

Часть 4. Гидравлический расчет систем водяного отопления

4.1. Методы гидравлического расчета

Задача гидравлического расчета состоит в определении диаметров труб участков системы отопления, исходя из необходимости подачи требуемого количества теплоты к каждому отопительному прибору.

В практике проектирования систем отопления применяется несколько методов расчета: метод удельных потерь давления, метод, основанный на использовании характеристик гидравлического сопротивления. Значительно реже используется метод динамических давлений, метод приведенных или эквивалентных длин и метод эквивалентных сопротивлений.

Гидравлический расчет систем отопления выполняется в основном по методу удельных потерь давления и методу, основанному на использовании характеристик гидравлического сопротивления.

4.2. Составление схемы системы отопления

При расчете любым методом оформление схемы системы отопления (рис. 4.1) начинают с распределения расчетной тепловой нагрузки по отопительным приборам. Для этого используются результаты расчета теплопотерь помещений здания из курсовой работы по дисциплине «Строительная теплофизика и микроклимат зданий». Тепловые нагрузки приборов $Q_{пр}$, Вт, равные теплопотерям помещений, записывают на схеме над отопительными приборами, 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, и расчетный расход воды в

стояке. 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 $\Sigma Q_{\text{ст}}$ с общим теплопотреблением на отопление здания $Q_{\text{со}}$.

4.3. Определение расчетного циркуляционного давления 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 ΔP_p , Па, является известным, расчетное давление определяется по следующим формулам:

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

$$\Delta P_p = \Delta P_n + \Delta P_{\text{е.пр}} + \Delta P_{\text{е.тр}} \quad (4.1)$$

- то же с нижней разводкой обеих магистралей:

$$\Delta P_p = \Delta P_n + \Delta P_{\text{е.пр}} \quad (4.2)$$

- в двухтрубной или горизонтальной однетрубной системе с верхней разводкой:

$$\Delta P_p = \Delta P_n + 0,4(\Delta P_{\text{е.пр}} + \Delta P_{\text{е.тр}}) \quad (4.3)$$

- то же с нижней разводкой:

$$\Delta P_p = \Delta P_n + 0,4\Delta P_{\text{е.пр}} \quad (4.4)$$

где ΔP_n – насосное циркуляционное давление, Па, определяемое согласно п. 2.1;

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

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

Естественное давление определяется согласно указаниям в п. 10.7. [4, 6] и учитывается только в том случае, если его суммарная величина больше, чем $0,1 \Delta P_n$.

4.4. Гидравлический расчет системы отопления по методу удельной линейной потери давления на трение

4.4.1. Выбор основного циркуляционного кольца (ОЦК)

За основное циркуляционное кольцо (ОЦК) принимается наиболее протяженная и нагруженная (имеющая наибольшую тепловую нагрузку) часть системы, где средние удельные потери давления на трение R_{cp} , Па/м, имеют наименьшее значение:

$$R_{cp}=0,65 \Delta P_p/(\sum l)_{оцк}, \quad (4.5)$$

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

При попутном движении воды в магистралях вертикальной системе 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 проходит через наиболее удаленный и 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 наиболее

нагруженный отопительный прибор при использовании на нем ручного регулировочного крана или через верхний прибор – при использовании в многоквартирном здании у прибора регулировочного термодвухходового клапана.

При двухстороннем присоединении приборов к стояку ОЦК принимают проходящим через наиболее нагруженный из них, а в горизонтальной системе отопления – через ее верхнюю ветвь.

ОЦК разбивается на n участков (элемент схемы с неизменными внутренним диаметром трубы D , мм, и расходом теплоносителя G , кг/ч). Участки ОЦК нумеруют, начиная от распределительного коллектора и кончая сборным. В курсовом проекте номера участков записывают в кружках у выносных линий, сверху которых указывают тепловую нагрузку участка Q , Вт (количество теплоты, которое несет в себе участок к последующим стоякам, ветвям или частям системы отопления, или уже им отдал), а снизу – длину l , м, (см. рисунок 4.1). В дипломном проекте на чертежах участки не нумеруются, а расчетная схема с их нумерацией помещается в пояснительную записку к проекту. Следует обратить внимание на определение длины участка, проходящего в вертикальном стояке через отопительные приборы конвекторного типа, а также длины замыкающего участка в горизонтальной однетрубной ветви с двухсторонним присоединением прибора любого типа. В этом случае необходимо заранее по величине номинального теплового потока определить ориентировочно марку и длину прибора.

