

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра отопления и вентиляции**

**ОТОПЛЕНИЕ  
ГРАЖДАНСКОГО ЗДАНИЯ**

Методические указания  
к выполнению курсового и дипломного проектов

*для студентов специальности 2907  
«Теплогазоснабжение и вентиляция»*

М о с к в а 2009

**С о с т а в и т е л и**  
Профессора, кандидаты технических наук  
**А. Н. Сканава, Л. М. Махов**

**Р е ц е н з е н т ы**  
доцент, кандидат технических наук **Ю. С. Краснов** (МГСУ)  
начальник отдела санитарно-технического оборудования  
**ОАО МОСПРОЕКТ Ю. А. Эпштейн**

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Цели разработки студентами проектов по теме «Отопление гражданского здания» - закрепление полученных теоретических знаний и приобретение навыка проектирования современных систем отопления.

Объектами для курсового и дипломного проектов служат гражданские здания следующих видов: жилые многоэтажные дома с встроенно-пристроенными предприятиями (магазины, предприятия общественного питания, гаражи и т.п.), учебные заведения, гостиницы, административные здания, детские, лечебные учреждения, зрелищные и спортивные сооружения и т.д.

Необходимыми условиями для пользования настоящими методическими указаниями являются предварительная проработка литературы [1...6], лекционного материала по дисциплинам «Архитектура и строительные конструкции», «Теплогенерирующие установки», «Теплоснабжение», «Строительная теплофизика», «Основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха», «Системы отопления», а также выполнение предшествующих курсовых работ и проектов. Студенты в ходе проектирования должны использовать дополнительно необходимую нормативную и справочную литературу, рекомендуемую руководителем-консультантом.

Курсовой и дипломный проекты выполняются каждым студентом на основании индивидуальных заданий, содержащих необходимые для проектирования исходные данные, информацию о последовательности проектирования и объемах проектов.

Курсовое проектирование предусматривает использование студентом результатов, полученных в ходе выполнения работы дисциплине «Строительная теплофизика» и проекта по курсу «Основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха» (тип здания и его планировка, район строительства, теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, экспликация и расчетные теплопотери помещений и здания в целом).

Студент обязан самостоятельно решить и согласовать с руководителем-консультантом основные вопросы проектирования, представив необходимые технико-экономические обоснования, расчеты, материалы по конструированию системы отопления. Консультант оценивает принятые студентом принципиальные решения и выполненные расчеты, объясняет допущенные ошибки.

Законченный курсовой проект, подписанный руководителем-консультантом, передается на рассмотрение комиссии кафедры, которая после защиты студентом основных положений проекта определяет его качество, дает оценку.

## 2. КОНСТРУИРОВАНИЕ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО ПУНКТА

### 2. 1. Расчетное теплотребление системы отопления здания $Q_c$ , Вт

Принимается по данным расчета его теплопотерь:

$$Q_c = k Q_{зд} \beta_1 \beta_2 ,$$

где  $k$  - поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные теплопотери, связанные с охлаждением теплоносителя в магистралях, проходящих в неотапливаемых помещениях (при прокладке обеих магистралей в техподполье или подвале  $k = 1,03$ ; при прокладке одной из магистралей на чердаке

$k = 1,1$ );

$Q_{зд}$  - расчетные теплопотери отапливаемого здания, Вт;

$\beta_1$  - коэффициент учета дополнительного теплового потока отопительных приборов за счет округления их площади сверх расчетной величины, принимаемый по табл.1 прил.12

$\beta_2$  - коэффициент учета дополнительных потерь теплоты приборами, расположенными у наружных ограждений, принимаемый по табл. 2 прил. 12 [1].

## **2. 2. Выбор расчетной температуры воды $t_r$ , °С, подаваемой в систему отопления, в зависимости от ее конструкции, типа отопительных приборов, назначение здания и отапливаемых помещений**

Осуществляется согласно прил. 11 [1]. Температура воды на выходе из системы отопления  $t_0$  принимается равной 70 °С при зависимой схеме присоединения системы отопления к тепловой сети и 65 °С - при независимой схеме.

## **2. 3. Общий расход воды в системе отопления $G_c$ , кг/ч**

Определяется по формуле

$$G_c = 3,6 Q_c / (c (t_r - t_0)), \quad (1)$$

где  $c$  - удельная теплоемкость воды, равная 4,2 кДж/(кг °С).

## **2. 4. Конструкция и состав оборудования теплового пункта. Выбор или расчет параметров, необходимых для гидравлического расчета системы отопления**

Зависят от принятой в проекте схемы присоединения системы отопления к внешней тепловой сети.

### **2. 4. 1. Зависимое присоединение системы отопления к тепловой сети без смешения**

В этом случае циркуляция воды в системе отопления осуществляется за счет разницы давления в точках присоединения системы к тепловой сети, определяемой в соответствии с заданием к курсовому проекту. Насосное циркуляционное давление  $\Delta P_n$ , Па, для гидравлического расчета системы:

$$\Delta P_n = P_1 - P_2 - \Delta P_{тп} - \Delta P_{рр},$$

где  $P_1, P_2$  - давление в точках присоединения системы отопления к соответственно подающей и обратной трубе тепловой сети, Па;

$\Delta P_{тп}$  - потери давления в теплопроводах теплового пункта, Па;

$\Delta P_{рр}$  - потери давления в регуляторе расхода (~ 50000 Па).

Примерная схема теплового пункта представлена на рис.1.\* Пункт оснащается распределительным РК и сборным СК коллекторами, грязевиками Гр, необходимой запорной арматурой, контрольно-измерительными приборами (термометры  $T(t)$ , манометры  $P$ , расходомер или тепломер ТМ). В схеме следует при необходимости предусмотреть ответвления для других теплопотребителей здания (системы вентиляции В, кондиционирования воздуха КВ, горячего водоснабжения ГВ).

Необходимость установки регулятора расхода РР и его расчетная настройка  $\Delta P_{рр}$  определяются по результатам гидравлического расчета системы отопления СО.

Грязевики Гр подбираются по диаметру подводящих труб по табл. 33.13...33.15 [3]. При этом следует проверить скорость движения воды в поперечном сечении корпуса грязевика, которая не должна быть более 0,05 м/с.

## 2. 4. 2. Зависимое присоединение системы отопления к тепловой сети со смешением с помощью насоса

Примерная схема теплового пункта представлена на рис. 2. Выбор основного оборудования и расчет параметров работы аналогичны изложенному в п. 2.4.1.

Для подбора смесительного насоса СН необходимо определить расход воды, поступающей в систему отопления из тепловой сети  $G_{тс}$ , кг/ч:

$$G_{тс} = 3,6 Q_c / (c (T_1 - T_2)),$$

\*Рисунки, на которые в методических указаниях даны ссылки, представлены в приложении к настоящему изданию.

где  $T_1, T_2$  - расчетная температура воды в соответственно подающей и обратной трубе тепловой сети, °С (по заданию к курсовому проекту).

Расход воды в смесительной перемычке схемы соответствует требуемой подаче смесительного насоса  $L_n$ , м<sup>3</sup>/ч:

$$L_n = (G_c - G_{тс}) / \rho_0,$$

где  $\rho_0$  - плотность воды, кг/м<sup>3</sup>, соответствующая температуре  $t_0$  и принимаемая по табл. 1.6 прил. 1 [2].

Требуемое давление смесительного насоса  $\Delta P_{см}$ , Па, определяется разностью давления в точках присоединения смесительной перемычки «а» и «б» в схеме теплового пункта (см. рис. 2):

$$\Delta P_{см} = P_a - P_b,$$

где:  $P_a = P_1 - \Delta P_{тп,1}$ , Па;

$P_b = P_2 + \Delta P_{тп,2}$ , Па,

$\Delta P_{тп,1}, \Delta P_{тп,2}$  - потери давления в теплопроводах теплового пункта от точек присоединения системы отопления к тепловой сети до точек присоединения смесительной перемычки к соответственно подающей и обратной магистрали теплового пункта, Па.

Потери давления в регуляторе температуры РТ можно принять в расчете ~ 50000 Па.

Рекомендации по выбору насоса - см. п. 2.4.4.

Расчетное насосное давление  $\Delta P_n$ , Па, для гидравлического расчета системы отопления в этом случае:

$$\Delta P_n = \Delta P_{см}.$$

## 2. 4. 3. Зависимое присоединение системы отопления к тепловой сети со смешением с помощью водоструйного элеватора

Из-за низкой эффективности, связанной прежде всего с ограниченными возможностями регулирования работы системы отопления в эксплуатационных условиях, схема - рис.3 является наименее предпочтительной.

Основным показателем работы водоструйного элеватора ВЭ является его коэффициент смешения  $u$ :

$$u = 1,15 (T_1 - t_r) / (t_r - t_0).$$

Расчетное насосное давление  $\Delta P_{\text{н}}$ , Па, для гидравлического расчета системы отопления в этом случае определяется по графику на рис. 10.19 [2] в зависимости от величины  $u$  и разности давления в подающей и обратной магистрали элеваторного узла (см. рис. 3) до точки смешения  $\Delta P_{\text{см}}$ , Па (см. п. 2.4.2).

Тип и конструкция элеватора выбираются после выполнения гидравлического расчета системы отопления по табл. 32.9, 32.10 [3]. Для этого по величине расчетного расхода воды  $G_c$ , кг/с, и фактических потерь давления  $\Delta P_c$ , МПа, в рассчитываемой системе отопления определяются оптимальные размеры элеватора, мм:

- диаметр горловины  $d_r = 5,3 (G_0^2 / \Delta P_c)^{0,25}$ ;
- диаметр отверстия сопла  $d_c = d_r / (1 + u)$ .

#### 2. 4. 4. Независимое присоединение системы отопления к тепловой сети

Сначала в выбранном помещении теплового пункта необходимо определить места установки основного оборудования: распределительного (РК1) и сборного (СК1) коллекторов высокотемпературной воды, водоводяного теплообменника системы отопления (ВВТ), группы циркуляционных насосов (ЦН), распределительного (РК2) и сборного (СК2) коллекторов системы отопления.

В качестве водоподогревателя в проекте рекомендуется принять водоводяной скоростной теплообменник по ОСТ 34-588-68, конструктивные характеристики которого следует принимать по табл. 14.14 [3]. Размеры теплообменника выбирают при условии, что греющая вода пропускается по трубкам, а нагреваемая вода системы отопления - по межтрубному пространству. При выборе длины секции теплообменника (2 или 4 м) следует исходить из возможностей его размещения в тепловом пункте.

Предварительный выбор теплообменника делается по ориентировочной величине его площади поверхности нагрева  $A'$ ,  $\text{м}^2$ :

$$A' = Q_c / (K'_{\text{то}} \Delta t_{\text{то}}),$$

где  $K'_{\text{то}}$  - ориентировочный коэффициент теплопередачи теплообменника, принимаемый равным  $\sim 1250 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ ;

$\Delta t_{\text{то}}$  - средняя разность температуры воды в теплообменнике,  $^\circ\text{C}$ :

$$\Delta t_{\text{то}} = ((T_1 - t_r) - (T_2 - t_0)) / (2,3 \lg((T_1 - t_r) / (T_2 - t_0))).$$

По величине  $A'$  выбирается теплообменник и определяются его основные конструктивные характеристики: площадь поверхности нагрева  $A'$ ,  $\text{м}^2$ , и длина одной секции  $l_1$ , м; их количество  $n$ , наружный  $d_n$  и внутренний  $d_v$  диаметры трубок, м; их количество в одной секции  $z_1$ , площадь живого сечения трубок  $f_{\text{тр}}$ ,  $\text{м}^2$ , и межтрубного пространства  $f_{\text{м.тр}}$ ,  $\text{м}^2$ , а также внутренний диаметр корпуса теплообменника  $D_v$ , м.

Определяется действительный коэффициент теплопередачи выбранного теплообменника  $K_{\text{то}}$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ :

$$K_{\text{то}} = \mu \alpha_1 \alpha_2 / (\alpha_1 + \alpha_2),$$

где  $\mu$  - коэффициент, учитывающий накипь и загрязнение на поверхности трубок и принимаемый равным 0,75;

$\alpha_1, \alpha_2$  - коэффициенты теплообмена на соответственно внутренней и наружной поверхности трубок теплообменника,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ .

Формула для определения коэффициента теплообмена имеет общий вид

$$\alpha = 1,16 (1400 + 18 t_{cp} - 0,035 t_{cp}^2) w^{0,8} / d^{0,2},$$

где  $t_{cp}$  - средняя температура теплоносителя, °C;

$w$  - скорость воды, м/с;

$d$  - эквивалентный диаметр, м.

Указанные расчетные параметры определяются по следующим формулам:

для трубного пространства:

$$\begin{aligned} t_{cp} &= 0,5(T_1 + T_2), \\ w &= G_{TC} / (3600 \rho f_{TP}), \\ d &= d_b; \end{aligned}$$

для межтрубного пространства:

$$\begin{aligned} t_{cp} &= (0,5(t_r + t_o)), \\ w &= G_o / (3600 \rho f_{M.TP}), \\ d &= (D_b^2 - z_1 d_n^2) / (D_b + z_1 d_n), \end{aligned} \quad (3)$$

В формулах (2) и (3) плотность воды  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, принимается соответствующей температуре  $t_{cp}$  по табл. 1.6 прил. 1 [2].

Действительная теплоотдающая способность теплообменника  $Q_{то}$ , Вт, составит:

$$Q_{то} = K_{то} n A_1 \Delta t_{cp}.$$

Требуемый запас величины  $Q_{то}$  по отношению к величине  $Q_c$  должен составлять не менее 10 %, что является подтверждением правильности выбора конструкции теплообменника. В противном случае необходимо выбрать другую его конструкцию и повторить проверочный расчет.

Потери давления в межтрубном пространстве теплообменника  $\Delta P_{то}$ , Па, составят:

$$\Delta P_{то} = 10^4 A w^2 n,$$

где  $A$  - коэффициент, принимаемый в зависимости от конструкции принятого теплообменника по табл. 14.16 [3].

Принципиальная схема теплового пункта при независимом присоединении системы отопления к тепловой сети представлена на рис. 4. В соответствии с ней, а также с учетом размещения основного оборудования и реальных размеров конструируется и вычерчивается в аксонометрической проекции (М 1:20) действительная схема теплового пункта. При этом необходимо предусмотреть:

- запорно-регулирующую арматуру на всех ответвлениях и в местах установки основного оборудования;
- точки спуска воды и удаления воздуха, оснащенные необходимой арматурой;
- подключение к схеме труб от расширительного бака РБ;
- узел подпитки системы отопления водой из тепловой сети;
- контрольно-измерительные приборы, включая узел учета теплопотребления.

Распределительные и сборные коллекторы проектируются с учетом всех возможных теплопотребителей здания. Выбор грязевика Гр - см. п. 2.4.1. В насосной группе устанавливается два циркуляционных насоса ЦН - основной и резервный, каждый из которых выбирается на полную подачу воды в системе отопления. После каждого из насосов устанавливается обратный клапан ОК (см. рис.2, 4).

Гидравлический расчет для участков теплопроводов в пределах теплового пункта проводят от сборного коллектора СК2 через грязевик, один из насосов, теплообменник до распреде-

лительного коллектора РК2. В точках присоединения труб к коллекторам и теплообменнику учитывают потери давления при внезапном сужении или расширении потоков при выходе или входе воды. Диаметры труб выбираются в зависимости от их общей тепловой нагрузки при скорости движения воды 1...1,5 м/с.

Для обеспечения циркуляции воды в системе отопления применяются бесшумные насосы, закрепляемые непосредственно на трубах без фундамента. К ним относятся отечественные насосы типа ЦВЦ или импортные, например, типа UP фирмы «Grundfos» (Германия). В случае выполнения гидравлического расчета системы отопления методом, при котором насосное давление известно, выбор марки циркуляционного насоса осуществляется в процессе конструирования теплового пункта по заводской рабочей характеристике насоса. При этом по величине подачи насоса  $L_{\text{цн}}$ , м<sup>3</sup>/ч, соответствующей расчетному расходу воды в системе отопления  $G_0$ , и температуре теплоносителя  $t_r$  или  $t_0$  в магистрали, на которой установлен циркуляционный насос (установка импортного насоса допускается на подающей магистрали), определяется его расчетное давление  $\Delta P_{\text{цн}}$ , Па. Марка насоса выбирается из условия обеспечения в его рабочей точке максимально возможного КПД -  $\eta_{\text{цн}}$ . Определяется установочная мощность электродвигателя насоса  $N_{\text{э}}$ , Вт:

$$N_{\text{э}} = K L_{\text{цн}} \Delta P_{\text{цн}} / (3600 \eta_{\text{цн}}),$$

где  $K$  - коэффициент запаса мощности, принимаемый по табл. 20.2 [3].

Расчетное насосное давление  $\Delta P_{\text{н}}$ , Па, для последующего гидравлического расчета системы отопления при независимой схеме ее присоединения к тепловой сети определяется по формуле

$$\Delta P_{\text{н}} = \Delta P_{\text{цн}} - \Delta P_{\text{то}} - \Delta P_{\text{тп}},$$

где  $\Delta P_{\text{тп}}$  - потери давления в трубах теплового пункта, Па.

Марку циркуляционного насоса ЦН необходимо выбрать (по согласованию с руководителем - консультантом проекта) таким образом, чтобы величина  $\Delta P_{\text{н}}$  в зависимости от мощности и конструкции системы отопления составила 20...40 кПа.

В том случае, когда гидравлический расчет производится методом, при котором диаметры труб системы отопления принимаются по допустимой скорости теплоносителя, марку циркуляционного насоса выбирают после определения фактических потерь давления в системе -  $\Delta P_{\text{с}}$ , Па. Расчетное давление насоса  $\Delta P_{\text{цн}}$ , Па, при этом определяется по формуле

$$\Delta P_{\text{цн}} = \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{то}} + \Delta P_{\text{тп}} - \Delta P_{\text{е}},$$

где  $\Delta P_{\text{е}}$  - естественное циркуляционное давление, возникающее в системе отопления, Па, и определяемое согласно п. 5. 2.

Расчет объема открытого расширительного бака РБ производится в соответствии с указаниями в п. 10.6.8 [2], его выбор - согласно п. 33.4, 33.6 [3]. Расчет и выбор закрытого расширительного бака осуществляется по рекомендациям фирмы-производителя.

Подпитывают систему отопления водой из обратной магистрали тепловой сети. При конструировании узла подпитки следует убедиться, что давление  $P_2$ , Па, обеспечит заполнение системы, т.е. будет выше минимально допустимого значения  $\Delta P_{\text{мин}}$ , Па. В противном случае помимо регулятора подпитки РП узел оснащается подпиточным насосом ПН. Насос выбирают с относительно малой подачей и давлением  $\Delta P_{\text{пн}}$ , Па, равным:

$$\Delta P_{\text{пн}} = \Delta P_{\text{мин}} - P_2 = (9,81 \rho H + \Delta P_{\text{зап}}) - P_2,$$

где  $\rho$  - плотность воды, соответствующая температуре  $T_2$ , кг/м<sup>3</sup>;

$H$  - высота системы отопления от уровня установки под-питочного насоса (в системе с открытым расширительным баком до его контрольного уровня - 0,3 м от дна бака), м;

$\Delta P_{\text{зап}}$  - запас давления, принимаемый равным 10000 Па (только в системе отопления с закрытым расширительным баком).

