

## **Часть 1. Общие сведения об отоплении. Классификация систем отопления**

Целью практическим занятий является получение теоретических знаний и приобретение навыка проектирования современных систем отопления для разработки студентами курсового проекта по отоплению гражданского здания, а в последствии и выпускной квалификационной работы.

Объектами курсовых проектов являются гражданские здания (например, жилые многоквартирные дома с встроенно-пристроенными автостоянками, магазины, предприятия общественного питания, учебные заведения, гостиницы, административные здания, детские, лечебные учреждения, зрелищные и спортивные сооружения), а в выпускных квалификационных работах и зданий производственного назначения.

Курсовое проектирование ведется студентом с использованием результатов, полученных в курсовой работе по дисциплине «Строительная теплофизика и микроклимат зданий» (тип здания и его планировка, район строительства, теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, экспликация и расчетные тепловые потери помещений и здания в целом).

На практических занятиях обучающийся изучает основные вопросы проектирования, расчеты, материалы по конструированию системы отопления.

### **1.1 Общие сведения об отоплении.**

**Система отопления** – это совокупность конструктивных элементов со связями между ними, предназначенных для получения, переноса и передачи теплоты в обогреваемые помещения здания.

Таким образом система отопления включает в себя **три основных конструктивных элемента** (рисунок 1.1):

– источник теплоты (отопительный котел при местном или теплообменник при централизованном теплоснабжении) – элемент для получения теплоты;

- теплопроводы – элемент для переноса теплоты от источника теплоты к отопительным приборам;
- отопительные приборы – элемент для передачи теплоты в помещение.

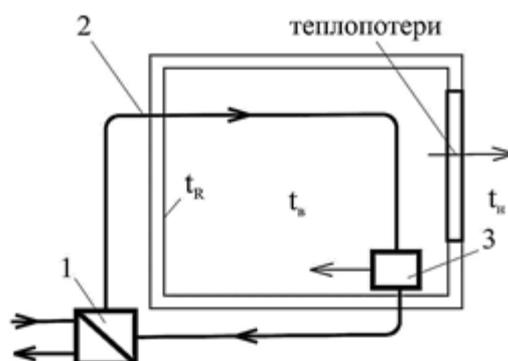


Рис. 1.1. Основные конструктивные элементы системы отопления

1 — источник теплоты (теплогенератор или теплообменник); 2 — подающий теплопровод;  
3 — отопительный прибор

## 1.2 Назначение и продолжительность работы отопления.

*Отопление* предназначено для создания расчетной температурной обстановки в помещениях зданий различного назначения, благоприятной для отдыха и работы человека, обеспечения технологических процессов, хранения материалов, продуктов и пр.

Отопление большинства жилых, общественных и производственных зданий должно работать при продолжительном стоянии (не менее 5 сут) наружной температуры воздуха  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (или  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и ниже, когда внутренних бытовых тепловыделений не достаточно для поддержания необходимой температуры в помещении.

Большая часть территории России в современных границах относится к Северной строительно-климатической зоне, охватывающей первый климатический район, который характеризуется длительным холодным периодом, обуславливающим необходимость соответствующей теплозащиты зданий и сооружений от продувания сильными ветрами и повышенной относительной влажности наружного воздуха, особенно, в приморских районах с большой продолжительностью отопительного сезона, низкими значениями

средней температуры воздуха наиболее холодных пятидневок при обеспеченности 0,92 и 0,98 и за отопительный сезон при средней суточной температуре наружного воздуха  $\leq 8$  (10) °С. Кроме того, плотность населения в России почти в 20 раз меньше, чем в европейских странах.

Суровость отопительного сезона, в течение которого работает отопление, выражается числом градусо-суток отопительного периода (ГСОП), равным произведению продолжительности отопительного периода  $Z_{от.п.}$ , сут, на разность расчетной температуры воздуха  $t_{в}$ , °С, в характерном помещении здания в холодный период года и температуры наружного воздуха  $t_{от.п.}$ , °С, средней за отопительный период.