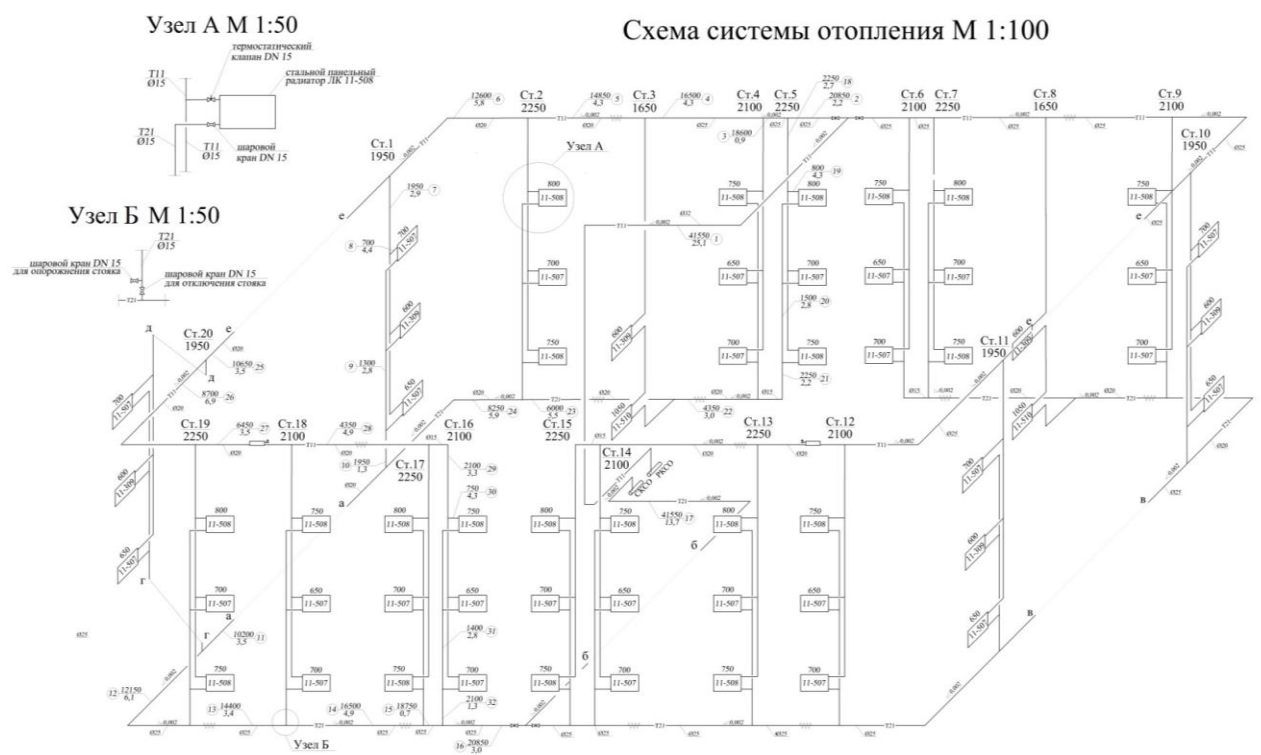


Рис.4.1. Оформление схемы системы отопления

4.4.2. Определение расчетных потерь давления в ОЦК системы отопления

Результаты гидравлического расчета последовательно заносят в табл. 4.1. Графы 1...4 таблицы заполняют по данным схемы ОЦК: номер участка n , его тепловая нагрузка Q , Вт, расход воды на участке G , кг/ч, определяемый по формуле (4.4) с подстановкой в числителе соответствующего значения Q , Вт, и его длина l , м.

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

Предварительный выбор диаметра условного прохода трубы на участках D_y , мм, проводят по величине средних удельных потерь давления на трение $R_{\text{ср}}$, Па/м, определяемых по формуле (4.5). Диаметр стальных водогазопроводных неоцинкованных труб (ГОСТ 3262-75*) выбирают, ориентируясь на величину расчетного расхода воды на участке G , кг/ч, и заносят его в графу 5 таблицы

4.1. При выборе диаметра необходимо следить, чтобы изменение расхода на последовательно соединенных участках ОЦК происходило (во избежание возможных гидравлических ударов) в точном соответствии со стандартами изменения 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.

Таблица 4.1

Результаты гидравлического расчета системы отопления

Данные по схеме ОЦК				Принято						
№ уч.	Тепловая нагрузка уч. Q, Вт	Расход воды на уч. G, кг/ч	Длина уч. l, м	Диаметр усл. прохода D _y , мм	Скорость движения воды w, м/с	Потери давления на трение		Сумма коэффициентов (КМС) $\Sigma \zeta$	Потери давления Z, Па	Сумма потерь давления Rl + Z, Па
						1 м R, Па/м	на уч. Rl, Па			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Далее, для выбранного диаметра трубы D_y, мм, при требуемом расходе воды в каждом участке G, кг/ч, по той же таблице методом интерполяции находят действительные значения скорости движения воды w, м/с, и удельных потерь давления на трение R, Па/м, и заносят их соответственно в графы 6 и 7 расчетной таблицы. Необходимо строго контролировать соответствие скорости воды на участке требованиям СП 60.13330. При скорости, превышающей допустимую величину, диаметр трубы на участке следует увеличить. Потери давления на трение по всей длине участка Rl, Па, заносят в графу 8 таблицы 4.1.

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.

Значение КМС отопительных приборов, запорно-регулирующей арматуры и других деталей системы определяются по справочным данным. Прибор конвекторного типа точнее рассматривать не как прибор, а как трубный участок соответствующего диаметра и длины, предварительно определив марку прибора.

В том случае, когда в системе отопления для регулирования расхода воды в отопительном приборе используется термоклапан (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 подводке к прибору определяются потери давления в клапане $\Delta P_{\text{кл}}$. Для всех клапанов системы отопления, имеющих в своей конструкции предварительную настройку, величина $\Delta P_{\text{кл}}$ задается одинаковой (в размере 30...50 % от расчетных потерь давления в системе) и используются в дальнейшем для определения по методике фирмы – производителя установочного положения клапана при монтажной регулировке системы. В любом случае значение $\Delta P_{\text{кл}}$, Па, включается в суммарные потери давления на данном участке. Сказанное выше относится и к специальному отключающему крану, устанавливаемому на обратной подводке к отопительному прибору.

КМС тройников, крестовин при изменении направления движения потока воды определяются справочным данным. При отсутствии в справочнике данных о значении КМС используются рекомендации соответствующих фирм-производителей. Суммарное значение КМС для каждого участка $(\Sigma \zeta)_n$, заносится в графу 9 расчетной таблицы. Потери давления за счет местных сопротивлений на каждом участке Z , Па, в зависимости от скорости воды w , м/с, и величине $(\Sigma \zeta)$, заносятся в графу 10. В графе 11 указываются суммарные потери давления на участке $(R_l + Z)$, 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 в вертикальной и ветвей в горизонтальной системе отопления (до 60...70 % от расчетного давления ΔP_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 П-образного однотрубного стояка необходимо учесть унос воздуха из его верхней части. Минимально допустимый расход воды при этом составит: для $D_y 12 - 140$, $D_y 20 - 250$, $D_y 25 - 400$ кг/ч.

Диаметр однотрубного стояка с движением воды снизу-вверх (с «опрокинутой» циркуляцией) выбирается с учетом следующего правила:

$$(Rl + Z)_{ст} \geq 3000 h_{ст}, \quad (4.6)$$

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 $d_{з.у}$, мм, также выбирается из условия обеспечения минимального расхода воды: $D_y 15 - 200...220$, $D_y 20 - (d_{з.у} = 15) - 250...270$, $D_y 25 - (d_{з.у} = 20) - 330...360$ кг/ч.

После расчета суммарных потерь давления на участке стояка или ветви предварительный выбор диаметра участков магистралей, входящих в ОЦК, проводят по средней величине удельных потерь давления на трение – см. формулу. 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 $(Rl + Z)_{\text{оцк}}$, Па (сумма значений в колонке 11 расчетной таблицы), должны быть меньше полагаемого циркуляционного давления в системе на 5...10 %. Проверяют это путем расчета запаса давления $\Delta_{\text{оцк}}$, %:

$$\Delta_{\text{оцк}} = 100 (\Delta P_{\text{расп}} - (Rl + Z)_{\text{оцк}}) / \Delta P_{\text{расп}} \quad (4.7)$$

Если запас меньше 5 или больше 10 %, то изменяются диаметры труб отдельных участков магистралей до тех пор, пока условие запаса не будет выполнено. Допускается составить отдельные участки 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 СП 60.13330. Диаметр трубы выбирается по данной скорости при известном расходе воды на участке. Остальные рекомендации, вычисления и порядок заполнения расчетной таблицы аналогичны изложенному выше. После расчета потерь давления на участках ОЦК для выбора циркуляционного насоса следует определить общие потери давления в системе ΔP_c , Па, как сумму значений в графе 11 расчетной таблицы:

$$\Delta P_c = (Rl + Z)_{\text{оцк}} \quad (4.8)$$

4.4.3. Гидравлический 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 магистрали выбирают кольца через первый (относительно распределительного коллектора) и дальний или ближайший к ним наиболее нагруженные стояки. При тупиковом движении – через средний и дальний или ближайший к ним наиболее нагруженные стояки. В горизонтальной системе ВЦК выбирают через ветви на среднем и нижнем этажах.