### **3. ВЫБОР И РАЗМЕЩЕНИЕ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

В курсовом проекте в качестве отопительных приборов рекомендуется применять отечественные приборы, технические характеристики которых представлены в табл. X.1 прил. X [2]. Следует придерживаться одного типа отопительного прибора для всего здания кроме случаев, когда выбор другого типа для каких-то особых помещений, например, лестничной клетки, вестибюля, гаража, помещения с ленточным остеклением и т.п., достаточно обоснован.

Выбор отопительного прибора определяется прежде всего санитарно-гигиеническими требованиями к помещениям здания. В зданиях с повышенными требованиями (детские, лечебные учреждения, предприятия общественного питания) следует применять приборы с гладкой, хорошо очищаемой от пыли поверхностью, например, стальные панельные (типов РСВ, РСГ) или чугунные (только типа МС) радиаторы.

В помещениях гражданских зданий, рассчитанных на постоянное или длительное пребывание людей (жилые и административные здания, гостиницы, учебные заведения, спортивные и зрелищные сооружения) могут устанавливаться, отопительные приборы любого типа: радиаторы или конвекторы.

При выборе типа отопительного прибора следует иметь в виду, что его длина в зданиях с повышенными санитарно-гигиеническими требованиями должна быть, как правило, не менее 75 %, а в других зданиях - не менее 50 % длины светового проема. Предварительно проверить это возможно по величине номинального теплового потока выбранного типа прибора.

Отопительные приборы располагают преимущественно под световыми проемами (под витринами и витражами - по всей их длине). При этом вертикальную ось прибора и оконного проема совмещают (допустимое отклонение не более 50 мм). В жилых и административно-бытовых зданиях, гостиницах, общежитиях возможно смещение приборов от оси проемов с целью унификации приборных узлов. Вертикальные приборы размещают по возможности ближе к полу помещения (зазор между низом прибора и чистым полом не менее 60 мм).

В лестничных клетках малоэтажных зданий (до трех этажей) отопительные приборы устанавливают, как правило, на первом этаже или в подвальной части, если таковая имеется. В случае невозможности разместить все приборы в одном месте часть их (20-30 % от их общей расчетной площади) переносят на площадку между первым и вторым этажами.

В помещениях, не имеющих вертикальных наружных ограждений (например, во внутренних коридорах), приборы не устанавливают, а теплопотери этих помещений относят к теплопотерям смежных с ними помещений с наружными ограждениями.

Более подробные указания по размещению отопительных приборов - см. [2, 4].

Приборы наносят на планы этажей в виде прямоугольников в соответствии с изображением типа прибора по ГОСТ (рис. 5).

### **4. ВЫБОР И КОНСТРУИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ**

Перед конструированием систем отопления необходимо определиться с их количеством в здании. Количество систем зависит от архитектурно-планировочного решения здания, числа ярко выраженных самостоятельных корпусов и блоков, часто имеющих к тому же разную этажность. Даже в здании с простой планировкой с целью повышения надежности количество систем отопления можно увеличить. Некоторые типы зданий могут иметь помещения с особым

тепловоздушным режимом, система отопления которых должна быть самостоятельной, не связанной с основной системой (например, зрительные и спортивные залы, торговые залы магазинов и предприятий общественного питания, встроенные гаражи и т.п.).

Выбор конструкции системы отопления также связан, прежде всего, с архитектурно - планировочными особенностями здания. От наличия или отсутствия чердака (технического этажа) будет зависеть место прокладки подающей магистрали (верхняя или нижняя разводка).

В многоэтажных зданиях рекомендуется применять однотрубные стояки — проточные (при использовании в качестве отопительных приборов конвекторов с воздушной регулирующей заслонкой), проточно-регулируемые или с замыкающими участками (осевыми или смещенными), а также двухтрубные стояки при использовании у отопительных приборов термостатических клапанов.

В зданиях до трех этажей целесообразно применять двухтрубные стояки. При этом следует учитывать, что в этом случае не рекомендуется применять в качестве отопительного прибора конвектор, имеющий низкую тепловую эффективность при малом расходе теплоносителя.

Для отопления помещений большой площади, особенно при наличии в них ленточного остекления или витражей, применяют систему с горизонтальными (однотрубными или двухтрубными) или бифилярными ветвями и низкими отопительными приборами.

Выбор схемы движения воды в магистралях (попутная или тупиковая) связан, прежде всего, с возможностью обеспечить гидравлическую устойчивость работы системы отопления.

Тупиковая схема применяется с однотрубными стояками, имеющими большое гидравлическое сопротивление. Необходимо стремиться к тому, чтобы тупиковые ветви были как можно короче и включали не более четырех стояков (в противном случае потребуется достаточное обоснование).

При большом количестве стояков, а также для двухтрубной системы отопления следует применять схему с попутным движением воды в магистралях. В любом случае окончательный выбор схемы и проверка выполнения условий для обеспечения устойчивой работы осуществляются в ходе гидравлического расчета системы отопления.

При наличии в здании нескольких систем отопления они могут иметь различные конструкции как по схеме разводки теплопроводов, так и по типу применяемого отопительного прибора.

Возможные варианты размещения и обозначения на планах этажей здания отопительных приборов, подводок к ним, стояков и магистралей представлены на рис.5.

Как правило, применяется одностороннее присоединение труб к приборам. По возможности приборный узел стремятся унифицировать, если в здании допускается некоторое смещение оси прибора от оси окна. Разностороннее присоединение труб выполняется в случае прохождения магистралей непосредственно под прибором, его размещения ниже уровня прокладки магистралей или при последовательном соединении в одном помещении нескольких приборов. Не следует путать подобное соединение с соединением на «сцепке», когда при одностороннем присоединении труб к прибору (как правило, секционному радиатору) с ним допускается соединять второй прибор, установленный в том же помещении на расстоянии не более 1,5 м от первого. Диаметры соединительных труб при этом должны быть не менее диаметра входного отверстия прибора (25...32 мм). Присоединение приборов, устанавливаемых в несколько ярусов или рядов (конвекторы без кожуха, гладкие или ребристые трубы), выполняется, как правило, по последовательной схеме при движении воды сверху вниз. На подающей подводке к отопительному прибору устанавливается регулировочный кран, соответствующий выбранной схеме стояка. На выходе из прибора - специальный отключающий кран, дающий возможность при необходимости демонтировать прибор в действующей системе отопления. С помощью этого крана может быть осуществлена также монтажная регулировка системы отопления.

Прежде всего располагают стояки в наружных углах помещений, затем размещают остальные стояки с одно- или двухсторонним присоединением к ним отопительных приборов. Двухстороннее присоединение предпочтительнее, так как при этом сокращается число стояков и увеличивается их гидравлическое сопротивление. Отдельно размещают стояки лестничных

клеток, в которых приборы соединяются по проточной схеме без кранов. Стояки наносят на поэтажные планы в виде жирной точки (в двухтрубных системах изображают только подающий стояк), соединяют их с приборами одной (подающей) подводкой и нумеруют, начиная с левого верхнего угла здания, по часовой стрелке (Ст.1, Ст.2 и т.д.). Номера стояков помечают на всех планах по их оси снаружи здания. При системе отопления с верхней разводкой или с опрокинутой циркуляцией на всех планах отмечают размещение главного стояка (Г.ст.).

Магистралы всех систем отопления здания начинаются в тепловом пункте от распределительного коллектора РК2 и заканчиваются в сборном коллекторе СК2. Подающая магистраль на чердаке или верхнем техническом этаже (при верхней разводке, рис. 6) прокладывается на высоте 200...300 мм от верха перекрытия, на расстоянии от 1 до 1,5 м от наружных стен и соединяется с нанесенными на план стояками. В верхних точках, как правило на предпоследних участках отдельных ветвей системы с верхней разводкой подающей магистрали, намечаются места размещения проточных горизонтальных воздухоотборников, которые подбираются в соответствии с указаниями п. 33.1...33.3 [3]. В системе с «опрокинутой циркуляцией» у главного стояка устанавливают вертикальный воздухоотборник. На магистрали указываются величина и направление уклона труб от воздухоотборника, а также места установки запорной арматуры для отключения отдельных ветвей системы отопления.

Прокладка магистралей в подвале или техническом подполье здания (рис.7) осуществляется, как правило, под потолком, на расстоянии 500...600 мм от низа перекрытия с целью обеспечить место для размещения запорной арматуры стояков. В системе с нижней разводкой магистрали наносятся условно рядом (подающая — ближе к наружной стене), указываются величина и направление их уклона к тепловому пункту. В местах отключения отдельных ветвей системы наносится запорная арматура. Все магистрали обозначаются сплошной линией с указанием в ее разрыве их назначения (Т1 - подающая, Т2 - обратная).

Если в системе отопления есть расширительный бак, то он наносится в месте его установки (на чердаке или при его отсутствии в специальном помещении на крыше здания, над тепловым пунктом). На поэтажных планах указываются места прокладки труб от бака в тепловой пункт (в штробе одной из внутренних стен),

Схему системы отопления разрабатывают во фронтальной аксонометрической проекции (без искажения размеров) в масштабе М1:100, начиная от распределительного и кончая сборным коллектором (пример на рис.8).

Отопительные приборы на схеме изображают в виде прямоугольников (параллелограммов), длина каждого из которых должна соответствовать принятой на планах, а высота и расстояние между подводками - конструктивным размерам приборов. Подводки к приборам показывают без уток (если они есть). При изображении присоединений двухсторонних подводок к угловым стоякам показывают изгиб одной из пары подводок. В случаях, когда взаимное наложение стояков затрудняет изображение и рассмотрение схемы, отдельные стояки или ветви переднего фасада здания смещают по отношению к стоякам заднего фасада, условно обрывая трубы и помечая буквами места обрывов. При изображении двухтрубных стояков подающий стояк вычерчивают справа при взгляде из помещения. На схеме изображают воздухоотборники с воздухоотводчиками (если они есть), регулирующие (у приборов), запорные, спускные, воздушные краны, задвижки и другую арматуру. Фасонные части трубной разводки на схеме не показывают. Для стояков лестничных клеток, а также стояков в зданиях свыше трех этажей показывают типовой узел присоединения этих стояков к магистралям с необходимой арматурой. В разрыве труб магистралей указывают их назначение (Т1, Т2), а также направление и величину уклона. Часто повторяющуюся величину уклона можно указать только в примечании к схеме системы отопления.

## **5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ**

### **5.1. Подготовка схемы системы отопления для гидравлического расчета**

Оформление схемы системы отопления (см. рис. 8) начинают с распределения тепловой нагрузки по отопительным приборам. Для этого используются результаты расчета теплопотерь помещений здания из курсового проекта по дисциплине «Основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха». Тепловые нагрузки приборов  $Q_{пр}$ , Вт, равные теплопотерям, записывают на схеме над прямоугольниками, изображающими отопительные приборы, округляя их значения до десяти. Если в помещении размещено несколько приборов, то теплопотери помещения распределяют по ним равномерно. В стояках лестничных клеток, где установлено по вертикали несколько приборов, максимальную нагрузку (70...80 %) задают нижним приборам.

Все стояки на схеме нумеруют в соответствии с их нумерацией на поэтажных планах (Ст.1, Ст.2 и т.д.). Под номером стояка указывают его суммарную тепловую нагрузку  $Q_{ст}$ , Вт, как сумму тепловых нагрузок всех к нему присоединенных отопительных приборов. В суммарные тепловые нагрузки стояков не включают нагрузки отопительных приборов, размещенных в помещениях отапливаемых подвалов, учитывая, что их теплоснабжение осуществляется охлажденной в стояке водой. Правильность нагрузки системы отопления подтверждается совпадением суммы нагрузок всех стояков  $\sum Q_{ст}$  с общими теплозатратами на отопление здания  $Q_c$ .

## 5. 2. Расчетное циркуляционное давление в системе отопления

В том случае, когда гидравлический расчет системы отопления выполняется при условии, что давление для создания циркуляции воды в системе в расчетных условиях  $\Delta P_p$ , Па, является заданным, оно определяется по следующим формулам:

- в вертикальной однострунной системе с верхней разводкой подающей магистрали или с «опрокинутой» циркуляцией воды:

$$\Delta P_p = \Delta P_n + \Delta P_{e.пр} + \Delta P_{e.тр}; \quad (4)$$

- то же с нижней разводкой обеих магистралей:

$$\Delta P_p = \Delta P_n + \Delta P_{e.пр}; \quad (5)$$

- в двухтрубной или горизонтальной однострунной системе с верхней разводкой:

$$\Delta P_p = \Delta P_n + 0,4 (\Delta P_{e.пр} + \Delta P_{e.тр});$$

- то же с нижней разводкой:

$$\Delta P_p = \Delta P_n + 0,4\Delta P_{e.пр},$$

где  $\Delta P_n$  - насосное циркуляционное давление, Па, определяемое согласно п.2. 4;

$\Delta P_{e.пр}$  - естественное циркуляционное давление, возникающее вследствие охлаждения воды в отопительных приборах, Па;

$\Delta P_{e.тр}$  - естественное циркуляционное давление, возникающее вследствие охлаждения воды в трубах системы отопления, Па.

Естественное циркуляционное давление определяется согласно указаниям в п. 10. 7 [2] и учитывается в расчете только в том случае, если его суммарная величина больше, чем  $0,1 \Delta P_n$ .

### 5. 3. Гидравлический расчет системы отопления по удельным линейным потерям давления

Представленный ниже алгоритм гидравлического расчета относится к случаю, когда расчетное циркуляционное давление в системе отопления  $\Delta P_p$  известно.

#### 5. 3. 1. Выбор основного циркуляционного кольца

Основное циркуляционное кольцо (ОЦК) выбирают в наиболее протяженной и нагруженной (имеющей наибольшую тепловую нагрузку) части системы, где средние удельные потери давления на трение  $R_{cp}$ , Па/м, имеют наименьшее значение:

$$R_{cp} = 0,65 \Delta P_p / (\sum l)_{оцк}, \quad (6)$$

где  $(\sum l)_{оцк}$  - суммарная длина последовательно соединенных участков расчетного ОЦК от распределительного до сборного коллекторов, м.

При попутном движении воды в магистралях вертикальной системы ОЦК должно проходить через один из средних наиболее нагруженных стояков выбранной части системы. При тупиковом движении воды в магистралях вертикальной системы ОЦК в выбранной части системы - через наиболее удаленный, но достаточно нагруженный стояк. В однотрубном проточном или проточно-регулируемом стояке ОЦК проходит через отопительные приборы. В стояке или горизонтальной ветви с замыкающими участками - через них. В двухтрубном стояке ОЦК, как правило, выбирают проходящим через нижний прибор. При двухстороннем присоединении приборов к стояку ОЦК назначают проходящим через наиболее нагруженный из них, а в горизонтальной системе отопления - через ее верхнюю ветвь.

ОЦК разбивается на  $n$  участков (элемент схемы с неизменными условным диаметром трубы  $D_n$ , мм, и расходом теплоносителя  $G_n$ , кг/ч). Участки ОЦК нумеруют, начиная от распределительного коллектора и кончая сборным. Номера участков записывают в кружках у выносных линий, сверху которых указывают тепловую нагрузку участка  $Q_n$ , Вт (количество теплоты, которое несет в себе участок к последующим стоякам, ветвям или частям системы отопления, или уже им отдал), а снизу - длину  $l_n$ , м (см. рис.6). Следует обратить внимание на определение длины участка, проходящего в вертикальном стояке через отопительные приборы конвекторного типа, а также длины замыкающего участка в горизонтальной однотрубной ветви с двухсторонним присоединением прибора любого типа. В этом случае необходимо заранее по величине номинального теплового потока определить ориентировочно марку и длину прибора.

#### 5. 3. 2. Определение фактических потерь давления в ОЦК системы отопления

Результаты гидравлического расчета последовательно заносят в табл.1\* . Гр. 1...4 таблицы заполняются по данным схемы ОЦК - номер участка  $n$ , его тепловая нагрузка  $Q_n$ , Вт, расход воды на участке  $G_n$ , кг/ч (определяется по формуле (1) с подстановкой в числителе соответствующего значения  $Q_n$ , Вт) и его длина  $l_n$ , м.

\*Формы табл. 1...5, на которые даны ссылки, приведены в приложении к настоящему изданию.

Гидравлический расчет системы отопления заключается в предварительном выборе диаметров труб участков системы  $D_n$ , определении фактических потерь давления в ОЦК  $\Delta P_{оцк}$  и их сравнении с расчетным давлением  $\Delta P_p$ . При этом должно быть соблюдено условие:  $\Delta P_{оцк} = 0,9...0,95 \Delta P_p$ , т.е. должен быть некоторый запас давления на всякого рода неучтенные потери.

Предварительный выбор диаметра условного прохода трубы на участках  $D_{y,n}$ , мм, проводят по величине средних удельных потерь давления на трение  $R_{cp}$ , Па/м, определяемых по формуле (6). Диаметр стальных водогазопроводных труб (ГОСТ 3262-75\*) выбирают по табл. II. 1 прил.

II [2], ориентируясь на величину расчетного расхода воды на участке  $G_n$ , кг/ч, и заносят его в гр.5 таблицы. При выборе диаметра необходимо следить, чтобы изменение расхода на последовательно соединенных участках ОЦК происходило (во избежание возможных гидравлических ударов) в точном соответствии со стандартным изменением шага сортамента труб. При использовании в проекте труб из другого материала (медь, пластик, металлопластик) для гидравлического расчета необходимо использовать их сортамент и гидравлические характеристики по соответствующим данным фирм-производителей этих труб.

Далее для выбранного диаметра трубы  $D_{y,n}$ , мм, при фактическом расходе воды на каждом участке  $G_n$ , кг/ч, по этой же таблице методом интерполяции находят действительные значения скорости движения воды  $w_n$ , м/с, и удельных потерь давления на трение  $R_n$ , Па/м. Эти величины заносят соответственно в гр. 6 и 7 расчетной таблицы. Необходимо строго контролировать соответствие скорости воды на участке требованиям п. 3.25 [1] или табл. 10.5 [2]. При скорости, превышающей допустимую величину, диаметр трубы на участке следует увеличить. Потери давления на трение по всей длине участка  $R_n l_n$ , Па, заносятся в гр.8 таблицы.

Отдельно от расчетной таблицы для каждого участка ОЦК составляется перечень имеющихся в нем местных гидравлических сопротивлений с указанием параметров, определяющих в справочных таблицах величину коэффициента местного сопротивления (КМС) (диаметр трубы, относительный расход воды и т.п.). Местное сопротивление на границе двух участков (тройник, крестовина) относят к участку с меньшим расходом воды.

Значения КМС отопительных приборов, запорно-регулирующей арматуры и других деталей системы определяются по табл. 10.8, 10.9 и II.10...II.12 [2]. КМС отопительных приборов принимается в этом случае по осредненной величине, так как пока не определены их действительные марка и размер. Прибор конвекторного типа точнее рассматривать не как прибор, а как трубный участок соответствующего диаметра и длины, предварительно определив марку прибора (см. п.5.3.1).

В том случае, когда в системе отопления для регулирования расхода воды в отопительном приборе используется термодатчик (клапан с термостатической головкой), он не рассматривается, как местное сопротивление. Если в конструкции клапана не предусмотрена возможность его предварительной настройки (монтажной регулировки), то по справочным данным фирмы-производителя для выбранного диаметра клапана при расчетном расходе воды в подводе к прибору определяются потери давления в клапане  $\Delta P_{кл}$ . Для всех клапанов системы отопления, имеющих в своей конструкции предварительную настройку, величина  $\Delta P_{кл}$  задается одинаковой (в размере 30...50 % от расчетных потерь давления в системе) и используется в дальнейшем для определения по методике фирмы-производителя установочного положения клапана при монтажной регулировке системы. В любом случае значение  $\Delta P_{кл}$ , Па, включается в суммарные потери давления на данном участке. Сказанное выше относится и к специальному отключающему крану, устанавливаемому на обратной подводе к отопительному прибору.