Этим и объясняется важность энергоресурсосбережения, необходимость обеспечения мер по повышению энергоэффективности при проектировании и эксплуатации зданий и сооружений в России.

### **1.3. Определение расчетной тепловой мощности системы отопления здания**

Расчетная тепловая мощность системы отопления  $Q_{co}$ , Вт, определяется по формуле:

$$Q_{co} = k Q_{зд} \beta_1 \beta_2, \quad (1.1)$$

где  $k$  – поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные тепловые потери, связанные с охлаждением теплоносителя в тепловых сетях и магистралях, проходящих в не отапливаемых 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 теплотери отапливаемого здания, Вт (из курсовой работы по дисциплине «Строительная теплофизика и микроклимат зданий»);

$\beta_1$  – коэффициент, учитывающий тепловой поток отопительных приборов за счет округления их площади сверх расчетной величины, принимаемый по табл.1 прил. 12 [1];

$\beta_2$  – коэффициент, учитывающий дополнительные потери теплоты отопительными приборами, расположенными у наружных ограждений,

принимаемый по табл. 2 прил. 12 СНиП 2.04.05-91\* «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

### Пример определения расчетной тепловой мощности системы отопления здания

**Задача.** Определить расчетную тепловую мощность для отопления помещений общежития, изображенных на рисунке 1.2. Конструкцию и способ установки отопительных приборов принимаем соответствующими коэффициентам  $\beta_1 = 1,04$  и  $\beta_2 = 1,03$  ( $k = 1,0$ ).

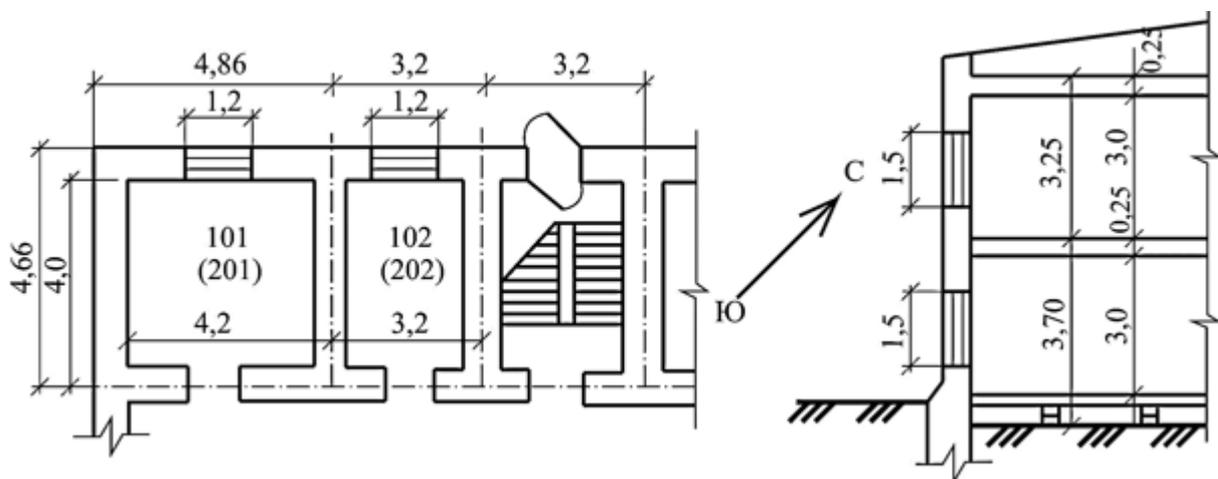


Рис. 1.2. План и разрез здания общежития

**Решение:** Расчетная тепловая мощность определяется величиной теплотеря помещений в целом за вычетом бытовых теплопоступлений  $Q_{\text{быт}}$ .