Последовательность гидравлического расчета второстепенных колец аналогична расчету ОЦК (см. п. 4.4.2), результаты которого изменению не подлежат. Результаты расчета ВЦК заносят в ту же таблицу, продолжая нумерацию участков.

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

- в двухтрубной системе отопления:

$$\Delta P_{расп} = (Rl + Z)'_{оцк} \quad (4.9)$$

- в одноконтурной системе:

$$\Delta P_{расп} = (Rl + Z)'_{оцк} + (\Delta P_{е.вцк} + \Delta P_{е.оцк}) \quad (4.10)$$

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

$\Delta P_{е.вцк}$, $\Delta P_{е.оцк}$ – естественное 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 $\Delta P_{е.тр}$. Поправка на разницу возникающего в стояках естественного давления в формуле (4.10) делается только в том случае, если ΔP_e учитывается при гидравлическом расчете системы отопления.

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

$$\Delta_{вцк} = 100 (\Delta P_{расп. вцк} - (Rl + Z)_{вцк}) / \Delta P_{расп. вцк} \quad (4.11)$$

Полученная невязка при попутном движении воды в магистралях вертикальной однетрубной системы отопления допускается в пределах $\pm 5\%$. При тупиковом движении воды в магистралях вертикальной однетрубной системы, а также в двухтрубной и горизонтальной системах – в пределах $\pm 15\%$.

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.

4.4.4. Построение эпюры изменения циркуляционного давления

Эпюру изменения циркуляционного давления в магистралях системы отопления выполняют прежде всего для выявления располагаемого циркуляционного давления $\Delta P_{\text{ст}}$ в точках присоединения всех остальных стояков к магистралям рассчитанной ветви системы и, при необходимости, их последующего гидравлического расчета.

С помощью эпюры можно выявить стояки с возможной опрокинутой циркуляцией воды, когда давление в точке присоединения к обратной магистрали больше, чем в начале стояка. В этом случае потребуются внесение изменений в гидравлический расчет (возможно одного или нескольких участков ОЦК).

4.4.5. Гидравлический расчет стояков системы отопления

Если в ходе расчета однетрубного стояка не удастся за счет уменьшения диаметров его участков обеспечить требуемые потери давления в нем, то

прибегают к крайней мере – установке на стояке дросселирующей диафрагмы или в последнее время регулирующих и балансовых клапанов. Диаметр диафрагмы D_d , мм, определяется по формуле:

$$D_d = 3,5 (G_{ст}^2 / (\Delta P_{ст} - (Rl + Z)_{ст}))^{0,25}, \quad (4.12)$$

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 клапан с термостатической головкой перед отопительным прибором и вентиль балансировочный после отопительного прибора. Установочное (монтажное) положение этой арматуры можно определить по их заводской характеристике, предоставляемой фирмой – производителем. Как правило, оно определяется числом оборотов запорного органа в зависимости от его диаметра и расчетного расхода воды в подводке прибора. Диаметр выбранных диафрагм на стояке или установочное (монтажное) положение запорного органа термодиафрагмы или отключающего вентиля у прибора указывают на схеме системы отопления.

Зная располагаемое давление $\Delta P_{ст}$, производят гидравлический расчет однотрубных стояков на ПЭВМ (по специальным методическим указаниям) по способу характеристик гидравлического сопротивления (п. 4.4) с определением действительного расхода и перепада температуры воды в стояке.

В однотрубной системе с замыкающими участками дополнительно проверяют правильность предварительного выбора (по табл. 9.3 [6]) коэффициента затекания воды в приборы. Для этого на одном из рассчитываемых стояков для приборов, заметно отличающихся от остальных по своей тепловой нагрузке или длине подводок к ним, выполняют расчет малых циркуляционных колец. При этом определяют условия:

$$(Rl + Z)_{з.у} + g h_{пр} (\rho_{ср.пр} - \rho_{з.у}) = (Rl + Z)_{подв}, \quad (4.13)$$

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

$h_{пр}$ – высота прибора по осям подводок 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/м³;

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

Если расхождение расчетной величины, получаемой в левой и правой частях уравнения (4.13), меньше 10 %, то коэффициенты затекания считают выбранными правильно. В противном случае определяют действительные значения расхода воды и коэффициента затекания. Для этого можно воспользоваться методом характеристик гидравлического сопротивления (см. п. 4.4).

В двухтрубной 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:

$$\Delta P_{р,N} = (Rl + Z)_1 + 0,4g h_N (\rho_o - \rho_r), \quad (4.14)$$

где $(Rl + Z)_1$ – потери давления в 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 отличаться в пределах 10%. 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.

