8	48,4	26,4	51,8	3,3	11,3
			Холодный	-9,5	-6,1	-23,0	-21,6	4,8	-
<b>Гродненская область</b>									
Лида	54	1000	Теплый	21,5	47,0	26,1	50,6	3,0	10,9
			Холодный	-9,0	-5,4	-22,0	-20,8	4,0	-
Гродно	54	1000	Теплый	21,7	47,6	26,3	51,4	1,0	10,6
			Холодный	-8,5	-4,7	-22,0	-20,5	5,6	-
Новогрудок	54	980	Теплый	20,3	47,0	24,9	50,6	3,1	9,1
			Холодный	-10,0	-6,0	-21,0	-20,3	5,6	-
Волковыск	54	990	Теплый	22,0	47,6	26,6	51,5	3,3	11,0
			Холодный	-8,5	-4,8	-21,0	-20,4	4,5	-
<b>Могилевская область</b>									
Горки	54	990	Теплый	21,1	48,4	25,7	52,4	3,1	10,6
			Холодный	-12,5	-9,9	-26,0	-25,2	5,3	-
Могилев	54	990	Теплый	21,6	47,8	26,2	51,6	3,7	10,8
			Холодный	-11,5	-8,7	-24,0	-23,2	4,7	-
Славгород	54	1000	Теплый	22,0	49,0	26,6	52,5	3,4	10,6
			Холодный	-11,5	-8,7	-24,0	-23,6	4,4	-
Бобруйск	54	1000	Теплый	22,3	48,8	26,9	52,2	3,2	11,2
			Холодный	-10,5	-7,4	-23,0	-22,2	3,9	-

Продолжение таблицы

Брестская область									
Барановичи	54	990	Теплый	21,9	47,3	26,5	51,2	3,3	10,9
			Холодный	-9,0	-5,4	-22,0	-21,0	4,8	-
Ганцевичи	52	1000	Теплый	22,2	48,5	26,8	52,0	3,4	12,0
			Холодный	-9,0	-5,5	-22,0	-20,8	3,5	-
Пружаны	52	1000	Теплый	22,2	48,5	26,8	52,4	2,5	11,3
			Холодный	-8,0	-4,1	-22,0	-20,5	3,2	-
Брест	52	1000	Теплый	22,6	49,6	27,2	53,0	2,9	10,8
			Холодный	-7,0	-2,8	-21,0	-19,6	3,7	-
Пинск	52	1000	Теплый	22,4	50,0	27,0	53,6	3,6	11,1
			Холодный	-8,5	-4,8	-21,0	-19,9	3,1	-
Гомельская область									
Жлобин	52	1000	Теплый	22,4	49,4	27,0	53,0	2,8	10,9
			Холодный	-10,5	-7,5	-24,0	-22,9	3,6	-
Гомель	52	1000	Теплый	22,3	50,3	26,9	54,0	3,4	10,5
			Холодный	-10,5	-7,5	-24,0	-23,3	4,0	-
Василевичи	52	1000	Теплый	22,8	49,8	27,4	53,7	1,0	11,8
			Холодный	-10,0	-6,9	-23,0	-22,2	3,7	-
Житковичи	52	1000	Теплый	22,5	49,8	27,1	53,4	2,6	11,6
			Холодный	-9,0	-5,6	-22,0	-21,1	3,3	-
Лельчицы	52	1000	Теплый	22,8	50,0	27,4	53,7	1,5	11,8
			Холодный	-9,0	-5,6	-22,0	-20,7	3,6	-
Брагин	52	1000	Теплый	22,5	49,8	27,1	53,6	1,0	11,6
			Холодный	-10,0	-6,8	-22,0	-21,4	4,9	-