КМС тройников при изменении направления движения потока воды определяются по табл. II.13,II.14 [2], тройников «на проходе» - по табл. II.15 [2], крестовин - по табл. II.16...II.19 [2]. При отсутствии в справочнике данных о значениях КМС используются рекомендации соответствующих фирм-производителей. Суммарное значение КМС для каждого участка ( $\sum \xi$ )<sub>n</sub> заносится в гр.9 расчетной таблицы. Потери давления за счет местных сопротивлений на каждом участке  $Z_n$ , Па, определенные по табл. II. 3 [2] в зависимости от скорости воды  $w_n$ , м/с, и величины ( $\sum \xi$ )<sub>n</sub>, заносятся в гр.10. В гр.11 указываются суммарные потери давления на участке  $(Rl + Z)_n$ , Па.

На стадии гидравлического расчета ОЦК следует учесть ряд положений, связанных, прежде всего с обеспечением гидравлической устойчивости работы системы отопления, а также унификации ее структуры и безотказности работы. Для устойчивой работы за счет оптимального распределения давления в теплопроводах необходимо максимально возможно увеличить гидравлическое сопротивление стояков в вертикальной и ветвей в горизонтальной

системе отопления (до 60...70 % от расчетного давления  $\Delta P_p$ ). С этой целью представленные в расчетной таблице участки ОЦК; относящиеся к стоякам или ветвям, необходимо рассмотреть особо. В однотрубной системе их диаметр следует принять единым по всей длине. В двухтрубной - постараться свести к минимуму их «телескопичность». При выборе диаметра подобного однотрубного стояка необходимо учесть унос воздуха из его верхней части. Минимально допустимый расход воды при этом составит: для  $D_y15$  - 140,  $D_y20$  - 250,  $D_y25$  - 400 кг/ч. Диаметр однотрубного стояка с движением воды снизу-вверх (с «опрокинутой» циркуляцией) выбирается с учетом следующего правила:

$$(Rl + Z)_{ст} \geq 300 h_{ст},$$

где  $(Rl + Z)_{ст}$  - суммарные потери давления на участках стояка, Па;

$h_{ст}$  - вертикальное расстояние между подающей и обратной магистралями, м.

Диаметр такого стояка  $D_y$  с замыкающими участками диаметром  $d_{3,y}$ , мм, также выбирается из условия обеспечения минимального расхода воды: для  $D_y15$  - 200...220,  $D_y20$  ( $d_{3,y} = 15$ ) - 250...270,  $D_y25$  ( $d_{3,y} = 20$ ) - 330...360 кг/ч.

После расчета суммарных потерь давления на участках стояка или ветви предварительный выбор диаметра участков магистралей, входящих в ОЦК, проводят по средней величине удельных потерь давления на трение - см. формулу (6). При этом уменьшают соответственно расчетные потери давления в системе отопления на величину потерь давления в стояке или ветви и длину ОЦК на величину суммарной длины их участков.

Общие потери давления в ОЦК  $(Rl + Z)_{оцк}$ , Па (сумма значений в гр. 11 расчетной таблицы) должны быть меньше расчетного циркуляционного давления в системе на 5... 10 %. Проверяют это путем расчета запаса давления  $\Delta_{оцк}$ , %:

$$\Delta_{оцк} = 100 (\Delta P_p - (Rl + Z)_{оцк}) / \Delta P_p$$

Если запас меньше 5 или больше 10 %, то изменяются диаметры труб отдельных участков магистралей до тех пор, пока условие запаса не будет выполнено. В крайнем случае, допускается составить какой-то участок из труб разных диаметров, отразив это в расчетной таблице (разделить запись по данному участку на две строки).

Когда гидравлический расчет системы отопления производится по допустимой максимальной скорости воды на ее участках, значения скоростей принимаются в соответствии с рекомендациями п. 3.25 [1]. Диаметр трубы выбирается по данной скорости при известном расходе воды на участке. Остальные рекомендации, вычисления и порядок заполнения расчетной таблицы аналогичны изложенному. После расчета потерь давления на участках ОЦК для выбора циркуляционного насоса следует определить общие потери давления в системе  $\Delta P_c$ , Па, как сумму значений в гр.11 расчетной таблицы:

$$\Delta P_c = (Rl + Z)_{оцк}.$$

### 5. 3. 3. Гидравлическим расчет второстепенных циркуляционных колец системы

В курсовом проекте обычно рассчитывают два второстепенных циркуляционных кольца (ВЦК), относящихся к расчетной ветви ОЦК. При попутном движении воды в магистралях выбирают кольца через первый (относительно распределительного коллектора) и дальний или ближайšie к ним более нагруженные стояки. При тупиковом движении - через средний и дальний или ближайšie к ним более нагруженные стояки. В горизонтальной системе ВЦК выбирают через ветви на среднем и нижнем этажах.

Последовательность гидравлического расчета второстепенных колец аналогична расчету ОЦК (см. п. 5.3.2), результаты которого изменению не подлежат. Результаты расчета ВЦК заносят в ту же таблицу, продолжая нумерацию участков.

Располагаемое циркуляционное давление для расчета необщих с ОЦК гидравлически параллельных участков ВЦК  $\Delta P_{p.вцк}$ , Па, составит:

- в двухтрубной системе отопления:

$$\Delta P_{p.вцк} = (Rl + Z)'_{оцк} ;$$

- в однострубной системе:

$$\Delta P_{p.вцк} = (Rl + Z)'_{оцк} + (\Delta P_{e.вцк} - \Delta P_{e.оцк}), \quad (7)$$

где  $(Rl + Z)'_{оцк}$  - суммарные потери давления на участках ОЦК, гидравлически параллельных расчетным участкам ВЦК (из таблицы расчета ОЦК), Па;

$\Delta P_{e.вцк}$ ,  $\Delta P_{e.оцк}$  - естественное циркуляционное давление в стояках (ветвях), входящих соответственно в ВЦК и ОЦК, Па. В системе с верхней разводкой при достаточно удаленных друг от друга стояках учитывают также разность значений  $\Delta P_{e.тр}$ . Поправка на разницу возникающего в стояках естественного давления в формуле (7) делается только в том случае, если  $\Delta P_e$  учитывается при гидравлическом расчете системы отопления.

Суммарные потери давления в расчетных участках ВЦК  $(Rl + Z)_{вцк}$  сопоставляют с величиной  $\Delta P_{p.вцк}$  и вычисляют невязку  $\Delta_{вцк}$ , %:

$$\Delta_{вцк} = 100 (\Delta P_{p.вцк} - (Rl + Z)_{вцк}) / \Delta P_{p.вцк}$$

Полученная невязка при попутном движении воды в магистралях вертикальной однострубной системы отопления должна составлять  $\pm 5$  %. При тупиковом движении в магистралях вертикальной однострубной системы, а также в двухтрубной и горизонтальной системах -  $\pm 15$  %. Для увязки потерь давления можно применять составные стояки и ветви, а также участки магистралей из труб двух различных диаметров. При этом в первую очередь изменяют диаметр труб, соединяющих стояки (ветви) с магистралями. В составных стояках трубы меньшего диаметра предусматривают в верхней их части.

Диаметры труб участков магистралей, не вошедших в рассчитанные кольца, подбирают ориентировочно ( без детального расчета и составления расчетных таблиц) путем сопоставления их тепловых нагрузок с нагрузками рассчитанных участков. Выбранные диаметры наносят непосредственно на планы этажей и схему системы отопления.

#### 5. 3. 4. Построение эпюры распределения циркуляционного давления

Эпора распределения циркуляционного давления в магистралях системы отопления строится в соответствии с рекомендациями § 8.3 [4]. Она предназначена прежде всего для выявления располагаемого циркуляционного давления  $\Delta P_{ст}$  в Точках присоединения к магистралям всех остальных стояков рассчитанной ветви системы и, при необходимости, их последующего гидравлического расчета. С помощью эпюры можно выявить стояки с опрокинутой циркуляцией воды (давление в точке присоединения к обратной магистрали больше, чем в начале тояка). В этом случае потребуется внесение изменений в гидравлический расчет, возможно даже и участков ОЦК.

### 5. 3. 5 Гидравлический расчет стояков системы отопления

Если в ходе расчета однострубногo стояка не удается за счет уменьшения диаметров его участков обеспечить требуемые потери давления в нем, то прибегают к крайней мере - установке на стояке дросселирующей диафрагмы. Ее диаметр  $d_d$ , мм, определяют по формуле:

$$d_d = 3,5 (G_{ст}^2 / (\Delta P_{ст} - (Rl + Z)_{ст}))^{0,25},$$

где  $G_{ст}$  - расчетный расход воды в стояке, кг/ч;

$(Rl + Z)_{ст}$  - потери давления в участках стояка, Па.

Принятый к установке диаметр диафрагмы должен быть более 3 мм, так как в месте ее установки (обычно у отключающего крана на входе в стояк) возможен засор системы.

Наиболее современный способ - использовать для этих целей отключающий кран, установленный на обратной подводке отопительного прибора. Установочное (монтажное) положение этого крана можно определить по его заводской характеристике, предоставляемой фирмой-производителем. Как правило, оно определяется числом оборотов запорного органа на кране в зависимости от его диаметра и расчетного расхода воды в подводке прибора. Диаметр выбранных диафрагм на стояках или установочное (монтажное) положение запорного органа термoклапана или отключающего крана у прибора указывают на схеме системы отопления.

Зная располагаемое давление  $\Delta P_{ст}$ , производят гидравлический расчет однострубногo стояков на ПЭВМ (по специальным методическим указаниям) по способу характеристик гидравлического сопротивления (п. 5.4) с определением действительного расхода и перепада температуры воды в стояке.

В однострубногo системе с замыкающими участками дополнительно проверяют правильность предварительного выбора (по табл. 9.3 [2]) коэффициента затекания воды в приборы. Для этого на одном из рассчитываемых стояков для приборов, заметно отличающихся от остальных по своей тепловой нагрузке или длине подводов к ним, выполняют расчет малых циркуляционных колец. При этом определяют выполнение условия

$$(Rl + Z)_{з,у} + g h_{пр} (\rho_{ср,пр} - \rho_{з,у}) \approx (Rl + Z)_{подв}, \quad (8)$$

где  $(Rl + Z)_{з,у}$  - потери давления в замыкающем участке малого циркуляционного кольца, взятые из предыдущих расчетов, Па;

$h_{пр}$  - высота прибора по осям подводов к нему, м;

$\rho_{ср,пр}$ ,  $\rho_{з,у}$  - плотность воды соответственно при средней температуре воды в приборе и температуре воды в замыкающем участке, кг/м<sup>3</sup>;

$(Rl + Z)_{подв}$  - потери давления в подводках и в приборе, найденные по дополнительному расчету, Па.

Если расхождение расчетной величины, получаемой в левой и правой частях уравнения (8), меньше 10 %, то коэффициенты задания считают выбранными правильно. В противном случае определяют действительные значения расхода воды и коэффициента затекания. Для этого можно воспользоваться методом характеристик гидравлического сопротивления (см. п. 5.4).

В двухтрубногo системе отопления дополнительно производят гидравлический расчет малых циркуляционных колец в рассчитанных ранее стояках, в которых ОЦК или ВЦК ранее проходили через прибор первого этажа. Располагаемое циркуляционное давление для участков малого кольца, проходящих через прибор вышележащего N - го этажа -  $\Delta P_{р, N}$ , Па, определяется по формуле

$$\Delta P_{р, N} = (Rl + Z)_1 + 0,4 g h_N (\rho_0 - \rho_T),$$

где  $(Rl + Z)_1$  - потери давления на ранее рассчитанных участках стояка (в системе с нижней разводкой - в двух подводках к прибору первого этажа; в системе с верхней разводкой - кроме этого на участках подающего стояка между подводками первого и N-го этажей), Па;

$h_N$  - вертикальное расстояние между центрами охлаждения воды в приборах первого и N-го этажей, м.

В результате расчета действительные потери давления на участках малого кольца должны быть увязаны (с расхождением до 10 %) с величиной  $\Delta P_{p,N}$ . В случае значительного расхождения увязку циркуляционных колец в двухтрубном стояке можно осуществить при монтажной регулировке системы отопления с помощью соответствующей установки положения регулировочных органов термклапана или отключающего крана у отопительного прибора (см. выше).

#### 5. 4. Расчет системы отопления по характеристикам гидравлического сопротивления

Данным методом осуществляется гидравлический расчет однотрубных систем водяного отопления с тупиковым движением воды в магистралях. Им можно также воспользоваться для расчета однотрубных стояков при попутном движении воды в магистралях. В отличие от предыдущего этот метод позволяет точно определить действительный расход воды в любом элементе системы и прежде всего в отопительном приборе. При этом допускается отклонение перепада температуры воды в стояках от расчетного для системы в целом  $\Delta t_c$  до  $\pm 7^\circ\text{C}$ .

Метод основан на использовании в расчетах величины характеристики гидравлического сопротивления  $S$ , Па/(кг/ч)<sup>2</sup>, которая при заданной структуре системы отопления является величиной постоянной как для любого простого или сложного элемента схемы, так и для системы в целом. Для любого простого участка  $n$  схемы системы в целом  $S_n$ , Па/(кг/ч)<sup>2</sup>, определяется по формуле

$$S_n = A_d ((\lambda/d_b)_n l_n + (\sum \xi)_n),$$

где  $A_d$  - удельное динамическое давление в трубе при внутреннем диаметре  $d_b$  и расходе воды 1 кг/ч, принимаемое по табл. 10.7 [2];

$(\lambda/d_b)_n$  - приведенный коэффициент гидравлического трения, м<sup>-1</sup>, там же.

Гидравлический расчет производят, используя формулу

$$\Delta P = S G^2, \quad (9)$$

где  $\Delta P$  - потери давления в любом простом или сложном элементе системы или в системе отопления в целом, Па;

$G$  - там же соответствующий расход воды, кг/ч.

Ниже даются указания к гидравлическому расчету в случае, когда насосное циркуляционное давление в системе отопления  $\Delta P_n$ , Па, известно.

Прежде всего выявляют, как в п.5.3.1, ОЦК и вычисляют расчетное циркуляционное давление  $\Delta P_n$ , Па, по формулам (4) или (5). Находят величину  $R_{cp}$ , Па/м, в основном кольце по формуле (6). Затем для основных типов стояков (обычно трех) и каждого участка магистралей вычисляют удельную характеристику сопротивления  $S_{уд}$ , Па/(кг/ч)<sup>2</sup>:

$$S_{уд} = R_{cp} / G_{op}^2,$$

где  $G_{op}$  - ориентировочный расход воды на участке, кг/ч, определяемый по формуле (1) при подстановке в числитель тепловых нагрузок участков, нанесенных на схему системы.

Результаты расчетов вносят в таблицы (формы табл. 2, и 3). Сопоставляя полученные значения  $S_{уд}$  (гр.5 форм табл. 2 и 3) с величинами  $S_{уд}$  для стандартных диаметров труб (табл.

10.7 [2]), назначают диаметры труб стояков и участков магистралей. При выборе диаметра труб стояков принимают меньший ближайший диаметр (возможна конструкция стояка из труб двух смежных диаметров). При выборе диаметра участков магистралей для обеспечения повышенного сопротивления стояков по сравнению с суммарным сопротивлением участков магистралей (без учета головных участков системы) принимают больший ближайший диаметр.

Скорость движения воды при выборе диаметра труб проверяют по величин расхода воды при скорости 1 м/с из табл. 10.7 [2]. Если, например, ориентировочный расход воды в трубе  $D_v15$  составляет 500 кг/ч, то скорость движения воды  $w = 500/690 = 0,73$  (м/с).

После выбора диаметра труб по формуле (9) определяют потери давления в дальнем (тупиковом) стояке по его характеристике сопротивления, задаваясь расходом воды в нем (см. гр.4 форм табл.2 и 3). Характеристика сопротивления стояка, как сумма характеристик сопротивления его простых участков и сложных узлов, вычисляется в соответствии с рекомендациями п. 10.8.1 [2] и § 8.4 [4]. Все результаты гидравлического расчета заносят в таблицу (форма табл.4).

Далее определяют характеристику сопротивления и потери давления на участках магистралей между последним и предпоследним стояками. Потери давления в предпоследнем стояке  $\Delta P_{ст}$ , Па, должны быть равны этим потерям плюс потери давления в последнем стояке, если пренебречь различием в значениях естественного циркуляционного давления (см. второе слагаемое в формуле (7)), что допустимо для однотипных стояков. На этом основании, вычислив характеристику сопротивления предпоследнего стояка  $S_{ст}$ , Па/(кг/ч)<sup>2</sup> (см. гр.8 формы табл.4), находят действительный расход воды в нем  $G_{ст}$ , кг/ч (см. гр.9) по формуле

$$G_{ст} = (\Delta P_{ст} / S_{ст})^{0,5} = \sigma_{ст} \Delta P_{ст}^{0,5}, \quad (10)$$

где  $\sigma_{ст} = 1 / S_{ст}^{0,5}$  - проводимость стояка, кг/(ч Па<sup>0,5</sup>).

Далее проверяется перепад температуры воды в стояке  $\Delta t_{ст}$ , °С (см. гр.11):

$$\Delta t_{ст} = 3,6 Q_{ст} \beta_1 \beta_2 / (c G_{ст}), \quad (11)$$

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

Так как сумма расходов воды в двух рассчитанных стояках определяет расход воды для параллельных участков магистралей между предпоследним и третьим от конца стояками, по расходу и определенной для них характеристике сопротивления вычисляют по формуле (9) потери давления на этих двух участках. Результаты заносят в таблицу (см. форму табл.4).

Располагаемое давление для третьего от конца стояка будет складываться из потерь давления в одном из рассчитанных стояков и на участках магистралей между ним и третьим стояком. Определив для него располагаемое давление, по формулам (10) и (11) рассчитывают расход воды и перепад температуры в нем.

Продолжая таким образом вести расчет остальных стояков и участков магистралей выбранной (назовем ее, например, левой) ветви системы отопления со стороны одного (например, главного) фасада здания, находят, наконец, для нее расход воды  $G_{лев}$  и потери давления  $\Delta P_{лев}$ . Значение потерь давления является исходным для определения расхода воды в правой ветви  $G_{прав}$  рассчитываемой части системы:

$$G_{прав} = (\Delta P_{лев} / S_{прав})^{0,5},$$

где  $S_{прав}$  - характеристика сопротивления правой ветви, определяемая с учетом правила определения общей характеристики сопротивления сложного узла системы отопления, состоящего из последовательно и параллельно соединенных участков (см. п. 10.8.1. [2] и § 8.4 [4]).

По общему расходу воды в части системы отопления со стороны главного фасада  $G_1 = (G_{лев} + G_{прав})$  определяют потери давления на двух участках магистралей, соединяющих точку

разделения рассчитанных левой и правой ветвей и точку разделения по фасадам головных (от распределительного и до сборного коллекторов) участков магистралей, вычислив предварительно их характеристику сопротивления. Располагаемое давление для расчета части системы отопления со стороны другого фасада здания  $\Delta P_1$  складывается из потерь давления на этих участках плюс потери давления  $\Delta P_{\text{лев}}$ . Расход воды в этой части  $G_2$  определяется аналогично, с соблюдением той же последовательности расчета, что и для правой ветви (см. выше).