Примеры решения задач по гидравлическому расчету систем отопления

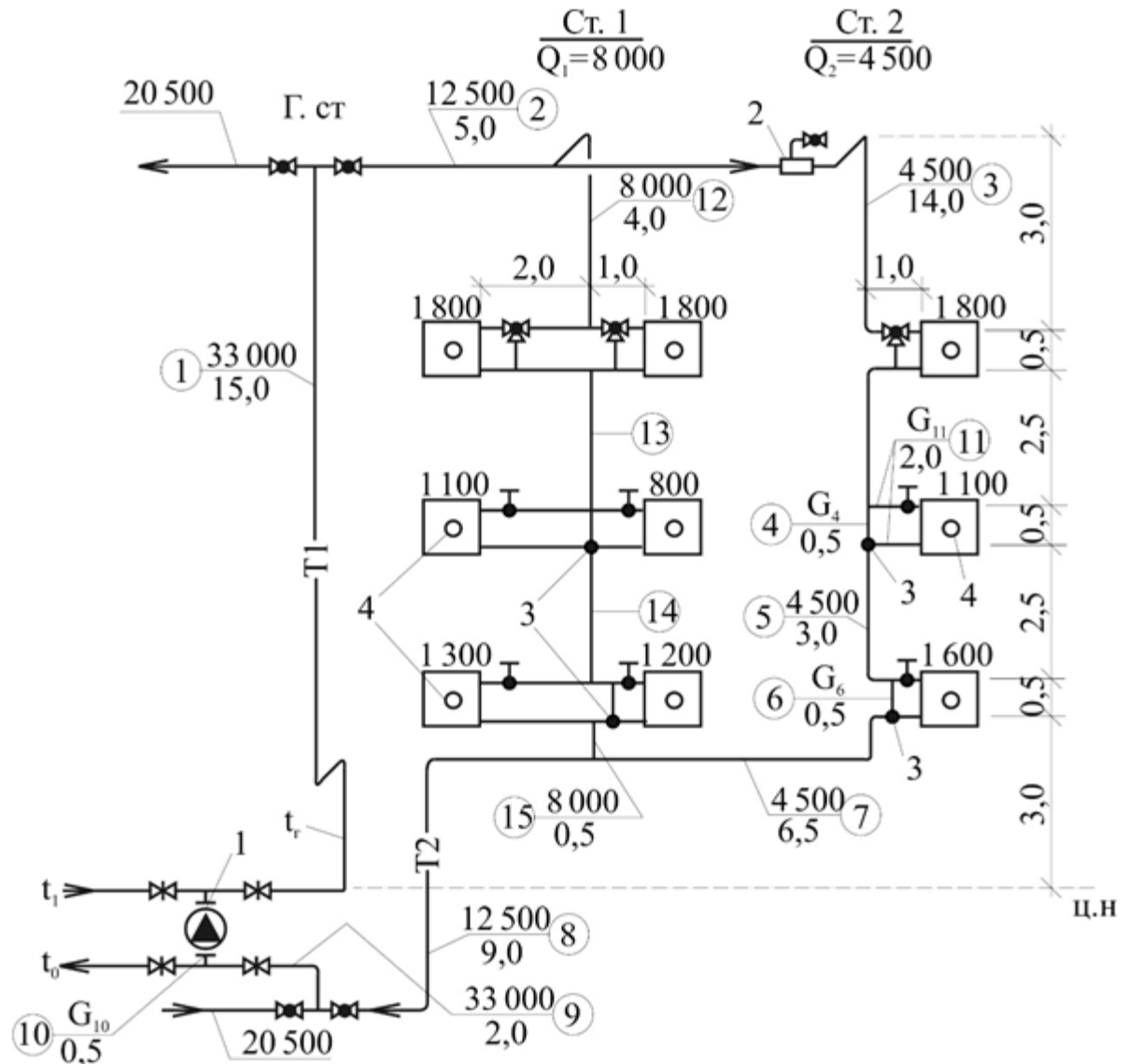


Рис. 4.2. Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с верхней разводкой и тупиковым движением воды в магистралях (к примеру 4):

1 — смесительный насос; 2 — воздухоотборник; 3 и 4 — центры охлаждения воды (ц.о.) в стояках и отопительных приборах, соответственно; ц.н — условный центр нагревания воды; цифра над отопительным прибором и под номером стояка — их тепловая нагрузка (Вт)

Задача 1. Определить естественное циркуляционное давление, возникающее вследствие охлаждения воды в отопительных приборах трехэтажного однотрубного стояка (Ст. 1 или Ст. 2 на рис. 4.2), если их тепловая нагрузка, включая коэффициенты β_1 и β_2 , составляет $Q_3 = 1163$ Вт, $Q_2 =$

930 Вт, $Q_1 = 1396$ Вт; высота $h_3 = h_2 = 3$ м, $h_1 = 2$ м; температура воды $t_r = 95$ °С, $t_o = 70$ °С; $\beta = 0,64$ кг/(м³·°С).

Решение:

Расход воды в стояке по формуле:

$$G_{ст} = Q_{ст} \beta_1 \beta_2 / (c \Delta t_{ст})$$

$$G_{ст} = \frac{1\,163 + 930 + 1\,396}{4,187(95 - 70)} 3,6 = 120 \text{ кг/ч.}$$

Температура воды на участках стояка: $t_i = t_r - (\Sigma Q_i / Q_{ст}) \Delta t_{ст}$

$$t_i = 95 - 3,6 \frac{1\,163}{4,187 \cdot 120} = 86,7 \text{ °С}; \quad t_i = 95 - 3,6 \frac{1\,163 + 930}{4,187 \cdot 120} = 80 \text{ °С.}$$

Естественное циркуляционное давление:

$$\Delta p_{е.пр} = \beta g (h_3(t_r - t_3) + h_2(t_r - t_2) + h_1(t_r - t_o));$$

$$\Delta p_{е.пр} = 0,64 \cdot 9,81 (3(95 - 86,7) + 3(95 - 80) + 2(95 - 70)) = 753 \text{ Па.}$$

Естественное циркуляционное давление:

$\Delta p_{е.пр} = (\beta g / (c G_{ст})) (Q_3 h_{III} + Q_2 h_{II} + Q_1 h_I) \beta_1 \beta_2$, где h_{III} , h_{II} , h_I - вертикальные расстояния между центрами охлаждения воды в приборах соответственно на III, II и I этажах и центром нагревания.

$$h_{III} = h_3 + h_2 + h_1 = 8 \text{ м}, \quad h_{II} = h_2 + h_1 = 5 \text{ м};$$

$$\Delta p_{е.пр} = \frac{0,64 \cdot 9,81}{4,187 \cdot 120} (1163 \cdot 8 + 930 \cdot 5 + 1396 \cdot 2) 3,6 = 753 \text{ Па.}$$

Задача 2. Выполнить гидравлический расчет основного циркуляционного кольца из легких водогазопроводных труб вертикальной однетрубной системы водяного отопления трехэтажного здания, присоединенной к наружным теплопроводам через водоструйный элеватор, при параметрах теплоносителя $t_1 = 150$ °С, $t_r = 95$ °С, $t_o = 70$ °С. Тепловые нагрузки приборов, стояков и участков, Вт, длины участков, м, указаны на рис. 4.2. Отопительные приборы (радиаторы РСВ) установлены у световых проемов, присоединены к стоякам без «утоков» со смещенными обходными участками на 3-м этаже (с кранами КРТ) с осевыми

замыкающими участками на 2-м и со смещенными замыкающими участками на 1-м этаже (с кранами КРП).