Расчет тепловой мощности проведен по формуле (1.1) и сведен в таблицу 1.1.

Таблица 1.1.

#### Расчет тепловой мощности для отопления помещений

Номер помещения	Наименование помещения	Теплопотери помещения, Вт	Бытовые тепловыделения, Вт	Расчетная тепловая мощность, Вт
101	Жилая комната	2939	208	2925
102	То же	1495	178	1411
201	То же	2987	208	2977

202	То же	1679	178	1608
А	Лестничная клетка	1996	0	2138

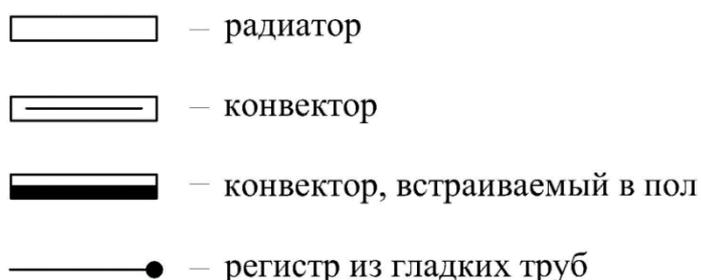
#### 1.4. Оформление чертежей

Чертежи оформляются строго согласно ГОСТ 21.602-2016 и ГОСТ Р 21.101-2020, а условные обозначения на чертежах принимаются согласно ГОСТ 21.205-2016 и ГОСТ 21.206-2012.

На чертежах все элементы системы отопления выполняются основной толстой линией (0,5–0,6 мм). Толщину линий можно уменьшать до 0,3 мм, для обозначения арматуры, если это необходимо для удобства чтения чертежа. Линии, обозначающие архитектуру здания, принимают толщиной 0,2–0,3 мм, а сноски и вспомогательный линии 0,05 мм.

Планы здания, как правило, вычерчиваются в масштабе 1:100. На планах должны быть нанесены архитектурные оси и размеры между ними, архитектурные решения здания, отопительные приборы, стояки, магистрали, арматура на магистралях, тепловой пункт.

Отопительные приборы на планах обозначаются прямоугольниками, в зависимости от типа отопительного прибора, согласно рисунку 1.3.



*Рис. 1.3. Условные обозначения отопительного прибора*

Размеры отопительного прибора на плане выбираются ориентируясь по размерам применяемого прибора, но, как правило, устанавливаются постоянными по всему плану здания. Отступ от поверхности конструкций принимается условно 1 мм. При масштабе поэтажных планов 1:100, рекомендуемые размеры отопительных приборов приведены на рисунке 1.4.

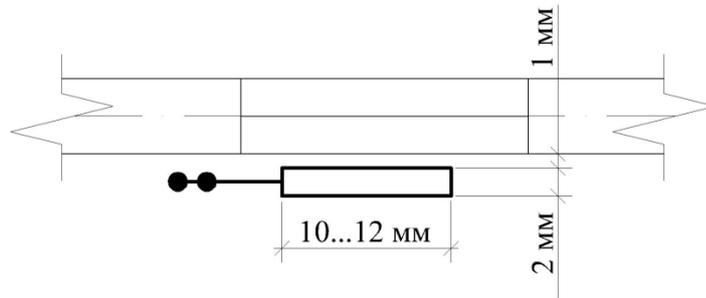


Рис. 1.4. Размеры отопительного прибора на плане

На планах напротив отопительных приборов, как правило, с внешней стороны ограждающей конструкции здания обозначается тип/марка/количество секций отопительного прибора, и величина настройки термостатического клапана. Значение теплотрат помещения, Вт, наносят на планы этажей рядом с номером помещения (см. рис. 1.5).

Стояки на планах изображаются кружками, к которым одной основной линией присоединяются отопительные приборы. Стояки нумеруются, начиная с верхнего левого помещения на плане, номера их записываются за пределами здания. Стояки двухтрубных систем отопления изображаются двумя точками, им присваивается один номер (см. рис. 1.5). Отдельно указывается и обозначается главный стояк системы отопления.