По общему расходу воды в системе отопления  $G_c' = (G_1 + G_2)$  вычисляют потери давления на головных участках магистралей, предварительно определив их характеристику сопротивления. Суммируя полученные значения с величиной  $\Delta P_1$  определяют общие потери давления в системе отопления  $\Delta P_c'$ .

Найденные выше значения основных параметров работы системы сопоставляют с исходными  $G_c$  и  $\Delta P_p$ . Если они достаточно близки (запас давления не превышает 10 %), то гидравлический расчет заканчивается. Потребуется лишь распределить уже известное количество воды  $G_2$  и  $G_{\text{прав}}$  между соответствующими стояками системы.

Распределение воды в двух гидравлически параллельных элементах схемы системы отопления осуществляют, используя значение коэффициента затекания (доля, приходящаяся на расход воды в данном элементе, от суммарного расхода):

$$\alpha_1 = 1 / (1 + \alpha_2 / \alpha_1) = 1 / (1 + (S_1 / S_2)^{0.5}),$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - проводимости параллельно соединенных элементов схемы системы отопления, кг/(ч Па<sup>0.5</sup>).

Если найденные общие потери давления в системе  $\Delta P_c'$  расходятся с расчетным циркуляционным давлением  $\Delta P_p$ , то либо изменяют диаметры головных участков магистралей с пересчетом потерь давления в них, либо уточняют общий расход воды в системе  $G_p$ , кг/ч, соответствующий расчетному давлению:

$$G_p = G_c' (0,9 \Delta P_p / \Delta P_c')^{0.5}, \quad (12)$$

а также температуру обратной воды после системы отопления:

$$t_0 = t_r - Q_c \beta_1 \beta_2 / (c G_p),$$

причем  $t_0$  будет отличаться от расчетного значения (обычно 65...70°C).

Формулу (12) используют также (без коэффициента 0,9) при увязке расходуемого давления в смежных отдельно рассчитанных частях системы.

При изменении общего расхода воды в системе уточняют расходы на всех участках и в стояках, используя поправочный коэффициент  $k_p$ :

$$k_p = G_p / G_c'$$

Вычислив действительный расход в стояках, пересчитывают перепад температуры воды и ее распределение по участкам стояка и переходят к определению площади нагревательной поверхности отопительных приборов.

## 6. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Тепловой расчет заключается в определении площади нагревательной поверхности приборов с учетом теплоступлений от прокладываемых в помещениях теплопроводов, а также в выборе размеров (марок) приборов или определении числа их элементов (секций).

Расчетная площадь наружной теплоотдающей поверхности приборов  $A_p$ ,  $m^2$ , определяется по формуле

$$A_p = Q_{пр} / q_{пр} ,$$

где  $Q_{пр}$  - требуемая теплоотдача отопительного прибора, Вт;

$q_{пр}$  - поверхностная плотность теплового потока прибора, Вт/м.

Требуемая теплоотдача прибора рассчитывается с учетом теплоотдачи труб (стояков, ветвей, подводок), открыто проложенных в отапливаемом помещении (при скрытой в стене или стяжке пола прокладке труб их теплоотдача не учитывается):

$$Q_{пр} = Q_{п} - 0,9 Q_{тр} ,$$

где  $Q_{п}$  - расчетные теплотери помещения или их доля, приходящаяся на данный прибор, если в помещении он не один, Вт;

$Q_{тр}$  – суммарная теплоотдача открыто проложенных труб, Вт;

$$Q_{тр} = q_v l_v + q_h l_h ,$$

где  $q_v$  ,  $q_h$  - теплоотдача 1 м соответственно вертикальных и горизонтальных труб, Вт/м, определяемая для неизолированных труб по табл. П.22 [2] в зависимости от диаметра и положения, а также разности температуры теплоносителя  $t_r$  и воздуха в помещении  $t_b$  ;

$l_v$ ,  $l_h$  - длина соответственно вертикальных и горизонтальных труб в пределах помещения, м.

Теплоотдача 1 м изолированных труб (например, магистралей, проложенных в подвальных, помещениях) определяется по табл. П.24 [2].

Действительная плотность теплового потока на поверхности отопительного прибора  $q_{пр}$ , Вт/м<sup>2</sup>, при теплоносителе воде определяется по формуле

$$q_{пр} = q_{ном} (\Delta t_{ср} / 70)^{1+n} (G_{пр} / 360)^p b \psi c ,$$

где  $q_{ном}$  - номинальная плотность теплового потока прибора, Вт/м<sup>2</sup>, определяемая по табл. X.1 [2] или по данным фирмы-производителя;

$\Delta t_{ср}$  - средний температурный напор в приборе, °С;

$G_{пр}$  - расчетный расход воды в приборе, кг/ч;

$n$ ,  $p$ ,  $c$  - экспериментальные числовые показатели по табл.9.2 [2];

$b$  - коэффициент учета атмосферного давления в районе строительства по табл. 9.1 [2] (расчетное барометрическое давление, ГПа, по табл. прил. 8 [1]);

$\psi$  - коэффициент учета направления движения воды в приборе (при схеме движения воды «снизу-вверх» по формуле (9.6) [2], для иных схем  $\psi = 1$ ).

Средний температурный напор в отопительном приборе при теплоносителе воде  $\Delta t_{ср}$ , °С, определяется по формуле

$$\Delta t_{ср} = t_{ср} - t_b ,$$

где  $t_{ср}$  - средняя температура воды в приборе, °С, определяемая по формулам (9.7) или (9.8) [2], в зависимости от принятой конструкции стояка системы отопления (однотрубный или двухтрубный);

$t_b$  - расчетная температура воздуха в помещении, °С.

Для выбора размера (марки) или числа элементов (секций) отопительных приборов используются их технические характеристики, представленные в табл. X.1 [2] или каталогах фирм-производителей.

Число элементов  $N$  в секционном приборе определяется по формуле

$$N = (A_p / A_1) (\beta_4 / \beta_3),$$

где  $A_1$  - площадь наружной поверхности одной секции прибора,  $m^2$ ;

$\beta_3$  - поправочный коэффициент, учитывающий число секций в приборе и определяемый в соответствии с рекомендациями в п. 9.5 [2];

$\beta_4$  - поправочный коэффициент, учитывающий способ установки прибора в помещении и определяемый по табл. 9.12 [2].

Здесь и далее округление дробного числа  $N$  до целого осуществляется, как правило, в большую сторону. Уменьшение расчетной площади прибора  $A_p$  допустимо не более, чем на 5 %, но не более, чем на 0,1 м.

Число стальных панельных радиаторов или конвекторов с кожухом выбранной марки (высоты и длины) с площадью теплоотдающей поверхности  $A_1, m^2$ , составит:

$$N = A_p \beta_4 / A_1.$$

Число элементов конвекторов без кожуха или ребристых труб в ярусе по вертикали или в ряду по горизонтали составит:

$$N = A_p \beta_4 / (n A_1),$$

где  $n$  - число ярусов или рядов элементов прибора;

$A_1$  — площадь теплоотдающей поверхности одного элемента прибора принятой длины,  $m^2$ .

При выборе гладкотрубного отопительного прибора определяется длина греющей трубы  $l$ , м, в ярусе и в ряду:

$$l = A_p \beta_4 / (n A_1),$$

где  $A_1$  - площадь наружной поверхности 1 м открытой горизонтальной трубы принятого диаметра,  $m^2/m$ .

Детальный расчет площади и числа элементов проводится для всех отопительных приборов тех стояков или ветвей системы отопления, для которых выполнен гидравлический расчет. Результаты теплового расчета приборов заносят в таблицу (форма табл.5, которая представлена в настоящем издании с примером заполнения).

Для остальных приборов системы число элементов определяется ориентировочно (без составления расчетной таблицы), по осредненным значениям плотности теплового потока с использованием данных детального расчета.

Марки выбранных приборов или число элементов в них наносят на схему системы отопления и на поэтажные планы здания.

## **7. ВЫБОР И ПРОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ОТОПИТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ**

При выполнении данного раздела курсового проекта отопительную теплоемкую печь размещают в одном или двух помещениях, считая (условно), что эти помещения находятся в одноэтажном здании. Поэтому рассчитанные ранее теплопотери этих помещений дополняют

теплопотерями через пол или потолок либо через пол и потолок (в зависимости от расположения выбранных помещений в основном здании). Общие теплопотери выбранного помещения (или двух помещений), а следовательно, и средняя теплоотдача печи должны находиться в пределах 2500...3500 Вт.

Если установка печи предусматривает топку из коридора, то эти цифры должны включать и теплоотдачу в коридор с поверхности выходящей туда стенки печи, которую ориентировочно (с последующим уточнением) можно принять равной 500 Вт.

Конструкция, материал кладки печи и вид используемого топлива определяются в задании к курсовому проекту. В соответствии с этим выбирают тип и чертеж печи из альбома типовых чертежей печей с теплоотдачей, близкой к необходимой.

Для выбранного типа печи выполняют проверочные расчеты на заданную теплоотдачу, изменяя при необходимости высоту топливника и всей печи. Проверку печи проводят в соответствии с указаниями § 12.4...12.9 [4] и приведенным там примером расчета.

### **7. 1. Проверка достаточности объема (высоты) топливника, площади внутренних тепловоспринимающих поверхностей и размеров газоходов печи**

Требуемую высоту топливника оценивают по допустимому для заданного вида топлива тепловому напряжению его объема.

Площадь поперечного сечения газоходов проверяют по допустимой скорости движения отходящих газов (продуктов сгорания топлива) в них.

Площадь внутренних поверхностей печи проверяют на необходимое тепловосприятие за время топки (с допустимым расхождением до  $\pm 15\%$ ) по уравнению

$$12 Q_{\text{п}} \cong m (q_1 a_1 + q_2 a_2 + q_3 a_3 + q_4 a_4 + q_5 a_5), \quad (13)$$

где  $Q_{\text{п}}$  - расчетная теплоотдача печи, Вт;

$m$  - продолжительность топки печи, ч;

$q_1, q_2, q_3, q_4, q_5$  - удельное тепловосприятие внутренними поверхностями, Вт/м<sup>2</sup>, соответственно топливника (площадь  $a_1$ , м<sup>2</sup>), первого газохода ( $a_2$ ), колпака и насадки ( $a_3$ ), промежуточных газоходов ( $a_4$ ), последнего газохода ( $a_5$ ).

### **7. 2. Проверка достаточности активного объема кладки печи для необходимой теплоаккумуляции (с допустимым расхождением до $\pm 15\%$ )**

Проверка проводится по уравнению

$$Q_{\text{п}} (12 - m) \cong (V_{\text{акт}} - V_{\text{пуст}}) \rho c \Delta t, \quad (14)$$

где  $V_{\text{акт}}$  - активный объем кладки (в пределах активной высоты) печи, м<sup>2</sup>;

$V_{\text{пуст}}$  - объем пустот в пределах активной высоты печи, м<sup>3</sup>,

$\rho$  - плотность материала кладки печи, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  - удельная теплоемкость материала кладки печи, Вт ч/(кг К);

$\Delta t$  - разность температуры кладки печи в максимально разогретом состоянии и к началу следующей топки, принимаемая для толстостенных печей равной 80 °С, для тонкостенных массой 1000 кг и более равной 120 °С.

В случае необходимости активная высота печи может быть уменьшена или увеличена (но так, чтобы общая высота печи не превышала 2,6 м) для удовлетворения (в пределах указанной точности) всех трех равенств (13)...(15).

### **7. 3. Проверка достаточности площади внешней теплоотдающей поверхности печи для обеспечения требуемой теплоотдачи $Q_{\text{п}}$**

Должно быть соблюдено следующее условие (с допустимым расхождением до  $\pm 15\%$ ):

$$Q_{\text{п}} = q A_{\text{акт}}, \quad (15)$$

где  $q$  - средняя теплоотдача  $1 \text{ м}^2$  активной поверхности печи,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;

$A_{\text{акт}}$  - площадь теплоотдающей поверхности печи,  $\text{м}^2$ , в пределах активной высоты (в зависимости от размещения печи относительно стен и размеров «отступок» при расчете площади отдельных поверхностей учитывают уменьшающие коэффициенты - см. пояснение к формуле (12.12) [4]).

### **7. 4. Проверка достаточности теплоустойчивости помещения (или двух помещений) при отоплении печью выбранного типа**

Определяют амплитуду колебания температуры воздуха в помещении (помещениях) по формуле

$$A_t = 0,7 M Q_{\text{ср}} / \sum (B_i A_i) \leq 3^\circ\text{C},$$

где  $Q_{\text{ср}}$  - средняя теплоотдача стен печи,  $\text{Вт}$ , выходящих в отапливаемое помещение (помещения), без учета теплоотдачи стены, выходящей в коридор (если таковая имеется);

$M$  - коэффициент неравномерности теплоотдачи выбранного типа печи (см. альбом типовых чертежей печей);

$\sum (B_i A_i)$  - сумма произведений коэффициента теплопоглощения  $B_i$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ ,  $i$ -й ограждающей конструкции помещения (наружные и внутренние стены, потолок, пол, окна и двери) на соответствующие площади  $A_i$ ,  $\text{м}^2$  (по внутренним размерам) этих ограждений.

Значения коэффициента теплопоглощения  $B_i$  принимают по результатам расчетов в курсовой работе по строительной теплофизике с пересчетом на период колебания теплового потока  $T = 12 \text{ ч}$ .

## **8. ГРАФИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЕКТОВ**

На план подвала и технического подполья (см. рис. 7) наносят оборудование и трубы теплового пункта (распределительные и сборные коллекторы, теплообменник или водоструйный элеватор, насосы, закрытый расширительный бак, грязевик - см. п. 2), магистрали, запорную арматуру, стояки (см. п. 4), отопительные приборы (если они есть - см. п. 3) с указанием диаметров и уклонов труб, номеров стояков, марок или числа элементов приборов (указания по стоякам и приборам - снаружи плана без выносных линий). Диаметр трубы, мм, проставляется с указанием условного размера (например,  $\varnothing 15$  для труб по ГОСТ 3262-75\*) или наружного диаметра и толщины стенки трубы (например,  $\varnothing 76 \times 3$  для труб по ГОСТ 10704-76\*).

На планы этажей (см. рис. 5) наносятся отопительные приборы, стояки и подающие подводы к приборам (см. п. 3,4), а также места размещения главного стояка и труб, идущих от открытого расширительного бака в тепловой пункт. Указываются (снаружи плана без выносных линий) номера стояков и марки или число элементов приборов.

На плане чердака при верхней разводке (см. рис. 6) показывают магистрали с воздухоборниками, главный и рядовые стояки, запорную арматуру (см. п. 4) с указанием диаметров и уклонов труб, номеров стояков (снаружи плана).

Открытый расширительный бак и трубы, связывающие его с системой отопления, наносят на план чердака или на вы копировку из него (при нижней разводке магистралей).

Вычерчивают схему системы отопления во фронтальной аксонометрической проекции в масштабе 1:100 и схему теплового пункта в масштабе 1:20.

На схеме системы (см. рис. 8) показывают уклоны труб, номера стояков, приспособления для спуска воды и удаления воздуха из стояков, ветвей и частей системы, а также регулировочный, отключающий и воздушный (при нижней разводке магистралей) краны у отопительных приборов. Под номером стояка указывают его расчетную тепловую нагрузку, Вт, и расход воды, кг/ч. Над каждым прибором указывают его расчетную тепловую нагрузку, Вт. Внутри прямоугольника, обозначающего прибор, проставляют его размер (число секций, марку, длину и т.п.), а также установочное (монтажное) положение регулировочного или отключающего крана (если они есть - см. п. 5).

От участков схемы, для которых производился гидравлический расчет, делают выноску в виде дроби, в числителе которой указывается расчетная тепловая нагрузка участка, Вт, в знаменателе - его длина, м. На конце выноски в кружке проставляется номер участка из таблицы (см. форму табл.1).

Над нерасчетными участками магистралей указывают их тепловую нагрузку и ориентировочный (по аналогии с рассчитанными участками) диаметр трубы.

На листе со схемой системы отопления приводится примечание к ней, включающее, как правило, следующую информацию:

- принятые в проекте расчетные температурные параметры теплоносителя;
- принятые типы отопительных приборов;
- указания к установке какого-либо однотипного оборудования (например, кранов у приборов или воздушных кранов), что не представлено на схеме;
- диаметры каких-либо однотипных участков (например, стояков и подводок к приборам), которых нет на схеме;
- величину часто повторяющегося уклона труб (например, уклон труб  $i = 0,003$  по стрелке на схеме), которой нет на схеме (показана только стрелка - направление уклона);
- указания к тепловой изоляции труб (какие трубы изолировать, материал и толщина изоляции).

На схеме теплопроводов теплового пункта указывают диаметры труб, технические характеристики теплообменника, циркуляционных и подпиточного насосов, расширительного бака, грязевика, подающего и обратного коллекторов (диаметр и длина), другого оборудования.

Отдельно выполняется (по согласованию с руководителем-консультантом проекта) детальный чертеж грязевика, расширительного бака, воздухоборника или чертеж установки отопительного прибора (масштаб 1:10).

Рабочий чертеж выбранной печи с планами кладки по 6...8 рядам, продольным и поперечными разрезами и фундаментом (масштаб 1:10) выполняется на миллиметровой бумаге и вкладывается в расчетно-пояснительную записку (РПЗ) к проекту. Здесь же изображают план помещения (помещений) с размещением печи и привязкой ее к стенам. Приводят характеристику печи (тип, материал, средняя теплоотдача, число топок в сутки) и топлива (вид, теплота сгорания).

В правом нижнем углу каждого чертежа помещается штамп с указанием темы проекта, общего количества листов, наименования и номера данного листа, масштаба, даты, фамилии студента, должности, звания, ученой степени и фамилии руководителя-консультанта.

## 9. СОСТАВЛЕНИЕ РПЗ

РПЗ выполняется чернилами с одной стороны стандартного листа А4, сшивается вместе с текстом задания и снабжается обложкой с указанием учебного заведения, факультета, кафедры, темы проекта, фамилии студента (а также курса, группы) и фамилии руководителя-консультанта (а также его должности, звания и ученой степени), года.

РПЗ состоит из следующих разделов, каждый из которых при необходимости делят на главы с соответствующими заголовками.

Раздел «*Общая часть*»:

- описание здания (назначение, число этажей, характеристика основных конструкций, наличие подвала и чердака);
- место строительства здания, климатология в местности, ориентация здания по сторонам горизонта;
- краткая характеристика запроектированных устройств (источник теплоснабжения, теплоноситель и его параметры на вводе в здание, вид и особенности центральной системы отопления, типы отопительных приборов и печи);
- расчетные метеорологические условия в основных помещениях.

Раздел «*Тепловой пункт*»:

- расчет тепловой потребности здания на отопление;
- конструкция теплового пункта (описание схемы присоединения к тепловой сети, конструктивных элементов, вспомогательного и контрольно-измерительного оборудования);
- расчет и выбор теплообменника или водоструйного элеватора, циркуляционного и подпиточного насосов, расширительного бака, грязевика;
- гидравлический расчет теплопроводов.