Решение:

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, пренебрегая как незначительной величиной $\Delta p_{\text{е.тр}}$, $\Delta p_p = \Delta p_n + \Delta p_{\text{е.пр}} = 5600 + 980 = 6580$ Па, принимая $\Delta p_n = 5600$ Па (на практике задается по условиям присоединения системы отопления к городской тепловой сети) и определяя $\Delta p_{\text{е.пр}}$ по формуле и по таблицам [9]:

$$\Delta p_{\text{е.пр}} = (\beta g / (c G_{\text{ст}}))(Q_3 h_{\text{III}} + Q_2 h_{\text{II}} + Q_1 h_{\text{I}}) \beta_1 \beta_2;$$

$$\Delta p_{\text{е.пр}} = \frac{0,64 \cdot 9,81}{4,187 \cdot 180} (1\,600 \cdot 3 + 1\,100 \cdot 6 + 1\,800 \cdot 9,25) 3,6 \cdot 1,06 \cdot 1,1 = 980 \text{ Па},$$

при расходе воды в стояке:

$$G_{\text{ст}} = Q_{\text{ст}} \beta_1 \beta_2 / (c \Delta t_{\text{ст}}) = 4500 \cdot 3,6 \cdot 1,06 \cdot 1,1 / [(4,187(95-70))] = 180 \text{ кг/ч}.$$

Средние удельные линейные потери давления:

$$R_{\text{ср}} = 0,65 \Delta p_p / \Sigma l = 0,65 \cdot 6580 / 56 = 76 \text{ Па/м}.$$

Результаты гидравлического расчета (по табл. II.1 и II.3 Справочника проектировщика [9]) вносим в бланк гидравлического расчета (табл. 4.2).

Таблица 4.2.

Гидравлический расчет основного циркуляционного кольца вертикальной однетрубной системы отопления

Данные по участкам схемы				П р и н я т о						
№	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	D _y , 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

Примечание к табл. 4.2:

1. Расход воды на участке 4 при $\alpha = 0,33$: (по табл. 9.3 [7]):

$$G_4 = (1 - 0,33)180 = 120 \text{ кг/ч.}$$

2. Расход воды на участке 6 при $\alpha = 0,5$: $G_6 = (1 - 0,5)180 = 90 \text{ кг/ч.}$

3. Расход воды на участке 10:

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

Предварительный выбор диаметра участка D_y проведен по значению $R_{cp} = 76 \text{ Па/м}$ по табл. II.1 [7].

По Справочнику проектировщика проверим правильность выбора коэффициентов затекания воды в приборы. По формуле (10.39) [7]:

$$S_e = 31\beta h_{пр} \frac{Q_{пр}}{G_{ст}^3}, \text{ где } \beta - \text{коэффициент, определяемый по табл. 10.4 [7], найдем:}$$

- на втором этаже: $S_e = 31 \cdot 0,64 \cdot 0,5 \cdot \frac{1 \cdot 100}{180^3} = 18,7 \cdot 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2$;

- на первом этаже: $S_e = 31 \cdot 0,64 \cdot 0,5 \cdot \frac{1 \cdot 600}{180^3} = 27,2 \cdot 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2$.

Так как полученные значения S_e меньше предельных, указанных в табл. 10.11 [7], то коэффициенты затекания воды α (примечания 1 и 2 к табл. 4.2) могут быть оставлены без изменения.

Запас давления в основном циркуляционном кольце:

$$\frac{6 \cdot 580 - 6 \cdot 136}{6 \cdot 580} 100 = 6,75 \% \text{ удовлетворяет условию, выраженному формулой:}$$

$$\Delta P_{оцк} = 100 (\Delta P_{расп} - (Rl + Z)_{оцк}) / \Delta P_{расп}.$$

При расчете приняты следующие значения коэффициентов местных сопротивлений на участках (табл. II.10–II.15 [7]), причем для смежных участков местное сопротивление тройника отнесено к участку с меньшей тепловой нагрузкой (соответственно, с меньшим расходом теплоносителя):

Участок 1	задвижка D _y 40	0,5
	отводы D _y 32, 3 шт	$0,5 \cdot 3 = 1,5$
	$\Sigma \zeta_1 = 2,0$	
Участок 2	тройник на растекании при $\bar{G}_{\text{отв}} = G_{\text{отв}}/G_{\text{ств}} = 500 / 1\,320 = 0,38$	10,1
	кран пробочный проходной D _y 20	1,8
	$\Sigma \zeta_2 = 11,9$	
Участок 3	тройник на проходе при $\bar{G}_{\text{прох}} = 180 / 500 = 0,36$	4,8
	воздухосборник	1,5
	отводы D _y 15, 4 шт	$0,8 \cdot 4 = 3,2$
	тройник на проходе при $\bar{G}_{\text{прох}} = 1$	0,7
	радиатор РСВ при D _y 15	0,75
	кран трехходовой D _y 15 при проходе	4,4
	$\Sigma \zeta_3 = 15,35$	
Участок 4	два тройника на проходе при $\bar{G}_{\text{прох}} = 1 - \alpha = 1 - 0,33 = 0,67$	$1,15 \cdot 2 = 2,3$
		$\Sigma \zeta_4 = 2,3$
Участок 5	отвод D _y 15	$\zeta_5 = 0,8$
Участок 6	тройник на ответвлении при $\bar{G}_{\text{отв}} = 1 - 0,5 = 0,5$ и делении потока	5,4
	то же, при слиянии потоков	2,0
	$\Sigma \zeta_6 = 7,4$	
Участок 7	отводы D _y 15, 2 шт	$0,8 \cdot 2 = 1,6$
	тройник на проходе при $\bar{G}_{\text{прох}} = 0,36$	4,8
	$\Sigma \zeta_7 = 6,4$	
Участок 8	отводы D _y 25, 2 шт	$0,5 \cdot 2 = 1,0$
	кран пробочный проходной D _y 25	1,7
	тройник на противотоке при $\bar{G}_{\text{отв}} = 500 / 1\,320 = 0,38$	7,8
	$\Sigma \zeta_8 = 10,5$	
Участок 9	отвод D _y 32	0,5
	задвижка D _y 40	0,5
	$\Sigma \zeta_9 = 1,0$	
Участок 10	тройник на ответвлении при $\bar{G}_{\text{отв}} = 907,5 / 1\,320 = 0,7$ и делении потока	
		$\Sigma \zeta_{10} = 1,2$

Задача 3. Определить располагаемое циркуляционное давление и среднюю удельную линейную потерю давления для гидравлического расчета второстепенного циркуляционного кольца однетрубной системы отопления, изображенной на рис. 4.2.

Решение:

Гидравлический расчет второстепенного кольца через Ст. 1 сводится в данном случае к расчету самого стояка. Располагаемое циркуляционное давление для расчета Ст. 1 определяем по формуле:

$$\Delta p_{p.ст.1} = \sum(Rl + Z)_{3-7} + (\Delta p_{e.ст.1} - \Delta p_{e.ст.2}) = 2726 + (1027 - 980) = 273 \text{ Па},$$

$$\text{где } \Delta p_{e.ст.1} = \frac{0,64 \cdot 9,81}{4,187 \cdot 320} (2500 \cdot 3 + 1900 \cdot 6 + (3600 \cdot 9,25)3,6 \cdot 106 \cdot 1,1) = 1027 \text{ Па}.$$

Среднее значение линейной потери давления R_{cp} вычисляем при $\Sigma l = 15,5$ м: $R_{cp} = 0,65 \Delta p_p / \Sigma l = 0,65 \frac{273}{15,5} = 116 \text{ Па/м}.$

В результате гидравлического расчета аналогично расчету в задаче 2 определяем $d_{ст} = 20$ мм, $d_{з.у} = d_{подв} = 15$ мм.