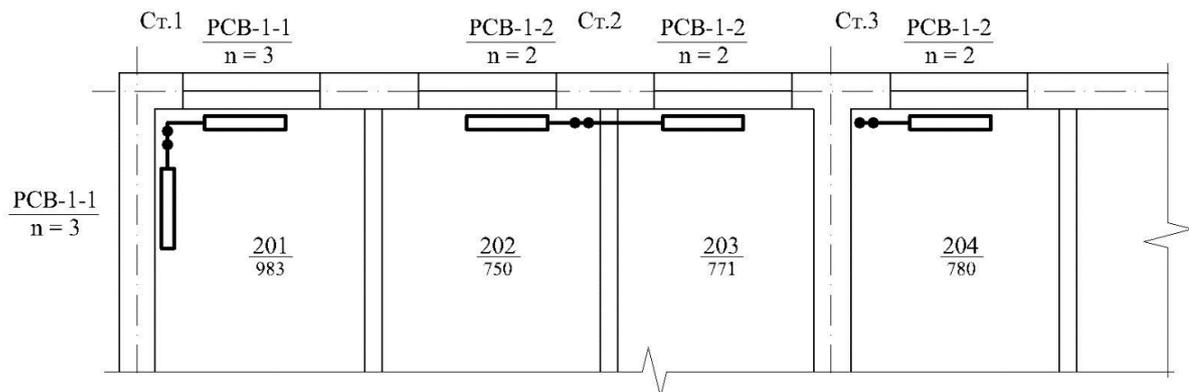


Рис. 1.5. Пример оформления плана второго этажа

Магистральные трубопроводы изображаются на плане подвала при нижнем расположении подающей и обратной магистралей, на плане подвала и чердака при верхнем расположении подающей магистрали. Для этого места расположения стояков и их номера переносятся на планы подвала и чердака.

Магистральные теплопроводы подписываются по назначению, например: Т11, Т21, Т12, Т22, где первая цифра указывает назначение теплопровода (1 – подающий, 2 обратный), а вторая цифра указывает номер системы отопления.

Расстояние между теплопроводами на планах должно быть не менее требуемых для выполнения монтажных работ, и не менее 2 мм, для удобства чтения чертежа.

На планах подвала и чердака, на магистралях указывается запорная и регулирующая арматура, размером не менее реального согласно принятому масштабу, и не менее того, который необходим для удобного чтения чертежа. Условные обозначения и размеры представлены в Приложении А, согласно ГОСТ 21.205-2016. На планах не указывается арматура, расположенная на подводках отопительных приборов и на стояках.

На чертеже, возле магистралей указывается уклон, их диаметр (после окончания гидравлического расчета), а также наличие теплоизоляции (см. рис. 1.6).

По окончанию принятия инженерных решений по реконструкции вычерчивают схему системы отопления в аксонометрической проекции в соответствии с расположением основных элементов системы на планах здания. Схема, как правило, вычерчивается в масштабе 1:100. Точность длины магистралей принимается до 0,1 м.

Размер оборудования на схеме должен быть не менее реальных размеров оборудования и не менее того, который необходим для удобного чтения чертежа. Размер отопительных приборов допускается принимать постоянным по всей схеме. При масштабе 1:100, как правило, принимается 7x12 мм. Над прибором указывается его расчетная мощность, а внутри прибора тип/марка/количество секций отопительного прибора.

На схеме указывается арматура, установленная на магистралях системы, а также наличие термостатических клапанов и кранов Маевского у отопительных

приборов. Остальная арматура указывается в вынесенных узлах, масштабом 1:25, или 1:50.