Раздел «*Центральное отопление здания*»:

- конструкция системы отопления (технико-экономическое обоснование выбранной системы, ее особенности, описание схемы стояков и способа прокладки магистралей, выбор уклонов и изоляции труб, решения по удалению воздуха, спуску и наполнению водой системы, выбор воздухооборников, запорно-регулирующей арматуры);
- гидравлический расчет системы отопления (выбор ОЦК и ВЦК, определение расчетного циркуляционного давления, таблицы гидравлического расчета, эпюра распределения давления в магистралях системы);
- проверочный гидравлический расчет стояков на ЭВМ;
- тепловой расчет отопительных приборов (расчетные показатели приборов, расчетные формулы и поправочные коэффициенты, расчет теплоотдачи труб, таблица расчета приборов).

Раздел «*Печное отопление*»:

- конструкция и размеры печи (описание выбранной печи, определение средней теплоотдачи печи);
- тепловые расчеты печи (расчет тепловой напряженности топливника, скорости движения газов в газоходах, расчет тепловоспринимающей и теплоаккумуляционной способности печи);
- проверка теплоустойчивости помещения при печном отоплении (определение коэффициента неравномерности теплоотдачи печи, расчет коэффициентов теплопоглощения ограждений, расчет амплитуды колебания температуры воздуха помещения).

РПЗ, систематизированная по разделам и главам, должна быть составлена без сокращения слов, иметь ссылки в тексте на используемую нормативную, справочную и учебную литературу, библиографический список, а также оглавление. Страницы РПЗ должны быть пронумерованы. Во всех расчетах необходимо приводить экспликацию (расшифровку параметров формул) и размерности расчетных величин. Результаты промежуточных и окончательного расчетов и однотипные выкладки сводятся в таблицы. Таблицы нумеруют и дают их наименования

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.04.05 – 91\* . Отопление, вентиляция и кондиционирование. М.: ЦИТП, 1998.
2. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч.1. Отопление / Под ред. И. Г. Старовойтова. - Изд.4-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1990.
3. Монтаж внутренних санитарно-технических устройств /Ю. Б. Александрович и др.; Под ред. И. Г. Старовойтова. - Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1984.
4. **Богословский В.Н., Сканави А.Н.** Отопление: Учебник для вузов. - М.: Стройиздат, 1991.
5. **Сканави А.Н., Махов Л.М.** Отопление: Учебник для вузов. – М.: АСВ, 2000.
5. **Семенов Л.А.** Печное отопление. - Изд. 3-е. М.: Стройиздат, 1968..
6. **Сканави А.Н.** Конструирование и расчет систем водяного и воздушного отопления зданий. - Изд. 2-е. М.: Стройиздат, 1983.

**Форма табл.1**  
**Результаты гидравлического расчета системы**  
**отопления**

Принято		Сумма	Потери	Сумма
Скорость движения воды w, м/с	Потери давления на трение	коэффициентов местных сопротивлений (КМС)	давления в местных сопротивлениях Z, Па	потерь давления Rl+Z, Па
6	На 1 м R, Па/м	Σ ζ	Па	11
	По длине участка Rl, Па			
	7	9	10	11
	8			

Данные по схеме ОЦК	№ участка	1
	Тепловая нагрузка участка Q, Вт	2
	Расход воды на участке G, кг/ч	3
	Длина участка l, м	4
	Диаметр условного прохода D <sub>y</sub> , мм	5

Форма табл. 2

### Диаметры основных стояков

Стояк	Тепловая нагрузка Q <sub>ст</sub> , Вт	Перепад температуры Δt <sub>ст</sub> , °С	Ориент. Расход G <sub>ор</sub> , кг/ч	Удельная характеристика сопротивления S <sub>уд</sub> ·10 <sup>4</sup> , Па/(кг/ч) <sup>2</sup>	Диаметр стояка D <sub>y</sub> , мм	Примечания
1	2	3	4	5	6	7
Дальний Средний Ближний		Δt <sub>ст</sub> +5 Δt <sub>ст</sub> Δt <sub>ст</sub> -5				

Форма табл. 3

### Диаметры участков магистралей

Номер участка	Тепловая нагрузка Q <sub>уч</sub> , Вт	Перепад температуры Δt <sub>ст</sub> , °С	Ориент. Расход G <sub>ор</sub> , кг/ч	Удельная характеристика сопротивления S <sub>уд</sub> ·10 <sup>4</sup> , Па/(кг/ч) <sup>2</sup>	Диаметр стояка D <sub>y</sub> , мм	Примечания
1	2	3	4	5	6	7

Форма табл.4

Результаты гидравлического расчета системы отопления

№ участка	Тепловая нагрузка участка Q, Вт	Диаметр условного прохода Ду, мм	Удельное дина. Давл. $A_d \cdot 10^4$ , Па(кг/ч) <sup>2</sup>	Приведенный коэффициент гидр. Трения $\lambda/d_{вв} \cdot m^{-1}$	Длина участка l, м	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \xi$	Характеристика сопротивления $S \cdot 10^4$ , Па(кг/ч) <sup>2</sup>	Расход воды на участке G, кг/ч	Потери давления на участке $\Delta P$ , Па	Перепад температуры $\Delta t$ , °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

№	Расчетный	Расход воды	Температура, °C	Расчетная
---	-----------	-------------	-----------------	-----------

Форма табл. 4

Результаты теплового расчета отопительных приборов

Форма табл. 5

помещения	теплотери Q, Вт	в стояке (приборе) G, кг/ч	средняя теплоносителя $t_{cp}$	помещения $t_b$	разность температуры $\Delta t_{cp}$ , °C
1	2	3	4	5	6
106	1116	236	72,9	18	54,9

Окончание формы табл.5

Теплоотдача, Вт		Плотность теплового потока $q_{пр}$ , Вт/м <sup>2</sup>	Площадь приборов расчетная $A_p$ , м <sup>2</sup>	Отношение поправочных коэффициентов $\beta_4/\beta_3$	Марка или число элементов приборов	
труб $Q_{тр}$	приборов $Q_{пр}$				расчетное $N_p$	Принятое $N_{уст}$
7	8	9	10	11	12	13
116	1000	468	2,14	1	8,9	9

### Рисунки к Методическим указаниям

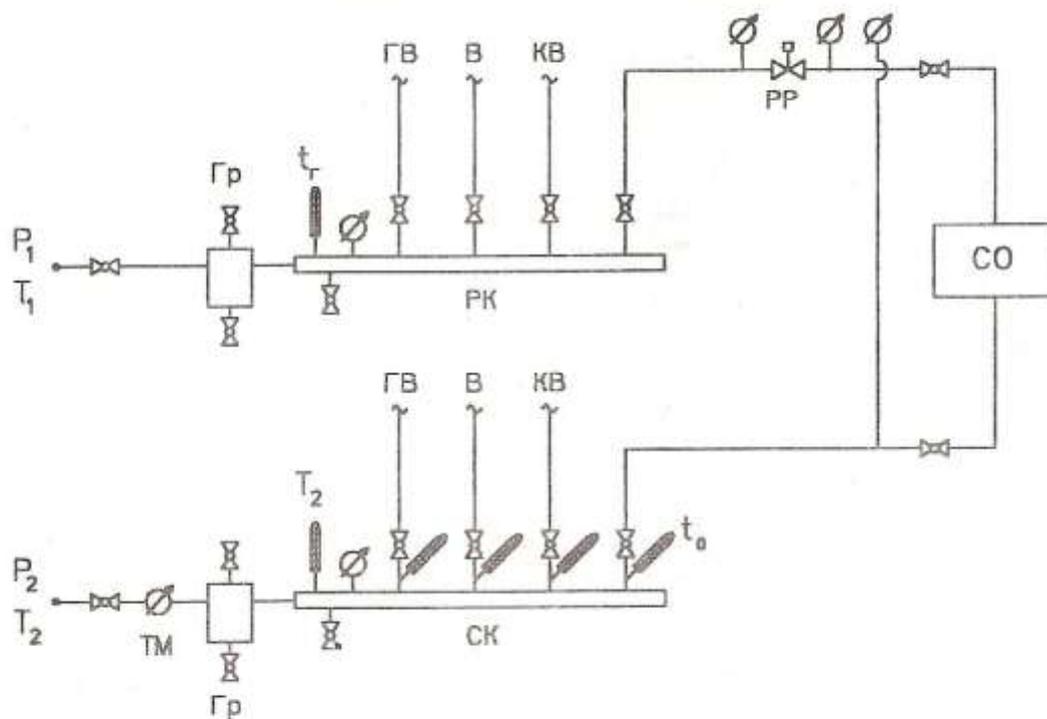


Рис. 1. Схема теплового пункта при независимом присоединении к тепловой сети без смешения

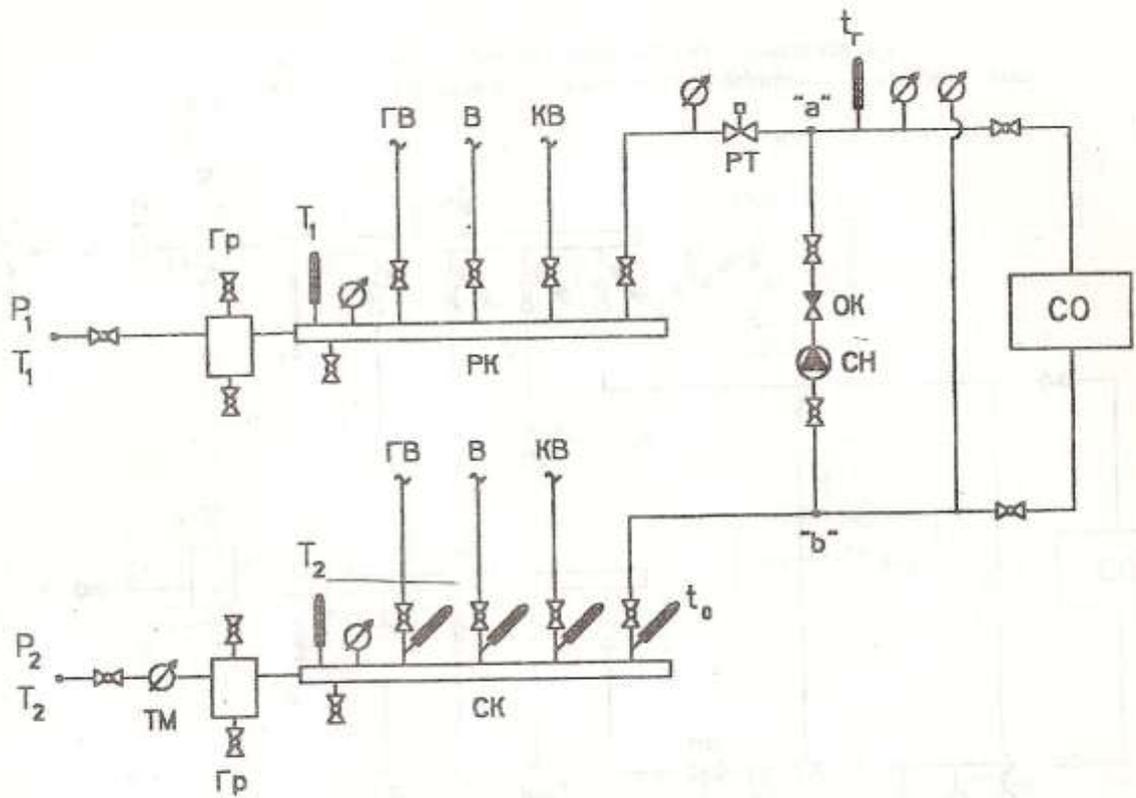


Рис.2. Схема теплового пункта при независимом присоединении к тепловой сети со смешением с помощью насоса

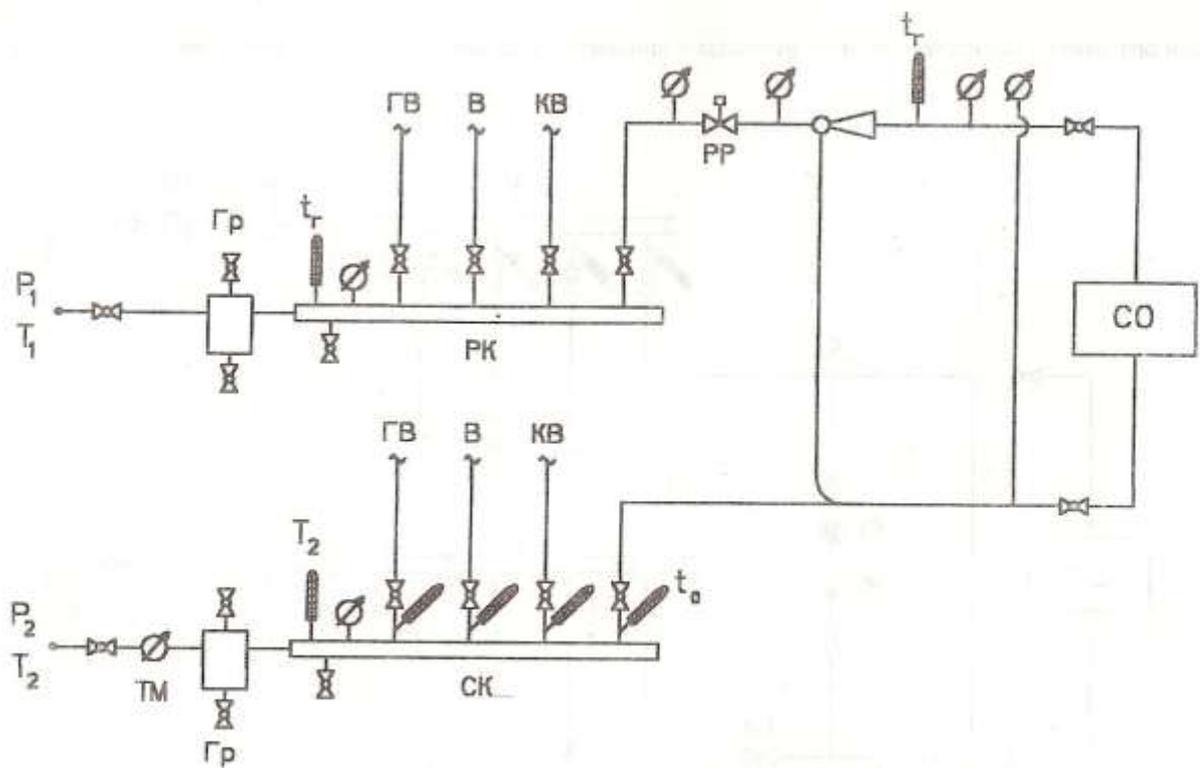


Рис.3. Схема теплового пункта при независимом присоединении к тепловой сети со смешением с помощью водоструйного элеватора ВЭ

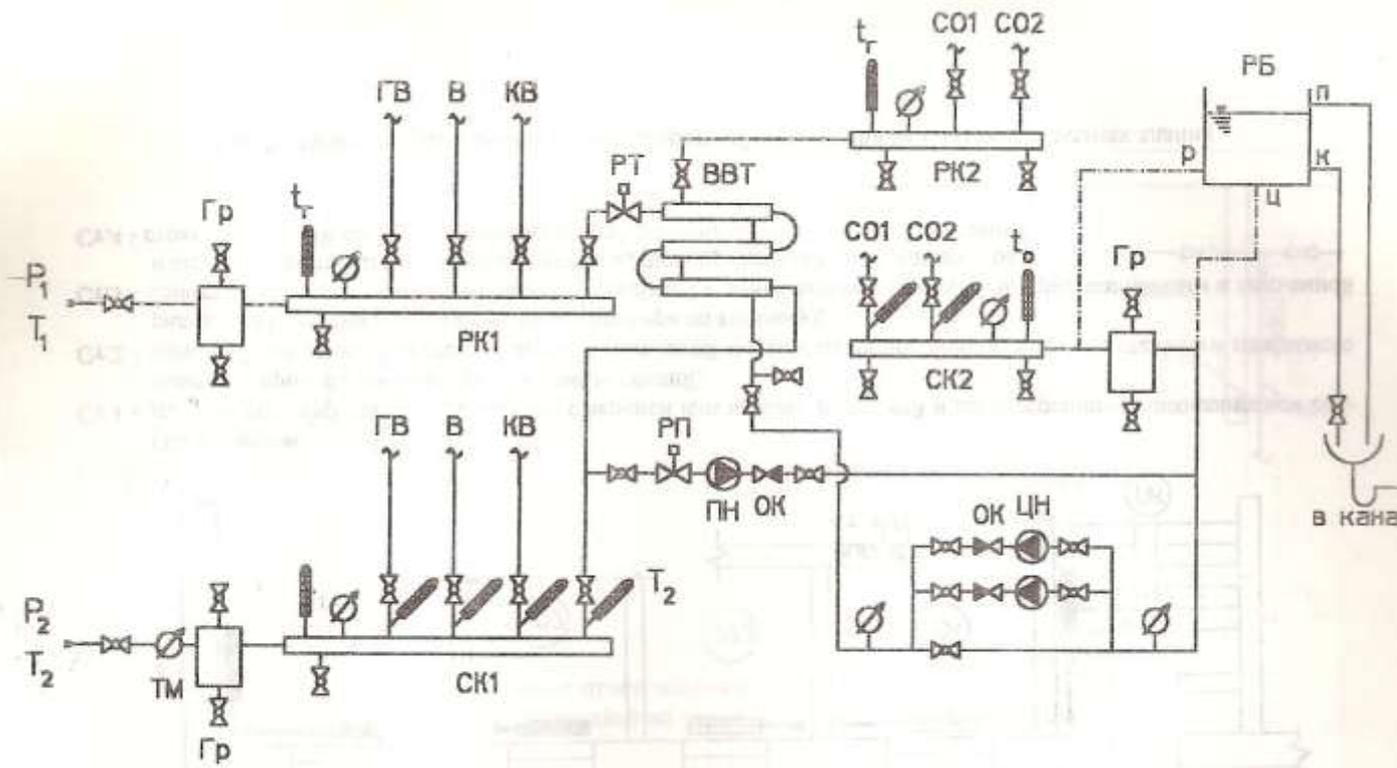
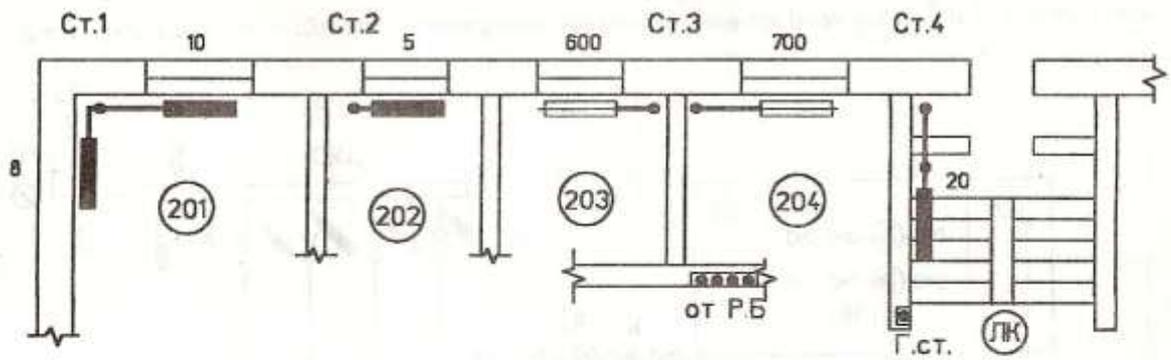


Рис.4. Схема теплового пункта с независимым присоединением системы отопления к тепловой сети



Обозначения:

- Ст.1 - угловой двухтрубный стояк в системе с верхней или нижней разводкой и двухсторонним присоединением секционного прибора (на плане указано число секций);
- Ст.2 - однотрубный стояк в системе с верхней разводкой и односторонним присоединением стального панельного радиатора РСВ1 (на плане указан номер прибора по каталогу);
- Ст.3 - однотрубный стояк в системе с нижней разводкой с конвектором «Универсал», присоединенным к подъемной и опускной частям стояка (на плане указана длина оребренной части конвектора);
- Ст.4 - стояк лестничной клетки с секционным прибором (на плане указано число секций)

Рис.5. Варианты размещения отопительного оборудования на поэтажных планах здания

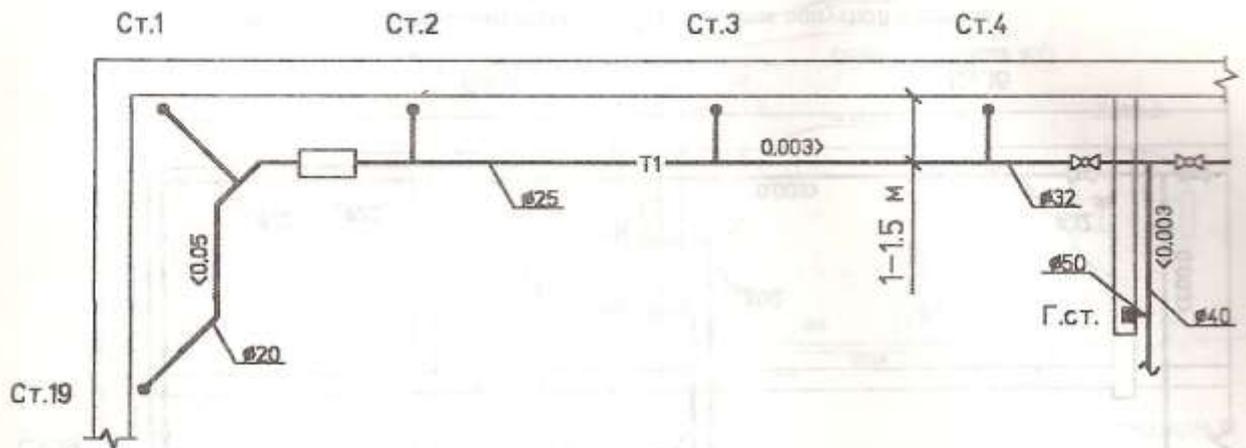


Рис.6. Размещение отопительного оборудования тупиковой системы с верхней разводкой на чердаке (техническом этаже) здания

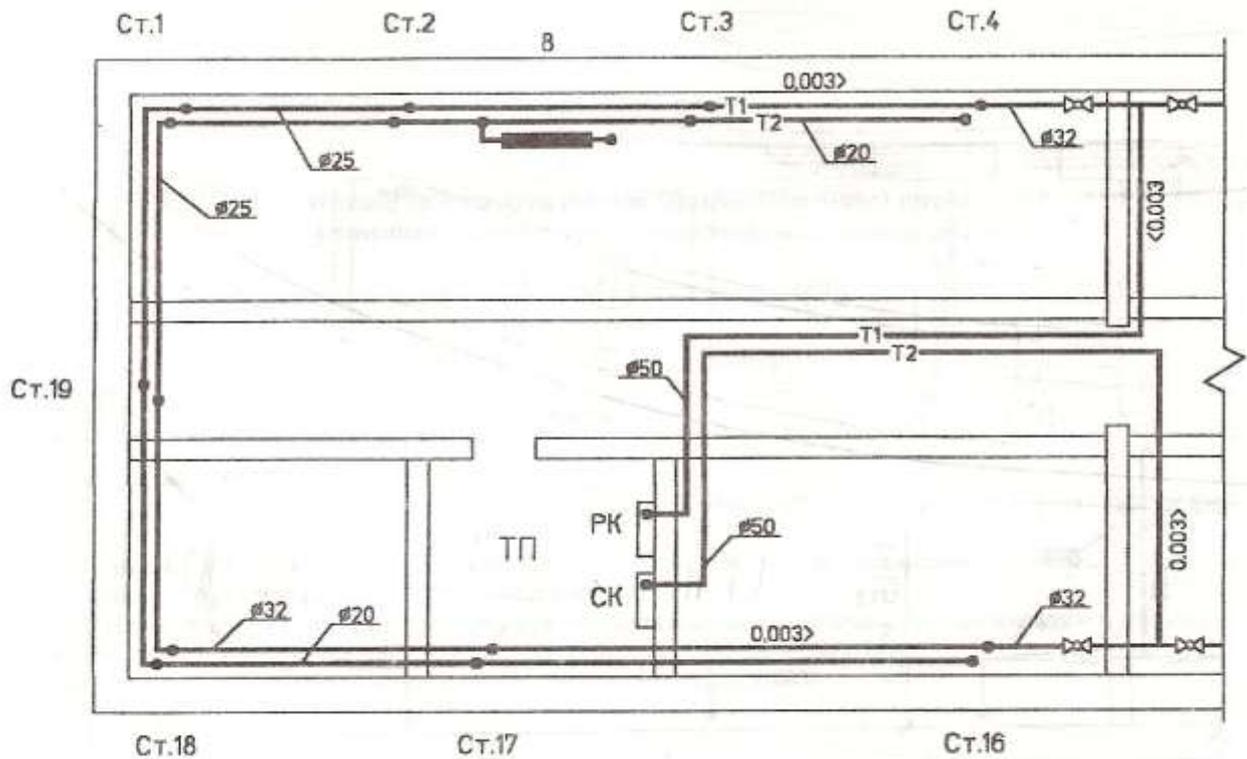


Рис.7. Размещение отопительного оборудования попутной системы с нижней разводкой на плане подвала (техподполья)

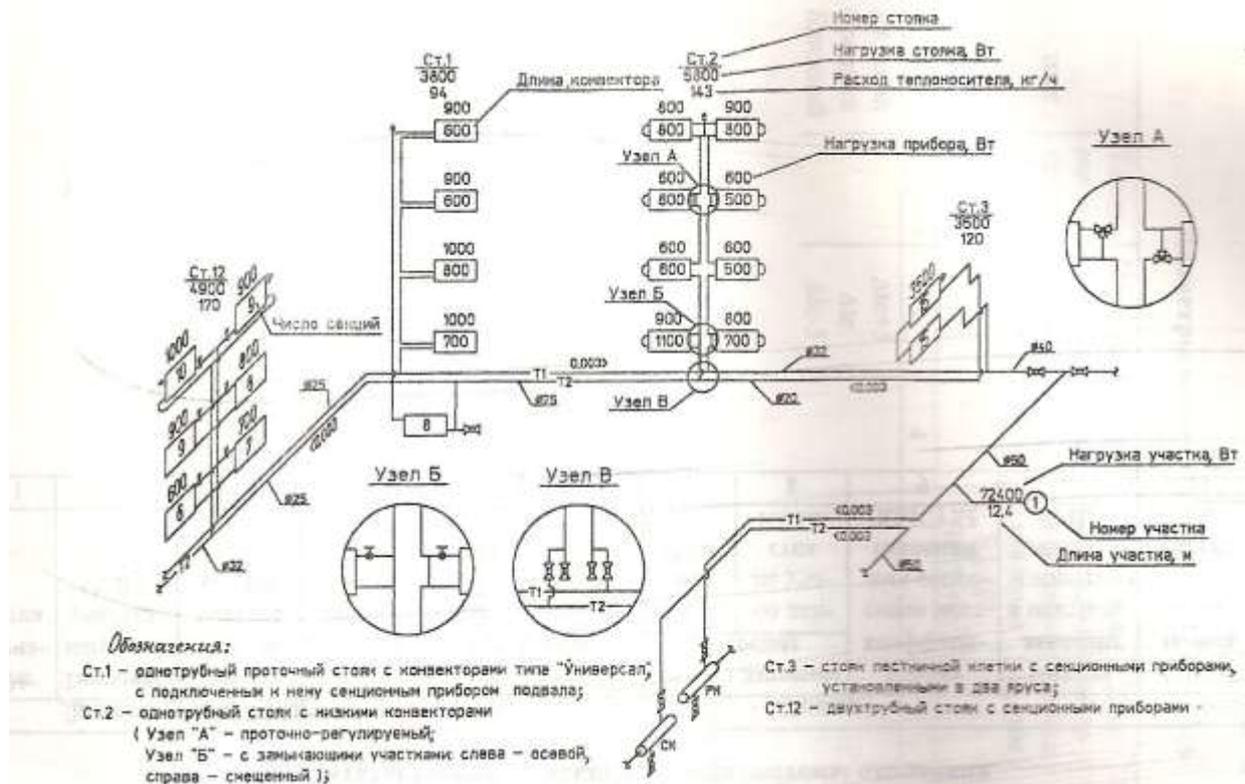


Рис.8. Оформление схемы системы отопления

### 5. 3. Примеры теплового расчета отопительных приборов

**Пример 1.** Определим число секций чугунного радиатора типа М-140А, устанавливаемого на верхнем этаже у наружной стены без ниши под подоконником (на расстоянии от него 40 мм) в помещении высотой 2,7 м при  $Q_{\text{п}}=1410$  Вт и  $t_{\text{в}}=18$  °С, если радиатор присоединяется к однетрубному проточно-регулируемому стояку  $D_{\text{y}}20$  (с краном типа КРТ на подводке длиной 0,4 м) системы водяного отопления с верхней разводкой при  $t_{\text{г}}=105$  °С и расходе воды в стояке  $G_{\text{ст}}=300$  кг/ч. Вода в подающей магистрали охлаждается до рассматриваемого стояка на 2 °С.

Средняя температура воды в приборе по формуле (4.21)

$$t_{\text{ср}} = (105 - 2) - 0,5 \cdot 1410 \cdot 1,06 \cdot 1,02 \cdot 3,6 / (4,187 \cdot 300) = 100,8 \text{ } ^\circ\text{С} .$$

Плотность теплового потока радиатора при  $\Delta t_{\text{ср}} = 100,8 - 18 = 82,8$  °С (изменение расхода воды в радиаторе от 360 до 300 кг/ч практически не влияет на  $q_{\text{пр}}$ ) по формуле (4.24) (здесь и далее в примерах использованы данные [10])

$$q_{\text{пр}} = 650(82,8 / 70)^{1+0,3} = 809 \text{ Вт/м}^2 .$$

Теплоотдача вертикальных ( $l_{\text{в}} = 2,7 - 0,5 = 2,2$  м) и горизонтальных ( $l_{\text{г}}=0,8$  м) труб  $D_{\text{y}}20$  по формуле (4.29)

$$Q_{\text{тр}} = 93 \cdot 2,2 + 115 \cdot 0,8 = 296 \text{ Вт} .$$

Расчетная площадь радиатора по формулам (4.26) и (4.27)

$$A_{\text{р}} = (1410 - 0,9 \cdot 296) / 809 = 1,41 \text{ м}^2 .$$

Расчетное число секций радиатора М-140А по формуле (4.30) при площади одной секции  $0,254 \text{ м}^2$  ( $\beta_4=1,05$ ,  $\beta_3 = 0,97 + 0,06 / 1,41 = 1,01$  по формуле (4.31))

$$N = (1,41 / 0,254)(1,05 / 1,01) = 5,8 \text{ секции} .$$

Принимаем к установке 6 секций.

**Пример 2.** Определим марку открыто устанавливаемого настенного конвектора с кожухом типа КН-20к «Универсал-20» малой глубины по условиям примера 4.1 (однетрубный стояк - проточный, т. е. без крана у прибора).

Средняя температура воды в приборе по формуле (4.21)

$$t_{\text{ср}} = (105 - 2) - 0,5 \cdot 1410 \cdot 1,04 \cdot 1,02 \cdot 3,6 / (4,187 \cdot 300) = 100,9 \text{ } ^\circ\text{С} .$$

Номинальная плотность теплового потока для конвектора «Универсал-20» составляет 357 Вт/м<sup>2</sup> (см. § 4.6). В нашем случае  $\Delta t_{cp} = 100,9 - 18 = 82,9$  °С (больше 70 °С) и  $G_{пр} = 300$  кг/ч (меньше 360 кг/ч). Поэтому пересчитываем значение плотности теплового потока конвектора по формуле (4.24)

$$q_{пр} = 357(82,9 / 70)^{1+0,3}(300 / 360)^{0,07} = 439 \text{ Вт/м}^2 .$$

Теплоотдача вертикальных ( $l_v = 2,7$  м) и горизонтальных ( $l_r = 0,8$  м) труб D<sub>y</sub>20 по формуле (4.29)

$$Q_{тр} = 93 \cdot 2,7 + 115 \cdot 0,8 = 343 \text{ Вт} .$$

Расчетная площадь конвектора по формулам (4.26) и (4.27)

$$A_p = (1410 - 0,9 \cdot 343) / 439 = 2,51 \text{ м}^2 .$$

Принимаем к установке один концевой конвектор «Универсал-20» с кожухом малой глубины марки КН 20-0,918к площадью 2,57 м<sup>2</sup> (длина кожуха 845 мм, монтажный номер У5).

**Пример 3.** Определим длину и число ребристых чугунных труб, устанавливаемых открыто в два яруса, в системе парового отопления, если избыточное давление пара в приборе 0,02 МПа ( $t_{нас} = 104,25$  °С),  $t_v = 15$  °С,  $Q_{п} = 6500$  Вт,  $Q_{тр} = 350$  Вт.

Разность температуры по формуле (4.16)

$$\Delta t_n = 104,25 - 15 = 89,25 \text{ °С} .$$

Плотность теплового потока прибора получим при коэффициенте теплопередачи ребристых чугунных труб, установленных одна над другой,  $k_{пр} = 5,8$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С):

$$q_{пр} = k_{пр} \Delta t_n = 5,8 \cdot 89,25 = 518 \text{ Вт/м}^2 .$$

Расчетная площадь прибора из ребристых труб по формуле (4.26)

$$A_p = (6500 - 0,9 \cdot 350) / 518 = 11,9 \text{ м}^2 .$$

Число ребристых труб в одном ярусе, задаваясь длиной выпускаемых труб 1,5 м, имеющих площадь нагревательной поверхности 3,0 м<sup>2</sup>, получим по формуле (4.34)

$$N = 11,9 / (2 \cdot 3,0) = 2 \text{ шт.}$$

Принимаем к установке в каждом ярусе по две последовательно соединенных чугунных ребристых трубы длиной 1,5 м. Общая площадь нагревательной поверхности прибора из четырех ребристых труб

$$A_{\text{пр}} = 3,0 \cdot 2 \cdot 2 = 12,0 \text{ м}^2.$$

#### 5. 4. Алгоритм теплового расчета отопительных приборов с применением ЭВМ

Общими исходными данными для выполнения тепловых расчетов с помощью ЭВМ отопительных приборов являются:

- вид системы отопления (вертикальная или горизонтальная, однотрубная, двухтрубная и т. д.);
- тип отопительного прибора;
- наличие в однотрубной системе отопления замыкающего участка и его положение (осевой или смещенный);
- расчетные параметры температуры теплоносителя (для однотрубной системы отопления только в том случае, если гидравлический расчет проводился при постоянном перепаде температуры воды в стояках);
- расчетное атмосферное давление в районе строительства здания;
- число рассчитываемых стояков или ветвей.

Тепловой расчет отопительных приборов проводят по отдельным стоякам (ветвям в горизонтальной системе), для каждого из которых подготавливают следующие показатели:

- номер стояка (ветви) по схеме;
- расчетные параметры температуры теплоносителя (для однотрубной системы, если гидравлический расчет проводился с переменным перепадом температуры воды в стояках);
- понижение расчетной температуры подаваемой воды от начала системы до первого прибора;
- расчетный расход воды (для однотрубной системы по результатам гидравлического расчета);
- число последовательно соединенных этажестояков (в однотрубной системе) или число приборов на стояке (в двухтрубной системе);
- диаметр и длина стояка, подводок к отопительному прибору и замыкающего участка (если он есть) на каждом этажестояке (отрезке ветви);
- для каждого этажестояка: тепловая нагрузка, расчетная температура воздуха в обогреваемом помещении, схема присоединения прибора (“сверху-вниз”, “снизу-вверх” или “снизу-вниз”), место установки прибора (у наружной стены или светового проема).

В программу расчета отопительных приборов с помощью ЭВМ, помимо расчетных формул, вносят следующие данные.

1. Теплотехническую характеристику приборов, а именно:
  - номинальную плотность теплового потока;
  - площадь нагревательной поверхности марок выбранного типа прибора в соответствии с его номенклатурным рядом (для радиаторов — площадь одной секции);
  - числовые значения показателей  $n$  и  $r$ .
2. Значения поправочных коэффициентов  $\beta$  (формулы (4.21) и (4.30) — все ссылки на формулы — см. выше «Конспект лекций») для выбранного типа прибора.

3. Теплоотдачу 1 м вертикально и горизонтально проложенных труб (формула (4.29)) в виде ряда для различных диаметров и температурных перепадов или упрощенной аппроксимирующей зависимости.
4. Необходимую точность расчетов (обычно допустимое отклонение действительной площади прибора от расчетной).

Общая программа теплового расчета отопительных приборов системы водяного отопления с помощью ЭВМ предусматривает последовательное выполнение расчетов после ввода исходных данных по следующим основным этапам.

1. Определение расчетной температуры воды, выходящей из отопительного прибора (для однотрубной системы) по формуле (7.24).
2. Вычисление расхода воды в приборе (для двухтрубной системы) применительно к формуле (8.2).
3. Расчет действительной плотности теплового потока отопительного прибора по формуле (4.24).
4. Расчет теплоотдачи греющих труб в помещении по формуле (4.29).
5. Определение требуемой теплоотдачи отопительного прибора по формуле (4.27).
6. Определение расчетной площади нагревательной поверхности отопительного прибора по формуле (4.26).
7. Выбор марки принятого типа отопительного прибора путем сравнения расчетной площади с площадью в номенклатурном ряде марок приборов, выпускаемых промышленностью, с учетом допустимой погрешности (в радиаторной системе расчет числа секций по формуле (4.30)).
8. Уточнение температуры воды, выходящей из отопительного прибора однотрубного стояка (ветви), в зависимости от значения принятой площади по формуле (4.36).
9. Повторение расчетов по пп. 3...7.
10. Переход к расчету следующего этажестояка или отрезка ветви (по ходу движения теплоносителя для однотрубной системы), начиная с п. 1 в однотрубной и с п. 2 в двухтрубной системе отопления.
11. Вывод на печать результатов расчета.

Расчет отопительных приборов в системе парового отопления проводят по пп. 3...7, 10, 11. При этом вычисление действительной плотности теплового потока прибора ведут по формуле (4.23). В исходные данные включают в качестве параметра теплоносителя расчетное начальное давление или соответствующую ему температуру пара в системе.

При выводе на печать итогов расчета помимо выбранной марки отопительного прибора (числа секций радиатора) для каждого этажестояка могут дополнительно приводиться данные, необходимые для составления проектно-сметной документации (например, масса приборов и труб, суммарное количество приборов по отдельным маркам и т. д.). Для этого в программе должны быть предусмотрены соответствующие формулы и циклы.