Задача 4. Выполнить гидравлический расчет малого циркуляционного кольца отопительного прибора на втором этаже в Ст. 2 рассмотренной в задаче 2 однетрубной системы отопления (рис. 4.3). Расход воды в стояке $G_{ст} = 180$ кг/ч.

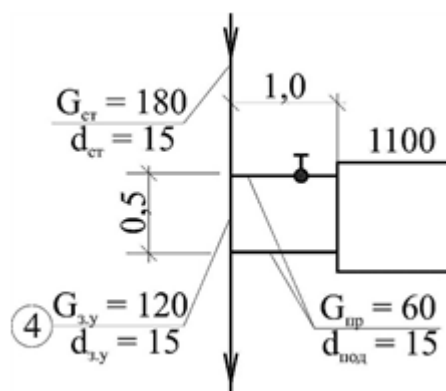


Рис. 4.3. Схема узла малого циркуляционного кольца в стояке с осевыми замыкающими участками вертикальной однетрубной системы водяного отопления с верхней разводкой (к задаче 4):

1100 — тепловая нагрузка отопительного прибора, Вт

Решение:

Располагаемое циркуляционное давление в малом кольце определяем по формуле:

$$\Delta p_{p.\text{мал}} = \Sigma(Rl + Z)_{з.у} \pm \Delta p_{с.\text{мал}} = 49 + 29 = 78 \text{ Па, при движении воды сверху}$$

вниз, принимая:

$$\Sigma(Rl + Z)_{з.у} = \Sigma(Rl + Z)_4 = 49 \text{ Па (по табл. 4.2, исходя из коэффициента затекания воды в прибор } \alpha = 0,33);$$

$$\text{Здесь } \Delta p_{с.\text{мал}} = 0,5\beta gh_{\text{пр}}(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}) = 0,5 \cdot 0,64 \cdot 9,81 \cdot 0,5 \cdot 18,5 = 29 \text{ Па, принимая:}$$

$$\rho_{\text{вых}} - \rho_{\text{вх}} = \beta(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}});$$

$$t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}} = Q_T / (cG_{\text{пр}}) = \frac{1100 \cdot 3,61 \cdot 0,061 \cdot 1}{4,187 \cdot 0,33 \cdot 180} = 18,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Результаты гидравлического расчета (по табл. II.1, II.3 в Справочнике проектировщика [7]) вносим в таблицу 4.3.

Таблица 4.3.

Гидравлический расчет подводов к отопительному прибору на втором этаже
(стояк Ст. 2)

Данные по участкам схемы				П р и н я т о						
№	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	D _y , 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 (табл. II.10—15 в Справочнике проектировщика[7]):

тройник на ответвлении при $\alpha = 0,33$ и делении потока	11,1
то же, при слиянии потоков	−1,65
радиатор РСВ при D _y 15	0,75
кран КРП D _y 15	4,4
	Σζ = 14,6

$$\text{Получено: } \Sigma(Rl + Z)_{\text{подв}} < \Delta p_{p.\text{мал}}.$$

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

Задача 5. Выполнить гидравлический расчет основного циркуляционного кольца насосной двухтрубной системы водяного отопления с нижней разводкой и попутным движением воды в магистралях из труб по ГОСТ 10704-76* (рис. 4.4) при расчетной температуре воды $t_r = 95$ °С, $t_o = 70$ °С. Отопительные приборы — стальные панельные радиатора РСГ-2, размещенные у остекления световых проемов.

Решение:

Насосное циркуляционное давление, передаваемое в систему отопления (по условиям присоединения к городской тепловой сети), составляет $\Delta p_n = 10$ кПа.

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

Вычисляем по формулам: $\Delta p_p = \Delta p_n + \Delta p_e$; $\Delta p_{e,пр.1} = gh_1(\rho_o - \rho_r)$ расчетное циркуляционное давление, заменяя $\rho_o - \rho_r = \beta(t_r - t_o)$ и принимая $\beta = 0,64$ кг/(м³·°С) по табл. 10.4 Справочника проектировщика [7] и $h_1 = 2,8$ м:

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

Определяем ориентировочное среднее значение удельной линейной потери давления:

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

Заполняем в табл. 4.4 первые четыре колонки, беря показатели со схемы системы (рис. 4.4) и вычисляя расход воды на участках G по формуле:

$G_{уч} = Q_{уч} \beta_1 \beta_2 / (c(t_r - t_o))$, 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 R_{cp} , записываем в таблицу скорость движения воды w и

действительные значения удельных линейных потерь давления R . Затем вычисляем линейные потери давления на участках Rl .