## Приложение 5

Диаграммы для подбора ручных балансировочных клапанов

марки TBV фирмы TA

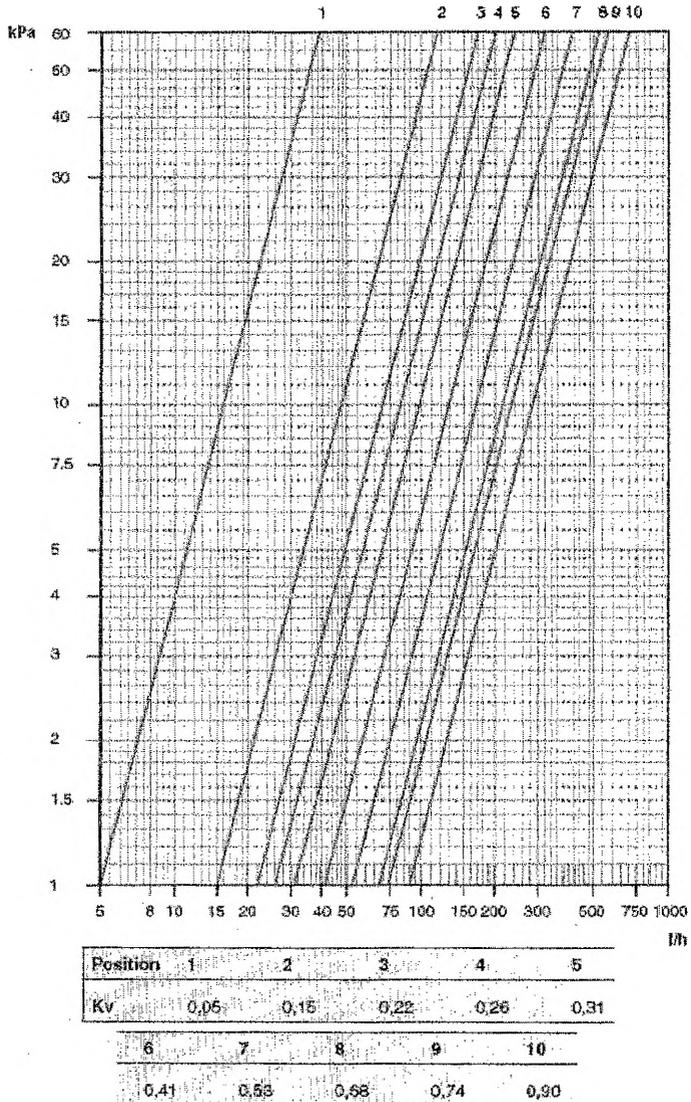
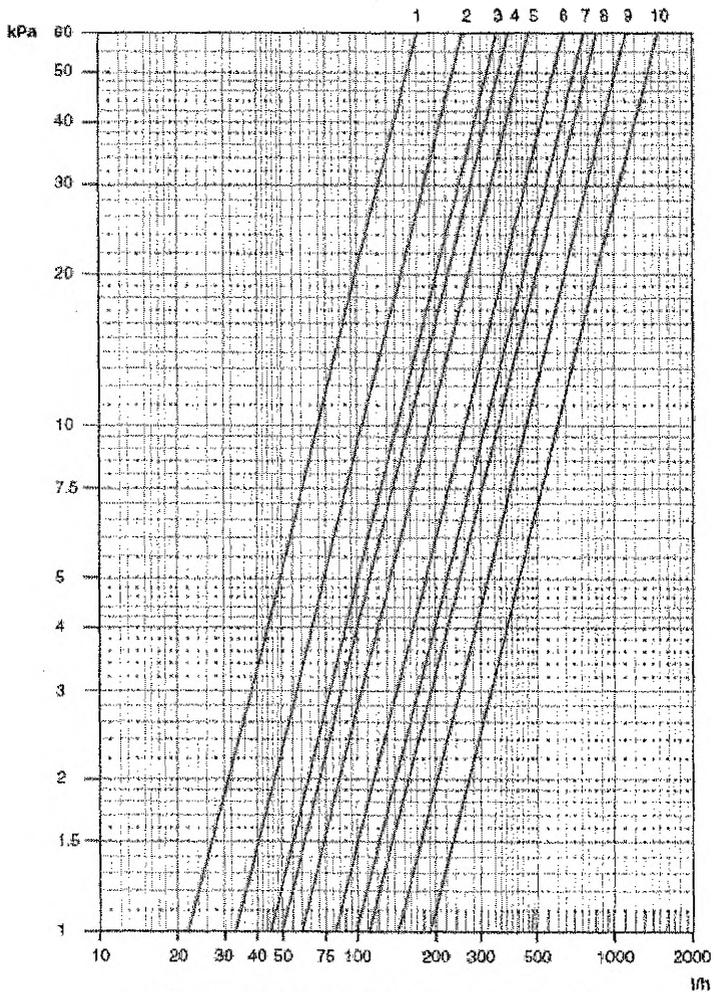