На схеме также указывается отметка уровня пола каждого этажа, а также отметка расположения магистралей. Магистралы вычерчивают без учета предусмотренного уклона, но на них последовательно наносят обозначение, диаметр (после гидравлического расчета), направление и величину уклона, и наличие теплоизоляции. Диаметр стояков либо подписывается на схеме, либо при равенстве диаметров по всем стоякам указывается в примечании к чертежу.

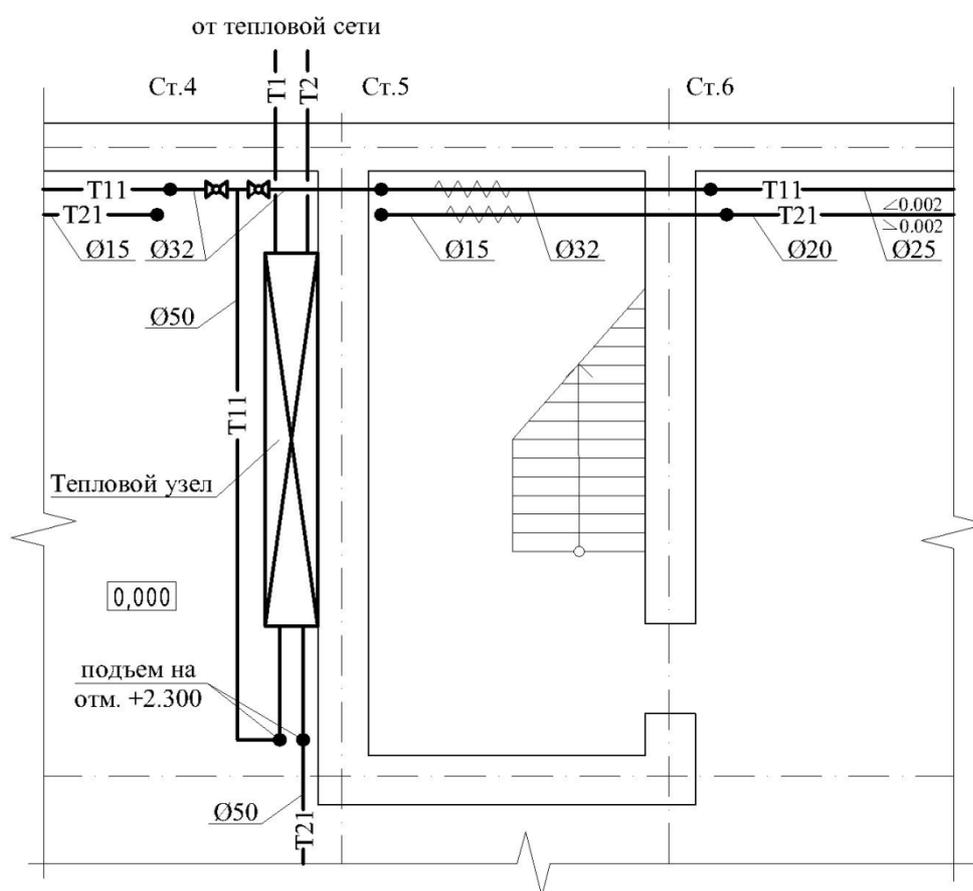


Рис. 1.6. Пример оформления плана подвала при нижней разводке магистралей

### 1.5. Определение расхода воды в системе отопления

Расход воды  $G_{co}$ , кг/ч, определяется по формуле:

$$G_{co} = 3,6 Q_{co} / (c (t_r - t_o)), \quad (1.2)$$

где  $c$  - удельная теплоемкость воды, равная  $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ .

### **Пример определения общего расхода воды в системе отопления**

**Задача 1.** Определить общий расход воды в системе отопления с параметрами теплоносителя (высокотемпературной сетевой воды) на вводе в здание:

- температура в подающей магистрали  $T_1 = 140^\circ\text{C}$ ;
- температура в обратной магистрали  $T_2 = 70^\circ\text{C}$ ;
- температура в подающей магистрали в системе отопления  $t_r = 95^\circ\text{C}$ ;
- температура в обратной магистрали в системе отопления  $t_o = 65^\circ\text{C}$ .