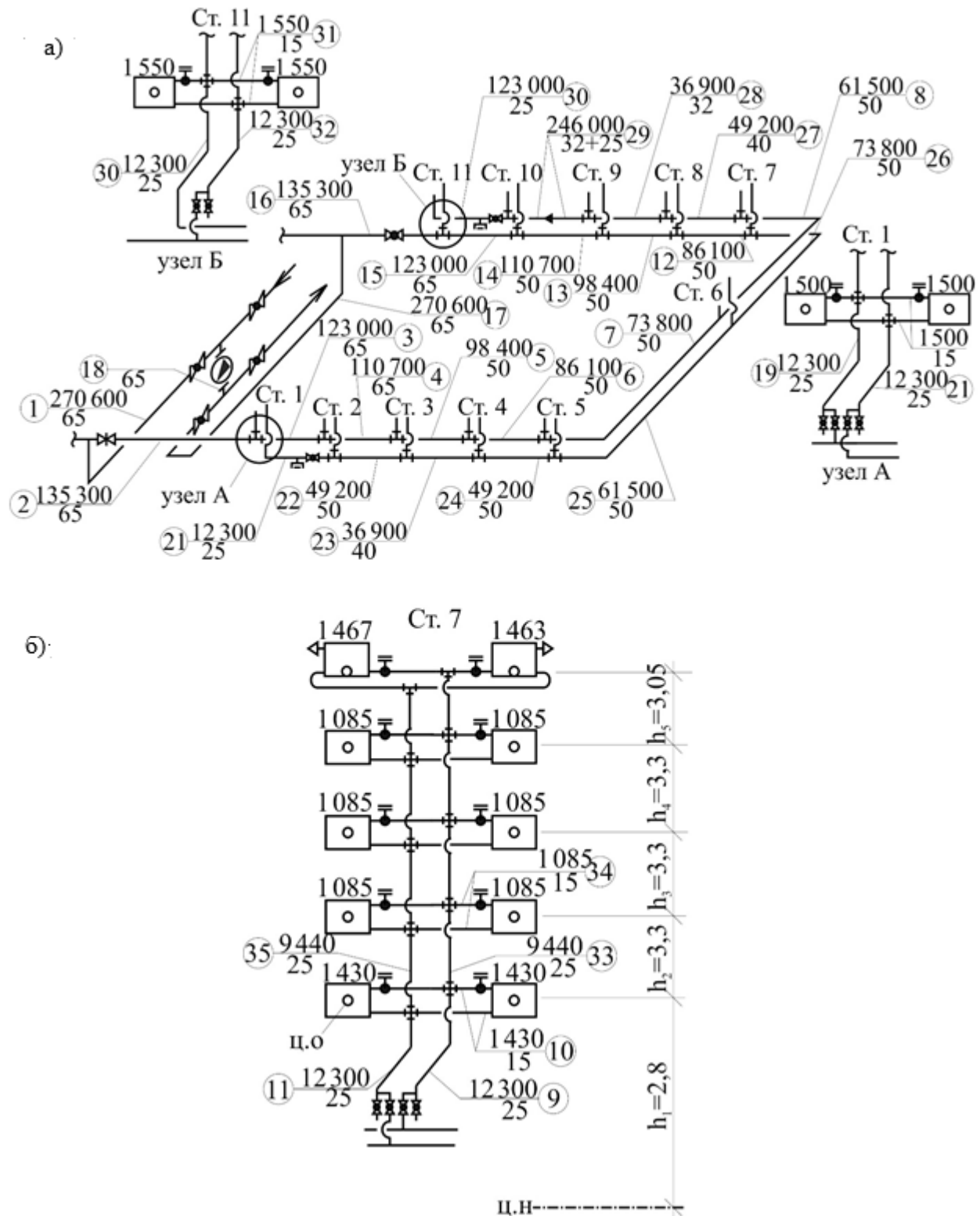


Рис. 4.4. Расчетная схема насосной двухтрубной системы водяного отопления с нижней разводкой и попутным движением воды в магистралях (к задаче 5):

а) схема магистралей; б) схема Ст. 7 (остальные стояки аналогичные по конструкции и тепловой нагрузке); обозначения на схеме — см. рис. 4.2

Первоначальный запас:

$$\frac{\Delta p_p - \Sigma(Rl + Z)}{\Delta p_p} 100 = \frac{10\,176 - 8\,138}{10\,176} 100 = 20 \, \%.$$

После уменьшения диаметра участка 17 (табл. 4.4) потери давления на нем увеличиваются до 1808 Па и запас циркуляционного давления в целом по системе составит: $\frac{10\,176 - 9\,156}{10\,176} 100 = 10 \, \%$.

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

крестовина на ответвлении при делении потока при	15,3
$\bar{d}_{\text{отв}} = \frac{15}{25} = 0,59; \bar{G}_{\text{отв}} = \frac{57}{492} = 0,11$ и $\bar{G}_{\text{отв.1}} = \bar{G}_{\text{отв.2}}$	
кран двойной регулировки D _y 15	14,0
кран двойной регулировки D _y 15	1,2
крестовина на ответвлении при слиянии потоков при	
$\bar{d}_{\text{отв}} = 0,59$ и $\bar{G}_{\text{отв.1}} = \bar{G}_{\text{отв.2}} = 0,11$	-2,4
	$\Sigma \zeta_{10} = 28,1$

В результате расчета для получения равенства:

$$\sum_{i=1}^N (Rl_{\text{уч}} + Z)_i = (0,9 \dots 0,95) \Delta p_p$$

потребовалось уменьшить диаметр участка 17 (первоначальные данные в табл. 4.4 заключены в скобки), так как был получен запас циркуляционного давления (20 %), значительно превышающий требуемый 5...10%.

Таблица 4.4.

**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 _y , мм	w, м/с	R, Па/м	Rl, Па	Σζ	Z, Па	Rl + Z, Па
1	270600	10800	9,0	80	0,56	48	432	0,8	123	555
2	135300	5400	8,0	65	0,39	30	240	6,8	506	746
3	123000	4920	8,0	65	0,355	25	200	0,2	12	212
4	110700	4430	8,0	65	0,32	21	168	0,2	10	178
5	98400	3930	8,0	50	0,52	78	624	0,2	26	650
6	86100	3450	6,0	50	0,46	60	360	0,2	21	381
7	73800	2950	12,0	50	0,39	45	540	0,5	37	577
8	61500	2460	12,0	50	0,33	31	372	0,5	27	399
9	12300	493	1,8	25	0,24	42	76	8,4	236	312
10	1430	57	3,0	15	0,083	12	36	28,1	95	131
11	12300	493	1,4	25	0,24	42	59	3,4	96	155
12	86100	3450	6,0	50	0,46	60	360	0,7	72	432
13	9840	3930	8,0	50	0,52	78	624	0,7	93	717
14	110700	4430	8,0	50	0,59	98	784	0,7	119	903
15	123000	4920	8,0	65	0,355	25	200	0,5	31	231
16	135300	5400	4,0	65	0,39	30	120	5,5	408	528
17	270600	10800	12,0	(80)	(0,56)	(48)	(576)	(1,4)	(214)	(790)
18	—	7425	0,5	65	0,78	116	1 392	1,4	416	1808
				65	0,54	56	28	1,5	213	241
				Σl = 123,7					Σ(Rl + Z) = (8138) 9156	

Задача 6. Выполнить гидравлический расчет двух второстепенных циркуляционных колец системы отопления по условиям задачи 5 и построить эпюру циркуляционного давления в ее магистралях. Выбираем вначале

второстепенное циркуляционное кольцо через ближний к тепловому пункту стояк (Ст. 1) (рис. 4.4) 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 $\Delta p_{p.ст} = \Sigma(Rl + Z)_{осн}$):

$$\Delta p_p = \Sigma(Rl + Z)_{3-11} = 2\,995 \text{ Па.}$$

$$\text{Находим: } R_{cp} = 0,65 \Delta p_p / \Sigma l = 0,65 \frac{2\,995}{60,2} = 32 \text{ Па/м.}$$

Расчет потерь давления на участках 19-26 заносим в табл. 4.5.

Таблица 4.5.