## 5. 5. Примеры гидравлического расчета систем отопления

**Пример 1.** Выполним гидравлический расчет основного циркуляционного кольца из легких водогазопроводных труб вертикальной однотрубной системы водяного отопления трехэтажного здания, присоединенной к наружным теплопроводам через водоструйный элеватор, при параметрах теплоносителя  $t_1=150$  °С,  $t_r=95$  °С,  $t_0=70$  °С. Тепловые нагрузки приборов, стояков и участков (Вт), длины участков (м) указаны на схеме (рис. 1). Отопительные приборы (радиаторы РСВ) установлены у световых проемов, присоединены к стоякам без уток со смещенными обходными участками на третьем этаже (с кранами КРТ) с осевыми замыкающими участками на втором и со смещенными замыкающими участками на первом (с кранами КРП) этаже.

Рис. 1

Основное циркуляционное кольцо выбираем при тупиковом движении воды в магистралях через стояк 2. Длина кольца 56 м (принимая, что правая ветвь системы значительно длиннее левой). Расчетное циркуляционное давление по формуле (7.38), пренебрегая как незначительной величиной  $\Delta p_{e,тр}$ ,  $\Delta p_p = \Delta p_n + \Delta p_{e,пр} = 5600 + 980 = 6580$  Па, принимая  $\Delta p_n = 5600$  Па по формуле (3.10) и определяя по формуле (7.28) и по таблицам Справочника проектировщика [10]

$$\Delta p_{e,пр} = (0,64 \cdot 9,81 / 4,187 \cdot 180)(1600 \cdot 3 + 1100 \cdot 6 + 1800 \cdot 9,25)3,6 \cdot 1,06 \cdot 1,1 = 980 \text{ Па}$$

при расходе воды в стояке по формуле (7.23)

$$G_{ст} = 4500 \cdot 3,6 \cdot 1,06 \cdot 1,1 / (4,187(95 - 70)) = 180 \text{ кг/ч} .$$

Средние удельные линейные потери давления по формуле (8.22)

$$R_{cp} = 0,65 \cdot 6580 / 56 = 76 \text{ Па/м} .$$

Результаты гидравлического расчета (по табл. II.1 и II.3 Справочника проектировщика [10]) вносим в бланк гидравлического расчета (табл. 1).

**Таблица 1. Гидравлический расчет основного циркуляционного кольца вертикальной однотрубной системы отопления**

Данные по участкам схемы				П р и н я т о							
№	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	D <sub>y</sub> , мм	w, м/с	R, Па/м	Rl, Па	Σζ	Z, Па	Rl + Z, Па	
1	33000	1320	15,0	32	0,355	57	855	2,0	123	978	
2	12500	500	5,0	20	0,38	130	650	11,9	840	1490	
3	4500	180	14,0	15	0,245	83	1162	15,35	450	1612	
4	-	120	0,5	15	0,16	39	20	2,3	29	49	
5	4500	180	3,0	15	0,245	83	249	0,8	24	273	
6	-	90	0,5	15	0,12	23	12	7,4	52	64	
7	4500	180	6,5	15	0,245	83	540	6,4	188	728	
8	12500	500	9,0	25	0,23	37	333	10,5	272	605	
9	33000	1320	2,0	32	0,355	57	114	1,0	62	176	
10	-	907,5	0,5	25	0,42	115	58	1,2	103	161	
Σl = 56,0				ΣRl = 3993				ΣZ = 2143		6136	

Примечания к табл. 1.

1. Расход воды на участке 4 при  $\alpha=0,33$  (по табл. 9.3 [10])  $G_4 = (1 - 0,33)180 = 120$  кг/ч.
2. Расход воды на участке 6 при  $\alpha=0,5$   $G_6 = (1 - 0,5)180 = 90$  кг/ч.
3. Расход воды на участке 10 по формулам (3.12) и (3.15)

$$G_{10} = G_c - G_1 = 1320 - 33000 \cdot 3,6 \cdot 1,06 \cdot 1,1 / (4,187(150 - 70)) = 907,5 \text{ кг/ч} .$$

4. Предварительный выбор диаметра участка D<sub>y</sub> проведен по значению R<sub>cp</sub>=76 Па/м по табл. II.1 [10].

По Справочнику проектировщика проверим правильность выбора коэффициентов затекания воды в приборы. По формуле (10.39) [10] найдем для приборов:

$$\text{на втором этаже } S_e = 31 \cdot 0,64 \cdot 0,5 \cdot 1100 / 180^3 = 18,7 \cdot 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2;$$

$$\text{на первом этаже } S_e = 31 \cdot 0,64 \cdot 0,5 \cdot 1600 / 180^3 = 27,2 \cdot 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2.$$

Так как полученные значения  $S_e$  меньше предельных, указанных в табл. 10.11 [10], то коэффициенты затекания воды  $\alpha$  (см. примечания I и 2 к табл. 1) могут быть оставлены без изменения.

Запас давления в основном циркуляционном кольце

$$((6580 - 6136) / 6580)100 = 6,75 \%$$

удовлетворяет условию, выраженному формулой (8.23).

При расчете приняты следующие значения коэффициентов местных сопротивлений на участках (по табл. II.10-II.15 Справочника проектировщика [10]), причем для смежных участков местное сопротивление тройника отнесено к участку с меньшей тепловой нагрузкой (соответственно, с меньшим расходом теплоносителя).

Участок 1: задвижка $D_y40$ .....	
0,5	
отводы $D_y32$ , 3 шт.....	
<u>0,5·3=1,5</u>	
	$\Sigma \zeta_1=2,0$
Участок 2: тройник на растекании при $\dot{G}_{\text{отв}} = G_{\text{отв}} / G_{\text{ств}} = 500 / 1320 = 0,38$ 10,1	
кран пробочный проходной $D_y20$ .....	<u>1,8</u>
	$\Sigma \zeta_2=11,9$
Участок 3: тройник на проходе при $\dot{G}_{\text{прох}} = 180 / 500 = 0,36$ .....	4,8
1,5	
воздухосборник.....	
отводы $D_y15$ , 4 шт.....	0,8·4=3,2
тройник на проходе при $\dot{G}_{\text{прох}}=1$ .....	0,7
радиатор РСВ при $D_y15$ .....	0,75
кран трехходовой $D_y15$ при проходе.....	<u>4,4</u>
	$\Sigma \zeta_3=15,35$
Участок 4: два тройника на проходе при $\dot{G}_{\text{прох}} = 1 - \alpha = 1 - 0,33 = 0,67$ ..1,15·2=2,3	
	$\Sigma \zeta_4=2,3$
Участок 5: отвод $D_y15$ .....	
$\zeta_5=0,8$	
Участок 6: тройник на ответвлении при $\dot{G}_{\text{отв}} = 1 - 0,5 = 0,5$ и делении потока 5,4	
то же, при слиянии потоков.....	<u>2,0</u>
	$\Sigma \zeta_6=7,4$
Участок 7: отводы $D_y15$ , 2 шт.....	0,8·2=1,6
тройник на проходе при $\dot{G}_{\text{прох}}=0,36$ .....	<u>4,8</u>
	$\Sigma \zeta_7=6,4$
Участок 8: отводы $D_y25$ , 2 шт.....	0,5·2=1,0
кран пробочный проходной $D_y25$ .....	1,7
тройник на противотоке при $\dot{G}_{\text{отв}} = 500 / 1320 = 0,38$ .....	<u>7,8</u>
	$\Sigma \zeta_8=10,5$

Участок 9: отвод $D_y32$ .....	0,5
задвижка $D_y40$ .....	<u>0,5</u>
	$\Sigma\zeta_9=1,0$
Участок 10: тройник на ответвлении при $\dot{G}_{отв} = 907,5 / 1320 = 0,7$ и делении потока.....	
$\Sigma\zeta_{10}=1,2$	

**Пример 2.** Определим располагаемое циркуляционное давление и среднюю удельную линейную потерю давления для гидравлического расчета второстепенного циркуляционного кольца однетрубной системы отопления, изображенной на рис. 1.

Гидравлический расчет второстепенного кольца через стояк 1 сводится в данном случае к расчету самого стояка 1. Располагаемое циркуляционное давление для расчета стояка 1 определяем по формуле (8.26)

$$\Delta p_{p.ст.1} = \Sigma(Rl + Z)_{3-7} + (\Delta p_{e.ст.1} - p_{e.ст.2}) = 2726 + (1027 - 980) = 2773 \text{ Па} ,$$

$$\text{где } \Delta p_{e.ст.1} = (0,64 \cdot 9,81 / 4,187 \cdot 320)(2500 \cdot 3 + 1900 \cdot 6 + 3600 \cdot 9,25)3,6 \cdot 1,06 \cdot 1,1 = 1027 \text{ Па} .$$

Среднее значение линейной потери давления  $R_{cp}$  вычисляем по формуле (8.22) при  $\Sigma l=15,5$  м:

$$R_{cp} = 0,65 \cdot 2773 / 15,5 = 116 \text{ Па/м} .$$

В результате гидравлического расчета аналогично расчету в примере 8.3 определяем  $d_{ст}=20$  мм,  $d_{3,y}=d_{подв}=15$  мм.

**Пример 3.** Выполним гидравлический расчет малого циркуляционного кольца отопительного прибора на втором этаже в стояке 2 рассмотренной в примере 8.3 однетрубной системы отопления (рис. 2). Расход воды в стояке  $G_{ст}=180$  кг/ч.

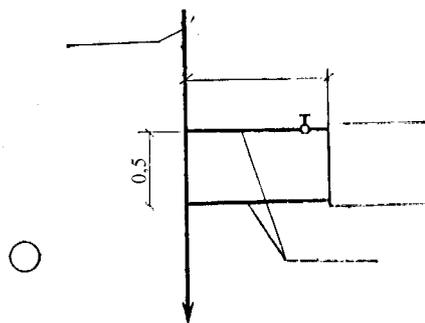


Рис. 2

Располагаемое циркуляционное давление в малом кольце определяем по формуле (8.31) при движении воды сверху вниз

$$\Delta p_{p.мал} = \Sigma(Rl + Z)_{3,y} \pm \Delta p_{e.мал} = 49 + 29 = 78 \text{ Па} ,$$

$$\text{где } \Sigma(Rl + Z)_{3,y} = \Sigma(Rl + Z)_4 = 49 \text{ Па}$$

(по табл.8.3 исходя из коэффициента затекания воды в прибор  $\alpha = 0,33$ );

$$\Delta p_{e, \text{мал}} = 0,5\beta g h_{\text{пр}}(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}) = 0,5 \cdot 0,64 \cdot 9,81 \cdot 0,5 \cdot 18,5 = 29 \text{ Па по формуле (7.30), принимая } \rho_{\text{вых}} - \rho_{\text{вх}} = \beta(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}});$$

$$t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}} = Q_{\text{т}} / (cG_{\text{пр}}) = 1100 \cdot 3,6 \cdot 1,06 \cdot 1,1 / (4,187 \cdot 0,33 \cdot 180) = 18,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

из формулы (4.3).

Результаты гидравлического расчета (по табл. II.1, II.3 в Справочнике проектировщика [10]) вносим в табл. 2.

**Таблица 2. Гидравлический расчет подводок к отопительному прибору на втором этаже (стояк 2)**

Данные по участкам схемы				П р и н я т о						
№	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	D <sub>y</sub> , мм	w, м/с	R, Па/м	Rl, Па	Σζ	Z, Па	Rl + Z, Па
11	-	60	2	15	0,081	10	20	14,6	47	67

Значения коэффициентов местных сопротивлений (по табл. II.10-II.15 в Справочнике проектировщика [10]):

тройник на ответвлении при α=0,33	
и делении потока .....	11,1
то же, при слиянии потоков.....	-1,65
радиатор РСВ при D <sub>y</sub> 15.....	0,75
кран КРП D <sub>y</sub> 15.....	4,4
	Σζ=14,6

Получено: Σ(Rl + Z)<sub>подв</sub> < Δp<sub>р.мал</sub>.

Следовательно, действительный коэффициент затекания воды будет несколько больше принятого при расчете. Невязка не превышает 15 %, поэтому расчет оставляем без изменения.

**Пример 4.** Выполним гидравлический расчет основного циркуляционного кольца насосной (элеваторной) двухтрубной системы водяного отопления с нижней разводкой и попутным движением воды в магистралях из труб по ГОСТ 10704-76\* при расчетной температуре воды t<sub>г</sub>=95 °С, t<sub>о</sub>=70 °С. Отопительные приборы - стальные панельные радиатора РСГ-2, размещенные у остекления световых проемов.

Рис. 3

Насосное циркуляционное давление, передаваемое в систему через элеватор, составляет Δp<sub>н</sub>= 10 кПа.

Выбираем основное циркуляционное кольцо через один из средних стояков 7 и отопительный прибор на первом этаже.

Вычисляем по формулам (7.39) и (7.33) расчетное циркуляционное давление, заменяя ρ<sub>о</sub> - ρ<sub>г</sub> = β(t<sub>г</sub> - t<sub>о</sub>) (см. формулу (7.26)) и принимая β=0,64 кг/(м<sup>3</sup>·°С) по табл. 10.4 [10] и h<sub>1</sub>=2,8 м:

$$\Delta p_{\text{р}} = 10000 + 0,4 \cdot 0,64 \cdot 9,81 \cdot 2,8(95 - 70) = 10176 \text{ Па} .$$

Определяем по формуле (8.22) среднее ориентировочное значение удельной линейной потери давления

$$R_{\text{ср}} = 0,65 \cdot 10176 / 123,7 = 53,5 \text{ Па/м} .$$

Заполняем в расчетном бланке (табл. 8.5) первые четыре колонки, беря показатели со схемы системы (рис. 8.8) и вычисляя расход воды на участках G по формуле (8.2) при  $\beta_1=1,06$  и  $\beta_2=1,1$ . Общая длина участков основного циркуляционного кольца  $\Sigma l=123,7$  м.

По расходу воды на участках выбираем диаметр труб  $D_y$ , ориентируясь на значение величины  $R_{cp}$ , записываем по таблицу скорость движения воды  $w$  и действительные значения удельных линейных потерь давления R. Затем вычисляем линейные потери давления на участках Rl.

Первоначальный запас

$$((\Delta p_p - \Sigma(Rl + Z)) / \Delta p_p)100 = ((10176 - 8138) / 10176)100 = 20 \% .$$

После уменьшения диаметра участка 17 (см. табл. 3) потери давления на нем увеличиваются до 1808 Па и запас циркуляционного давления в целом по системе составит

$$((10176 - 9156) / 10176) \cdot 100 = 10 \% .$$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений на участках магистралей и стояка найдена, как и для системы в примере 2. Например, для подводов к радиатору (участок 10) она составляет:

крестовина на ответвлении при делении потока при	
$\dot{d}_{отв} = 15 / 25 = 0,59$ , $\dot{G}_{отв} = 57 / 492 = 0,11$ и $\dot{G}_{отв.1} = \dot{G}_{отв.2} \dots$	15,3
кран двойной регулировки $D_y 15 \dots$	14,0
радиатор РСГ-2 при $D_y 15 \dots$	1,2
крестовина на ответвлении при слиянии потоков при	
$\dot{d}_{отв}=0,59$ и $\dot{G}_{отв.1}=\dot{G}_{отв.2}=0,11 \dots$	<u>-2,4</u>
$\Sigma \zeta_{10}=28,1$	

**Таблица 3. Гидравлический расчет основного циркуляционного кольца двухтрубной системы водяного отопления**

Данные по участкам схемы				П р и н я т о						
№	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	D <sub>y</sub> , мм	w, м/с	R, Па/м	Rl, Па	Σζ	Z, Па	Rl + Z, Па

Основное циркуляционное кольцо через стояк 7 и прибор на первом этаже,  
 $\Delta p_p=10176$  Па,  $R_{cp}=53,5$  Па/м

1	27060	10800	9,0	80	0,56	48	432	0,8	123	555
2	0	5400	8,0	65	0,39	30	240	6,8	506	746
3	13530	4920	8,0	65	0,355	25	200	0,2	12	212
4	0	4430	8,0	65	0,32	21	168	0,2	10	178
5	12300	3930	8,0	50	0,52	78	624	0,2	26	650
6	0	3450	6,0	50	0,46	60	360	0,2	21	381
7	11070	2950	12,0	50	0,39	45	540	0,5	37	577
8	0	2460	12,0	50	0,33	31	372	0,5	27	399
9	98400	493	1,8	25	0,24	42	76	8,4	236	312
10	86100	57	3,0	15	0,083	12	36	28,1	95	131
11	73800	493	1,4	25	0,24	42	59	3,4	96	155
12	61500	3450	6,0	50	0,46	60	360	0,7	72	432
13	12300	3930	8,0	50	0,52	78	624	0,7	93	717
14	1430	4430	8,0	50	0,59	98	784	0,7	119	903
15	12300	4920	8,0	65	0,355	25	200	0,5	31	231
16	86100	5400	4,0	65	0,39	30	120	5,5	408	528
17	98400	10800	12,0	(80	(0,56)	(48)	(576)	(1,4)	(214)	(790)
	11070			)	0,78	116	1392	1,4	416	1808
18	0	7425	0,5	65	0,54	56	28	1,5	213	241
	12300			65						
	0									
	13530	$\Sigma l = 123,7$							$\Sigma(Rl + Z) =$	
	0								(8138)	
	27060								9156	
	0									
	-									

В результате расчета для получения равенства (8.23) потребовалось уменьшить диаметр участка 17 (первоначальные данные в табл. 8.5 заключены в скобки), так как был получен запас циркуляционного давления (20 %), значительно превышающий требуемый – 5...10 %.

**Пример 5.** Выполним гидравлический расчет двух второстепенных циркуляционных колец системы отопления по условиям примера 4 и построим эпюру циркуляционного давления в ее магистралях.

Выбираем вначале второстепенное циркуляционное кольцо через ближний к тепловому пункту стояк 1 (см. рис. 3) и отопительный прибор на первом этаже.

Располагаемое циркуляционное давление для гидравлического расчета не общих участков, параллельно соединенных с участками основного циркуляционного кольца, т. е. еще не рассчитанных участков 19-26, определяем путем сложения известных потерь давления на участках от 3 до 11 (применительно к формуле (8.25)):

$$\Delta p_p = \Sigma(Rl + Z)_{3-11} = 2995 \text{ Па} .$$

Находим по формуле (8.22)

$$R_{cp} = 0,65 \cdot 2995 / 60,2 = 32 \text{ Па/м}.$$

Расчет потерь давления на участках 19-26 заносим в табл. 5.

**Таблица 5. Гидравлический расчет второстепенного циркуляционного кольца через стояк I двухтрубной системы отопления**

Данные по участкам схемы				П р и н я т о						
№	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	D <sub>y</sub> , мм	w, м/с	R, Па/м	Rl, Па	Σζ	Z, Па	Rl + Z, Па
19	12300	492	1,8	25	0,24	42	76	8,4	235	311
20	1400	56	3,0	15	0,081	11	33	28,1	90	123
21	12300	492	9,4	25	0,24	42	395	6,9	194	589
22	24600	984	8,0	32	0,305	48	384	1,5	68	452
23	36900	1440	8,0	40	0,31	38	304	1,2	56	360
24	49200	1968	6,0	50	0,26	20	120	0,7	23	143
25	61500	2460	12,0	50	0,33	31	372	1,0	53	425
26	73800	2950	12,0	50	0,39	45	540	1,0	74	614
		Σl = 60,2								Σ(Rl + Z) = 3017

Невязка  $((2995 - 3017) / 2995)100 = -0,7 \%$ , что допустимо.

Затем выбираем второстепенное циркуляционное кольцо через наиболее удаленный от теплового пункта стояк 11 и прибор на первом этаже.