Расчетная тепловая мощность системы отопления  $Q_{co} = 68398 \text{ Вт}$ .

### **Решение:**

Общий расход воды в системе отопления:

$$G_{co} = 3,6 \cdot 68398 / (4,2 (95 - 65)) = 1959 \text{ кг/ч},$$

где  $c$  - удельная теплоемкость воды, равная  $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ .

## **1.6. Выбор системы отопления**

Системы отопления (отопительные приборы, теплоноситель, температуру теплоносителя  $t_r$  или теплоотдающей поверхности) следует принимать по прил. Д СП 60.13330. В жилых и общественных зданиях преимущественно предусматриваются системы водяного отопления. Температура воды после системы  $t_o$  обычно принимается равной  $70^\circ\text{C}$  при зависимой схеме присоединения системы отопления к тепловой сети и на  $5-10^\circ\text{C}$  ниже температуры обратной воды в теплосети – при независимой схеме присоединения.

В помещениях категорий А и Б следует проектировать, как правило, воздушное отопление. Допускается применение других систем отопления по прил. Д СП 60.13330, за исключением помещений, в которых хранятся или

применяются вещества, образующие при контакте с водой или водяными парами взрывоопасные смеси, или вещества, способные к самовозгоранию или взрыву при взаимодействии с водой.

**Центральное воздушное отопление** применяется в помещениях производственных, гражданских и агропромышленных зданий при наличии центральной системы приточной вентиляции. Отопление осуществляют по трем описанным выше схемам: с полной рециркуляцией, с частичной рециркуляцией, и прямоточной.

Полную рециркуляцию воздуха применяют главным образом в нерабочее время для дежурного отопления или для нагревания помещений перед началом работы при прерывистом отоплении. Так поступают, если полная рециркуляция не противоречит требованиям гигиены, пожаро- и взрывобезопасности помещений. При этом используется имеющаяся центральная система приточной вентиляции, но воздух забирается не снаружи, а из отапливаемых помещений и нагревается до температуры, определяемой по формуле:

$$t_{\Gamma} = t_{\text{в}} + \frac{3,6Q_{\text{п}}}{cG_{\text{вент}}}, \quad (2.1)$$

где  $t_{\text{в}}$  – температура воздуха в помещении, °С;  $Q_{\text{п}}$  – максимальная теплотребность помещения для поддержания в помещении расчетной температуры, Вт;  $c$  – удельная массовая теплоемкость воздуха, равная 1,005 кДж/(кг·К);  $G_{\text{вент}}$  – количество вентиляционного воздуха, кг/ч.

В рабочее время центральное воздушное отопление подчиняется условиям вентилирования помещений. Приточный воздух нагревается до температуры более высокой, чем температура помещений в зависимости от теплотребности, выявленной при составлении теплового баланса этих помещений.

Системы лучистого отопления и нагревания с газовыми или электрическими инфракрасными излучателями допускается проектировать для отопления отдельных производственных помещений или зон категорий В3, В4,

Г и Д, для обогрева участков и отдельных рабочих мест в неотапливаемых помещениях, на открытых и полукрытых площадках, а также для помещений общественных зданий с непостоянным пребыванием людей (торговые залы магазинов, залы ожидания вокзалов, спортивные залы, рынки и др.). Применение газовых излучателей в подвальных помещениях, а также в зданиях III, IV и V степеней огнестойкости не допускается.

Системы парового отопления, как правило используются на предприятиях, где пар производится для технологических нужд. Это позволяет сократить количество источников теплоты.