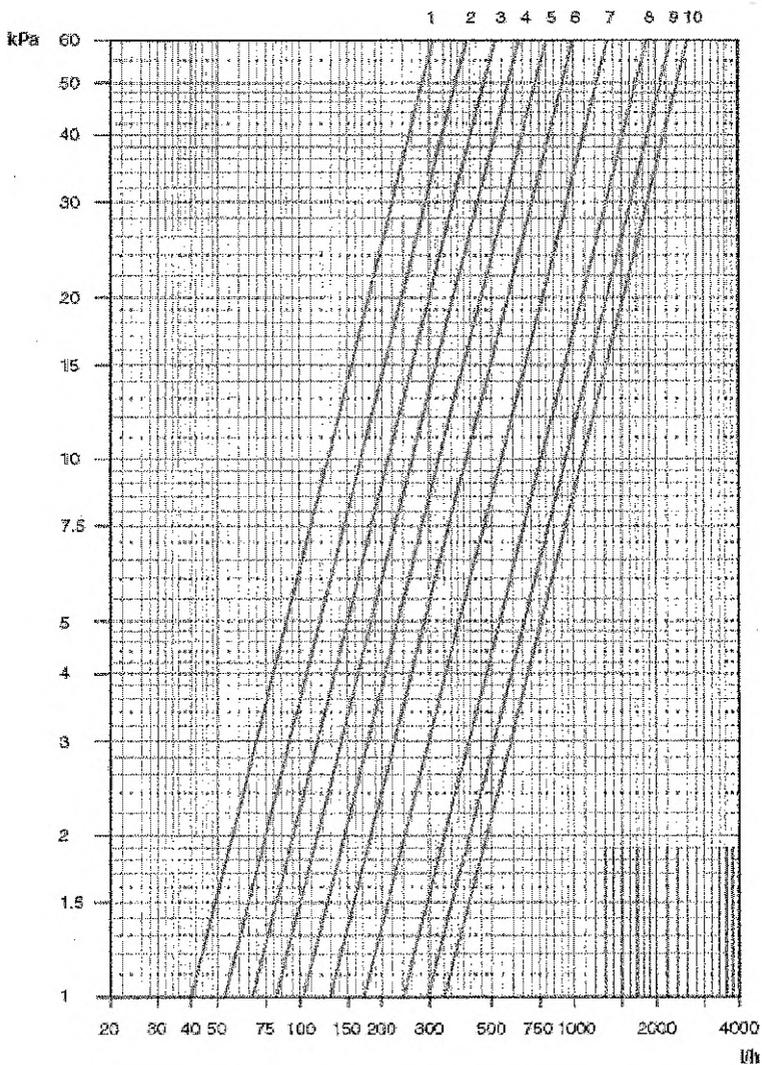
Диаграмма для подбора ручного балансировочного клапана TBV LF (низкий расход)  
(диаметром 15мм)



Posizioni	1	2	3	4	5
Kv	0,22	0,33	0,45	0,50	0,60
6	7	8	9	10	
0,62	0,99	1,11	1,43	1,80	

Диаграмма для подбора ручного балансировочного клапана TBV NF (нормальный расход) (диаметром 15мм)





Position	1	2	3	4	5
Kv	0,40	0,53	0,67	0,82	1,03
	6	7	8	9	10
	1,29	1,72	2,40	2,96	3,40

Диаграмма для подбора ручного балансировочного клапана TBV NF (диаметром 20мм)

Учебное пособие

*Составитель:*  
*Новосельцев Владимир Геннадьевич*

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

для курсового проектирования по дисциплине  
"Отопление" на тему

**"Отопление и вентиляция  
многоквартирного жилого дома"**  
для студентов специальности 70 04 02

Ответственный за выпуск: Новосельцев В.Г.  
Редактор: Боровикова Е.А.  
Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.  
Корректор: Щерба О.В.

---

Подписано в печать 12.07.2013 г. Формат 60x84  $\frac{1}{16}$ . Бумага «Снегурочка».  
Усл. печ. л. 3,48. Уч. изд. л. 3,75. Заказ № 598. Тираж 50 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.