Располагаемое циркуляционное давление для гидравлического расчета не общих участков (еще не рассчитанных) этого кольца определяем, как и ранее, применительно к формуле (8.25) путем сложения уже известных потерь давления от 9 до 15 участка основного кольца:

$$\Delta p_p = \Sigma(Rl + Z)_{9-15} = 2881 \text{ Па} .$$

Вычисляем по формуле (8.22)

$$R_{cp} = 0,65 \cdot 2881 / 36,2 = 52 \text{ Па/м} .$$

Расчет потерь давления на участках 27-32 заносим в табл. 6.

**Таблица 6. Гидравлический расчет второстепенного циркуляционного кольца через стояк XI двухтрубной системы отопления**

Данные по участкам схемы				П р и н я т о						
№	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	D <sub>y</sub> , мм	w, м/с	R, Па/м	Rl, Па	Σζ	Z, Па	Rl + Z, Па

27	49200	1968	6,0	(50	(0,26)	(20)	(120)	(0,2)	(7)	(127)
				)	0,42	70	420	0,2	17	437
28	36900	1440	8,0	40	0,45	100	800	0,3	30	830
29	24600	984	(8,0)	32	(0,45)	(131)	(1048)	(0,3)	(30)	(1078)
			4,0	(25	0,305	48	)	0,3	14	206
			4,0	)	0,45	131	192	-	-	524
30	12300	492	9,8	32	0,24	42	524	4,4	123	535
31	1550	62	3,0	25	0,091	14	412	28,1	114	156
32	12300	492	1,4	25	0,24	42	42	8,4	96	155
				15			59			
				25						
		$\Sigma l = 36,2$							$\Sigma(Rl + Z) =$ (2881)	
									2873	

Невязка  $((2881 - 2881) / 2881)100 = 0$ .

На рис. 4 представлена эпюра циркуляционного давления в магистралях системы отопления, построенная на основании гидравлического расчета трех циркуляционных колец через приборы на первом этаже ближнего 1, среднего 7 (см. пример 4) и дальнего 11 стояков. На рисунке отмечены запас А циркуляционного давления в основном кольце (осн. ц. к) системы и невязки Б (-0,7 %) и В (0), полученные при расчете не общих участках второстепенных колец соответственно через стояки 1 и 11.

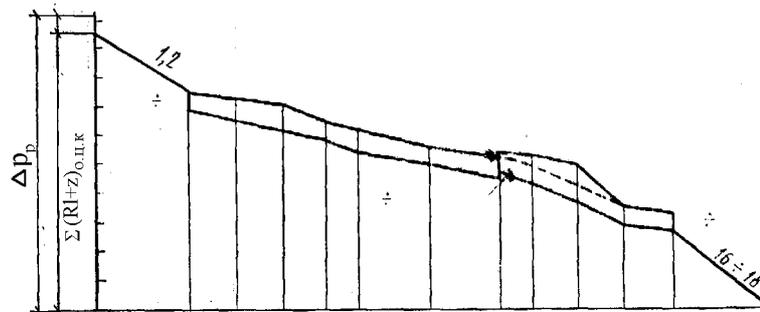


Рис. 4

Из эпюры видно, что разности давления во всех промежуточных стояках обеспечивают необходимое направление движения теплоносителя. Однако для стояков 8 и особенно 9 разности давления в подающей и обратной магистралях слишком велики (по сравнению с разностями в расчетных стояках). Для уменьшения разностей давления изменяем диаметр участков 27 и 29 (см. табл.8.7, где заменяемые числа заключены в скобки), причем участок 29 составляем из труб  $D_{y32}$  ( $l_1=4,0$  м) и  $D_{y25}$  ( $l_2=4,0$  м). Окончательная линия изменения давления в подающей магистрали между стоякам 7 и 10 показана на рис. 8.9 пунктиром. Невязка после изменения диаметра участков 27 и 29 составляет

$((2881 - 2873) / 2881)100 = 0,3 \%$ .

При гидравлическом расчете вертикальной двухтрубной системы отопления после расчета основного и второстепенных циркуляционных колец через отопительные приборы на нижнем этаже дополнительно рассчитывают стояки. Расчет стояков двухтрубной системы сводится к

выбору диаметра труб с увязкой потерь давления на параллельно соединенных участках (согласно формуле (8.10)), так как общие участки циркуляционных колец уже рассчитаны. При этом учитывается изменение естественного циркуляционного давления для приборов, размещаемых на различных этажах.

**Пример 6.** Выполним гидравлический расчет труб стояка 7 для теплоснабжения отопительных приборов на втором этаже по условиям примера 5. Тепловые нагрузки участков стояка и отопительных приборов указаны на рис. 4.

Располагаемое циркуляционное давление для расчета не общих участков, параллельно соединенных с участком 10 основного циркуляционного кольца находим по формуле (8.32, 6), заменяя в ней, как и раньше,  $(\rho_o - \rho_r)$  на  $\beta(t_r - t_o)$ .

При  $\Sigma(Rl + Z) = 131$  Па,  $\beta = 0,64$  кг/(м<sup>3</sup>·°С) и  $h_2 = 3,3$  м (см. рис. 8.8) получим

$$\Delta p_{p,п} = 131 + 0,4 \cdot 9,81 \cdot 3,3 \cdot 0,64(95 - 70) = 131 + 207 = 338 \text{ Па} .$$

Определяем по формуле (8.22)

$$R_{cp} = 0,65 \cdot 338 / 9,6 = 23 \text{ Па/м} ,$$

и расчет потерь давления на участках 33-35 сводим в табл. 8.8.

**Таблица 7. Гидравлический расчет циркуляционного кольца через стояк 7 и отопительный прибор на втором этаже**

Данные по участкам схемы				П р и н я т о						
№	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	D <sub>y</sub> , мм	w, м/с	R, Па/м	Rl, Па	Σζ	Z, Па	Rl + Z, Па
33	9440	378	3,3	25	0,185	25	83	1,5	25	108
34	1085	43	3,0	15	0,063	4,9	15	28,1	55	70
35	9440	378	3,3	25	0,185	25	83	2,4	40	123
		Σl = 9,6							Σ(Rl + Z) = 301	

Невязка:  $((338 - 301) / 338)100 = 10,9\%$ , что допустимо.

Гидравлический расчет циркуляционных колец через отопительные приборы, расположенные на вышележащих этажах, выполняют аналогично. При этом потери давления на уже рассчитанных вертикальных участках стояка в располагаемое циркуляционное давление не включают.

При гидравлическом расчете ветвей горизонтальных однотрубных систем необходим предварительный расчет отопительных приборов, так как расчетная длина участков в ветвях зависит от длины приборов. Длину приборов определяют ориентировочно исходя из значений номинального теплового потока, приведенных в справочной литературе.

Отопительные приборы с трубчатыми нагревательными элементами D<sub>y</sub>15 и D<sub>y</sub>20 включают в каждую горизонтальную ветвь как последовательно соединенные расчетные участки (см. приборы ветви II на рис. 6.5). Длину проточных отопительных приборов с каналами и трубами D<sub>y</sub>32- D<sub>y</sub>100 (см. приборы ветви I на рис. 6.5) вычитают из длины ветвей, т. е. они уменьшают расчетную длину соединяющих их труб. Расчетная длина труб при приборных узлах с замыкающими и обходными участками зависит от расположения этих участков (см., например,

ветви на втором и третьем этажах на рис. 7.24). Если замыкающие участки находятся под приборами (см. рис. 5.10, а), то их длина определяется длиной приборов.

Для придания горизонтальной однетрубной системе многоэтажного здания вертикальной устойчивости при гидравлическом расчете поэтажных ветвей исходят из условия

$$\Delta p_{\text{ветвь}} \geq \Delta p_{\text{е.макс}}, \quad (8.33)$$

которое означает, что потери давления в горизонтальной ветви не должны быть меньше максимального значения естественного циркуляционного давления, возникающего при охлаждении воды в приборах на верхнем этаже здания (см. формулу (7.35)). При этом скорость движения воды в трубах ветви должна превышать 0,25 м/с для обеспечения надежного уноса воздуха.

При гидравлическом расчете ветвей возможны два случая.

1. Основное циркуляционное кольцо выбрано по выражению (8.21) и рассчитано через горизонтальную ветвь на первом этаже. Тогда располагаемое циркуляционное давление для гидравлического расчета дополнительных параллельных участков, соединяющих ветвь приборов на втором этаже с горизонтальной ветвью приборов на первом этаже, определяется по формуле (8.32, а) или (8.32, б), причем потерей давления на участке  $m$  в формуле будет потеря давления во всей горизонтальной ветви на первом этаже.
2. Основное циркуляционное кольцо выбрано и рассчитано через горизонтальную ветвь на верхнем  $N$ -м этаже. Тогда располагаемое циркуляционное давление для гидравлического расчета лежащей ниже горизонтальной ветви на  $(N - 1)$ -м этаже составит

$$\Delta p_{p,N-1} = \Sigma(Rl + Z)_N + 0,4gh_N(\rho_o - \rho_r), \quad (8.34)$$

где  $\Sigma(Rl + Z)_N$  - потери давления (ранее вычисленные) на участках, параллельно соединенных с новой ветвью, Па;  $h_N$  - вертикальное расстояние между условными центрами охлаждения воды в ветвях на  $N$ -м и  $(N-1)$ -м этажах, м.

Невязка потерь давления в параллельно соединенных горизонтальных однетрубных ветвях допустима до 15 %.

На основании гидравлического расчета выполняют окончательный тепловой расчет отопительных приборов с учетом теплоотдачи труб.

## 5. 6. Пример проверочного расчета отопительной печи

**Пример 1.** Проверим пригодность тонкостенной печи повышенного прогрева марки ПТК-3000 (см. рис.) для отопления углового помещения деревянного здания. Помещение имеет размер в плане 5,25x3,55 м, высоту 3 м, двойные окна площадью 4,8 м<sup>2</sup>, внутреннюю дверь площадью 1,8 м<sup>2</sup>. Расчетные теплопотери помещения  $Q_{\text{п}}=3100$  Вт. Топливо для печи - дрова с  $Q_{\text{п}}^{\text{р}}= 12600$  кДж/кг. Печь массой 780 кг обладает коэффициентом  $M=0,44$  при двух топках в сутки.

Принимаем продолжительность топки печи по табл. 12.1 с поправочным коэффициентом 1,5 для печи повышенного прогрева, т. е.  $m = 1,25 \cdot 1,5 = 1,9$  ч. При двух топках в сутки промежутки времени между топками  $n = 12 - 1,9 = 10,1$  ч.

**Расчет топливника.** Расход дров за одну топку по формуле (11.1 – см. Конспект лекций) составляет

$$G = 3,6 \cdot 3100 \cdot 12 / (12600 \cdot 0,7) = 15,2 \text{ кг}.$$

Расчетная площадь пода печи по формуле (11.2) при  $\rho=400$  кг/м<sup>3</sup> и  $h_{\text{ст}}=0,3$  м (Прил. 1 [31])

$$A_{\text{под}} = 15,2 / (400 \cdot 0,3) = 0,127 \text{ м}^2$$

близка к фактической площади пода (см. рис.), равной  $0,51 \cdot 0,26 = 0,133 \text{ м}^2$ .

В топливнике печи установлена колосниковая решетка размером  $0,25 \times 0,15 \text{ м}$ . Удельное напряжение колосниковой решетки найдем из формулы (11.3)

$$B_p = 15,2 / (1,9 \cdot 0,25 \cdot 0,15) = 213 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2),$$

что меньше допустимого напряжения, равного  $250 \text{ кг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ .

Требуемую высоту топливника вычислим по формуле (11.4) при  $Q_T/V_T = 405000 \text{ Вт}/\text{м}^3$  (Прил. 1)

$$h_T = 15,2 \cdot 12600 \cdot 0,9 / (3,6 \cdot 1,9 \cdot 0,133 \cdot 405000) = 0,47 \text{ м}.$$

Высоту топливника печи по рис. (соответственно размеру кирпича  $0,42 \dots 0,49 \text{ м}$ ) оставляем без изменения.

Площадь поддувального отверстия печи составляет  $A_{п.о} = 0,12 \cdot 0,12 = 0,0144 \text{ м}^2$ . Скорость движения воздуха в поддувальном отверстии определим из формулы (11.5) при  $L_0 = 10 \text{ м}^3/\text{кг}$  (Прил. 1) и  $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$v = 15,2 \cdot 10(1 + (20 / 273)) / (3600 \cdot 1,9 \cdot 0,0144) = 1,7 \text{ м}/\text{с}.$$

Скорость движения воздуха в допустимых пределах.

**Проверка тепловосприятости печи.** Печь за срок нагревания и остывания (12 ч) должна передать в помещение общее количество теплоты, найденное по формуле (11.6),

$$Q_{\text{общ}}^{\text{TP}} = 3,6 \cdot 3100 \cdot 12 = 133920 \text{ кДж}.$$

По рис. установим площадь внутренней поверхности топливника и газоходов печи, по Прил. 2 [31] - плотность воспринимаемого теплового потока:

топливник.....  $a_T = 0,9 \text{ м}^2$ ,  $q_T = 7000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;  
первый газоход с перевалом.....  $a_1 = 1,03 \text{ м}^2$ ,  $q_1 = 5200 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ;  
промежуточные газоходы.....  $a_{\text{пр}} = 1,5 \text{ м}^2$ ,  $q_{\text{пр}} = 2670 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

Тепловосприятие внутренними стенками печи в течение 1 ч вычислим по формуле (11.8)

$$Q_{\text{воспр}} = 3,6(7000 \cdot 0,9 + 5200 \cdot 1,03 + 2670 \cdot 1,5) = 56380 \text{ кДж}/\text{ч}.$$

В течение одной топки (1,9 ч) тепловосприятие печи составит

$$Q_{\text{общ}} = mQ_{\text{воспр}} = 1,9 \cdot 56380 = 107120 \text{ кДж},$$

что значительно меньше требуемого тепловосприятости ( $133920 \text{ кДж}$ ).

Увеличим высоту газоходов печи на  $0,13 \text{ м}$  (один ряд кирпича на ребро). Площадь восприятости возрастет: первого газохода на  $0,1 \text{ м}^2$ , промежуточных на  $0,46 \text{ м}^2$ . Тогда

$$mQ_{\text{воспр}} = 1,9 \cdot 3,6(7000 \cdot 0,9 + 5200 \cdot 1,13 + 2670 \cdot 1,96) = 119080 \text{ кДж}.$$

Отклонение от  $Q_{\text{общ}}^{\text{TP}}$ , равное 11 %, допустимо.

Таким образом, принимаем высоту печи  $1,55 + 0,13 = 1,68 \text{ м}$ .

**Расчет скорости движения газов в каналах печи.** Скорость движения газов найдем по формуле (11.9):

в первом газоходе (см. рис. 12.6) при температуре газов 700 °С (Прил. 2)

$$v_1 = 15,2 \cdot 10(1 + (700 / 273)) / (3600 \cdot 1,9 \cdot 0,13 \cdot 0,26) = 2,34 \text{ м/с} ;$$

в промежуточных газоходах при температуре газов 500 °С

$$v_{\text{пр}} = 15,2 \cdot 10(1 + (500 / 273)) / (2 \cdot 3600 \cdot 1,9((0,445 \cdot 0,06) + (0,255 \cdot 0,125))) = 0,54 \text{ м/с} .$$

Скорость движения газов находится в допустимых пределах (Прил. 2).

**Проверка теплоаккумуляции печи.** Печь должна аккумулировать количество теплоты, вычисленное по формуле (11.10)

$$Q_{\text{акк}}^{\text{тр}} = 3,6 \cdot 3100 \cdot 10,1 = 112716 \text{ кДж} .$$

Активный объем (см. рис. 12.6) с учетом увеличения высоты печи

$$V_a = 0,775 \cdot 0,52(1,35 + 0,13) = 0,596 \text{ м}^3 .$$

Объем полостей в печи:

в топливнике -  $0,51 \cdot 0,26 \cdot 0,42 = 0,0557 \text{ м}^3$  ;

в вертикальных каналах -  $0,255 \cdot 0,58(0,51 + 0,13) = 0,0946 \text{ м}^3$  ;

в каналах 14-го ряда -  $0,34 \cdot 0,39 \cdot 0,13 \cdot 2 - 0,21 \cdot 0,065 \cdot 0,13 \cdot 4 = 0,028 \text{ м}^3$  ;

у загрузочной дверцы -  $0,2 \cdot 0,4 \cdot 0,12 = 0,0096 \text{ м}^3$  .

Общий объем полостей в пределах активного объема печи  $V_{\text{пол}} = 0,188 \text{ м}^3$ .

**Действительная теплоаккумуляция печи по формуле (12.11)**

$$Q_{\text{акк}} = (0,596 - 0,188)1650 \cdot 0,88 \cdot 160 = 94787 \text{ кДж} .$$

Отклонение от  $Q_{\text{акк}}^{\text{тр}}$ , равное 15 %, допустимо.

**Проверка плотности теплоотдачи печи.** Площадь наружной нагревательной поверхности, относящейся к активному объему печи, составляет:

боковых стенок (включая теплоотдачу и широкую отступку)  $(0,775 + 0,52)2(1,35 + 0,13) = 3,83 \text{ м}^2$  ;

перекрыши (с поправочным коэффициентом 0,75) -  $0,775 \cdot 0,52 \cdot 0,75 = 0,3 \text{ м}^2$ .

Общая “приведенная” площадь  $A_{\text{п}} = 3,83 + 0,3 = 4,13 \text{ м}^2$ .

Плотность теплового потока на “приведенной” теплоотдающей поверхности печи повышенного прогрева, вычисленная по формуле (12.12),

$$q_{\text{отд}} = 3100 / 4,13 = 750 \text{ Вт/м}^2$$

находится в допустимых пределах.

**Расчет амплитуды колебаний температуры воздуха** в обогреваемом помещении. Для определения амплитуды вычислим сумму произведений коэффициента теплопоглощения В на площадь А всех ограждений помещения, используя значения В, приведенные в справочной литературе:

наружные стены дощатые с известковой штукатуркой

$$(ВА)_{\text{н.с}} = 4,3(3(5,25 + 3,55) - 4,8) = 92,9 \text{ Вт/}^{\circ}\text{С} ;$$

двойные окна

$$(BA)_{ок} = 2,67 \cdot 4,8 = 12,8 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C} ;$$

внутренние стены дощатые с известковой штукатуркой

$$(BA)_{в.с} = 4,21(3(5,25 + 3,55)) = 111,1 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C} ;$$

дверь

$$(BA)_{дв} = 2,9 \cdot 1,8 = 5,2 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C} ;$$

пол деревянный

$$(BA)_{пл} = 2,99 \cdot 5,25 \cdot 3,55 = 55,7 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C} ;$$

потолок деревянный

$$(BA)_{пт} = 3,62 \cdot 5,25 \cdot 3,55 = 67,5 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C} .$$

Всего  $\Sigma(BA) = 92,9 + 12,8 + 111,1 + 5,2 + 55,7 + 67,5 = 345,2 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C} .$

Амплитуду колебаний температуры воздуха в помещении найдем по формуле (11.16)

$$A_t = 0,7 \cdot 0,44 \cdot 3100 / 345,2 = 2,8 \text{ }^{\circ}\text{C} < 3 \text{ }^{\circ}\text{C} .$$

**Вывод:** печь марки ПТК-3000 пригодна для отопления заданного помещения при условии увеличения высоты ее газоходов на 0,13 м, т. е. на один ряд кладки кирпича на ребро.