В системе парового отопления зданий и сооружений используется водяной пар, свойства которого как теплоносителя для отопления рассмотрены ранее. Водяной пар в системе состоит из смеси сухого насыщенного пара и капелек воды, т. е. находится во влажном состоянии. Влажное состояние изменяется при движении пара по трубам. По пути движения пара происходит, как ее называют, попутная конденсация части пара вследствие теплопередачи через стенки труб в окружающую среду. Поэтому, строго говоря, по паропроводам системы перемещается пароконденсатная смесь, плотность которой должна вычисляться по плотности сухого насыщенного пара с учетом его доли в смеси (степени сухости пара) при данном содержании влаги. Практически же при расчетах паропроводов исходят из плотности сухого пара.

Давление пара в начале системы обуславливается допустимой температурой теплоносителя, схемой и радиусом действия системы, способом возвращения конденсата на тепловую станцию. При выборе давления исходят, прежде всего, из нормативного ограничения температуры пара в отопительных приборах. Как известно, максимальная температура не должна превышать 130 °С, а во взрыво- и пожароопасных помещениях — 110 °С.

В замкнутой системе с непосредственным возвращением конденсата в котел начальное давление пара  $p_n$ , МПа, определяют исходя из высоты помещения котельной:

$$p_{\text{п}} = 10^{-2}(h_{\text{пом}} - (h_{\text{кот}} + 0,5D + 0,55)) , \quad (2.2)$$

где  $h_{\text{пом}}$  – высота помещения котельной, м;  $h_{\text{кот}}$  и  $D$  – высота котла и диаметр его паросборника, соответственно, м.

Помещения котельных обычно имеют высоту 3,5—4 м. Начальное давление пара при этом не будет превышать 0,02 МПа.

В разомкнутой системе с возвращением конденсата через сборный конденсатный бак начальное давление пара зависит от конечного давления и потерь давления в системе. При открытом конденсатном баке и самотечном конденсатопроводе начальное давление пара:

$$p_{\text{п}} = \Delta p_{\text{пар}} + p_{\text{пр}}, \quad (2.3)$$

где  $\Delta p_{\text{пар}}$  – потери давления в паропроводе от теплового пункта до наиболее удаленного (концевого) отопительного прибора;  $p_{\text{пр}}$  – необходимое давление перед вентилем концевого прибора, принимаемое равным 2 000 Па при отсутствии конденсатоотводчика за прибором и 3 500 Па при использовании термостатического конденсатоотводчика.

При закрытом конденсатном баке и напорном конденсатопроводе начальное давление пара:

$$p_{\text{п}} = \Delta p_{\text{пар}} + \Delta p_{\text{конд}} + p_{\text{кон}}, \quad (2.4)$$

где  $\Delta p_{\text{конд}}$  – потери давления в напорном конденсатопроводе (включая конденсатоотводчик);  $p_{\text{кон}}$  – конечное избыточное давление в закрытом баке, принимаемое равным 0,02—0,05 МПа.

**Задача 2.** Выбрать систему отопления, обслуживающую жилое многоквартирное здание. Источник теплоты – тепловая сеть с расчетным температурным графиком теплоносителя-воды 130/70 °С. Система вентиляции в здании предусмотрена с естественным побуждением.

**Решение:**

Согласно приложению Д СП 60.13330 для жилых, общественных и административнобытовых зданий допускается применение:

- поквартирной водяной системы с радиаторами или конвекторами при

температуре теплоносителя не более 95 °С;

- водяная система с радиаторами, панелями и конвекторами при температуре теплоносителя для двухтрубных систем – не более 95 °С, для однетрубных – не более 105 °С;

- водяная система с нагревательными элементами, встроенными в наружные стены, перекрытия и полы;

- воздушная система отопления;

- электрическая и газовая с температурой на теплоотдающей поверхности не более 95 °С.

1. Поскольку источником теплоты является водяная тепловая сеть, то вариант с применением электрической и газовой системы отопления не рассматривается, как оптимальный.

2. Жилые здания, как правило, не оборудуются механической системой вентиляции. В рассматриваемом варианте представлена система вентиляции с естественным побуждением, следовательно совмещение воздушного отопления с системой вентиляции исключено. Установка отдельной системы воздушного отопления требует достаточно больших затрат площади на размещение воздуховодов, при этом жилая площадь здания имеет большое значение с точки зрения продажи квартир, а также комфорта пребывания жильцов. Следовательно вариант воздушной системы отопления не рассматривается.

3. Водяная система с нагревательными элементами, встроенными в наружные стены, перекрытия и полы может быть применима, согласно СП 60.13330 только в зданиях, сроком эксплуатации не более 25 лет. Усложнение строительных конструкций, внедрением в них дополнительных трубных систем, создает сложности монтажа и эксплуатации таких систем. Следовательно данный вариант не является предпочтительным.

Таким образом, в рассматриваемом здании рекомендуется применение

водяных систем отопления либо поквартирной, либо двухтрубой, или однетрубной системы.

Поскольку температура теплоносителя в тепловой сети, значительно больше требуемой температуры в системе отопления (105 или 95 °С), то в здании необходима установка индивидуального теплового пункта, для изменения температуры теплоносителя.

В качестве отопительных приборов, согласно приложению Д СП 60.13330 допускается применение конвекторов, или радиаторов.

**Задача 3.** Определить расход приточного воздуха системы воздушного отопления, спортивного зала, если используется система с полной рециркуляцией воздуха. Тепловые потери помещения спортзала 16 000 Вт. Температура воздуха в зале 20 °С.

**Решение:**

1. В спортивных залах, согласно приложению Д СП 60.13330 допускается применение воздушной системы отопления. При этом СП 60.13330 накладывает дополнительное требование:

*В системах воздушного отопления температуру воздуха при выходе из воздухораспределителей следует принимать не выше 70 °С и не менее чем на 20 °С ниже температуры самовоспламенения газов, паров, аэрозолей и пыли, выделяющихся в помещении.*

Поскольку в помещении спортивного зала не выделяются самовоспламеняющиеся газы, пары и аэрозоли, то температуру на выходе из воздухораспределителей можно принять не выше 70 °С. Принимаем температуру воздуха 65 °С.

*Примечание: Температура приточного воздуха зависит во многом от способа подачи воздуха в помещение. Как определить температуру приточного воздуха в зависимости от способа воздухораспределения в помещении будет рассмотрено в разделе «Воздушное отопление».*

2. При известных тепловых потерях спортивного зала, и выбранной температуре приточного воздуха, можно определить расход воздуха в воздушной системе отопления:

$$G_{\text{вент}} = \frac{3,6Q_{\text{п}}}{c(t_{\text{г}} - t_{\text{в}})} = \frac{3,6 \cdot 16\,000}{1,005(65 - 20)} = 1274 \text{ кг / ч,}$$

где  $t_{\text{в}}$  – температура воздуха в помещении, °С;  $Q_{\text{п}}$  – максимальная теплопотребность помещения для поддержания в помещении расчетной температуры, Вт;  $c$  – удельная массовая теплоемкость воздуха, равная 1,005 кДж/(кг·К);  $G_{\text{вент}}$  – количество вентиляционного воздуха, кг/ч.

**Задача 4.** Определить начальное значение давления пара в замкнутой системе с непосредственным возвращением конденсата в котел, если известно, что высота помещения котельной 3,5 м, высота и диаметр парового котла соответственно 2 м и 0,8 м.

**Решение:**

В замкнутой системе с непосредственным возвращением конденсата в котел начальное давление пара  $p_{\text{п}}$ , МПа, определяют исходя из высоты помещения котельной:

$$p_{\text{п}} = 10^{-2}(h_{\text{пом}} - (h_{\text{кот}} + 0,5D + 0,55)) = 10^{-2}(3,5 - (2 + 0,5 \cdot 0,8 + 0,55)) = 0,0055 \text{ МПа}$$