Гидравлический расчет второстепенного циркуляционного кольца через Ст. 1 двухтрубной системы отопления

Данные по участкам схемы				П р и н я т о						
№	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	D _y , 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	

$$\text{Невязка } \frac{2\,995 - 3\,017}{2\,995} 100 = -0,7 \%, \text{ что допустимо.}$$

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

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

$$\Delta p_p = \Sigma(Rl + Z)_{9-15} = 2881 \text{ Па. Вычисляем: } R_{cp} = 0,65 \frac{2881}{36,2} = 52 \text{ Па/м.}$$

Расчет потерь давления на участках 27-32 заносим в табл. 4.6.

Таблица 4.6.

Гидравлический расчет второстепенного циркуляционного кольца через стояк

ХІ двухтрубной системы отопления

Данные по участкам схемы				П р и н я т о						
№	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	D _y , мм	w, м/с	R, Па/м	Rl, Па	Σζ	Z, Па	Rl + Z, Па
27	49200	1 968	6,0	(50)	(0,26)	(20)	(120)	(0,2)	(7)	(127)
				40	0,42	70	420	0,2	17	437
28	36900	1 440	8,0	32	0,45	100	800	0,3	30	830
29	24600	984	(8,0)	(25)	(0,45)	(131)	(1048)	(0,3)	(30)	(1078)
			4,0	32	0,305	48	192	0,3	14	206
			4,0	25	0,45	131	524	—	—	524
30	12300	492	9,8	25	0,24	42	412	4,4	123	535
31	1550	62	3,0	15	0,091	14	42	28,1	114	156
32	12300	492	1,4	25	0,24	42	59	8,4	96	155
Σl = 36,2									Σ(Rl + Z) = = (2881) 2873	

$$\text{Невязка } \frac{2881 - 2873}{2881} 100 = 0,7 \text{ \%}$$

На рис. 4.5 представлена эпюра циркуляционного давления в магистралях системы отопления, построенная на основании гидравлического расчета трех циркуляционных колец через приборы на первом этаже ближнего Ст. 1, среднего Ст. 7 (задача 5) и дальнего Ст. 11 стояков. На рисунке отмечены запас А циркуляционного давления в основном кольце (ОЦК) системы и невязки Б (– 0,7 %) и В (0), полученные при расчете участков второстепенных колец соответственно через Ст. 1 и Ст. 11.

Из эпюры видно, что разность давления во всех промежуточных стояках обеспечивает необходимое направление движения теплоносителя. Однако для Ст. 8 и особенно для Ст. 9 разность давления в подающей и обратной магистралях слишком велика (по сравнению с разностью в расчетных стояках). Для уменьшения разности давления изменяем диаметр участков 27 и 29 (табл. 4.6, где заменяемое число заключено 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 Ст. 7 и Ст. 10 показана на рис. 4.5 пунктиром. Невязка после изменения диаметра участков 27 и 29 составляет:

$$\frac{\Delta p_p - \Sigma(Rl + Z)}{\Delta p_p} 100 = \frac{2881 - 2873}{2881} 100 = 0,3 \text{ \%}.$$

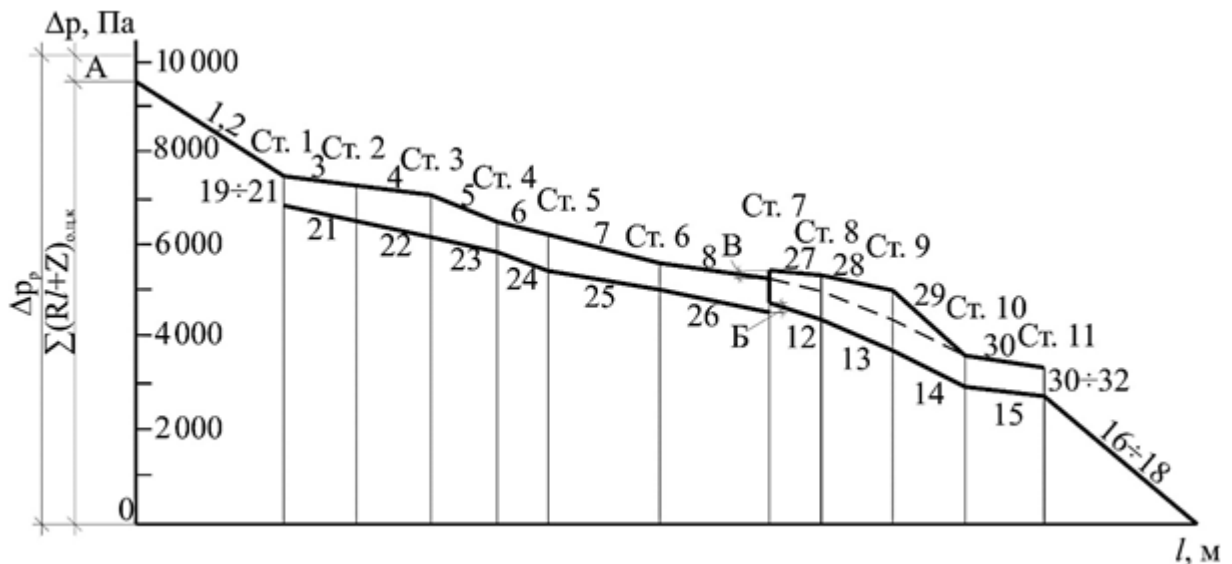


Рис. 4.5. Расчетная эпюра циркуляционного давления в двухтрубной системе отопления с попутным движением воды в магистралях (к задаче б): А — запас циркуляционного давления; Б и В — невязки расчета. 1, 2, 3 и т. д. — номера расчетных участков; Ст. 1, Ст. 2 и т. д. — номера стояков

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 $\Delta p_i = \Delta p_j$), так как общие участки циркуляционных колец уже рассчитаны. При этом учитывается изменение естественного циркуляционного давления для приборов, размещаемых на различных этажах.

На рис. 4.6 изображены двухтрубные стояки систем с верхней (рис. 4.6, а) и нижней (рис. 4.6, б) разводками.

Двойными линиями отмечены участки (пусть $Q_2 > Q_1$), потери давления на которых известны из предшествующего расчета циркуляционных колец через приборы на первом этаже. Располагаемое циркуляционное давление для расчета дополнительных (не общих) участков, обеспечивающих теплоносителем приборы на втором этаже, параллельно соединенных с рассчитанными участками, составит:

при верхней разводке:

$$\Delta p_{p.v.II} = \Sigma(Rl + Z)_{l,m} + 0,4gh_2(\rho_o - \rho_r); \quad (4.15a)$$

при нижней разводке:

$$\Delta p_{p.n.II} = \Sigma(Rl + Z)_m + 0,4gh_2(\rho_o - \rho_r), \quad (4.15б)$$

где h_2 — вертикальное расстояние между центрами охлаждения воды в отопительных приборах на втором и первом этажах.

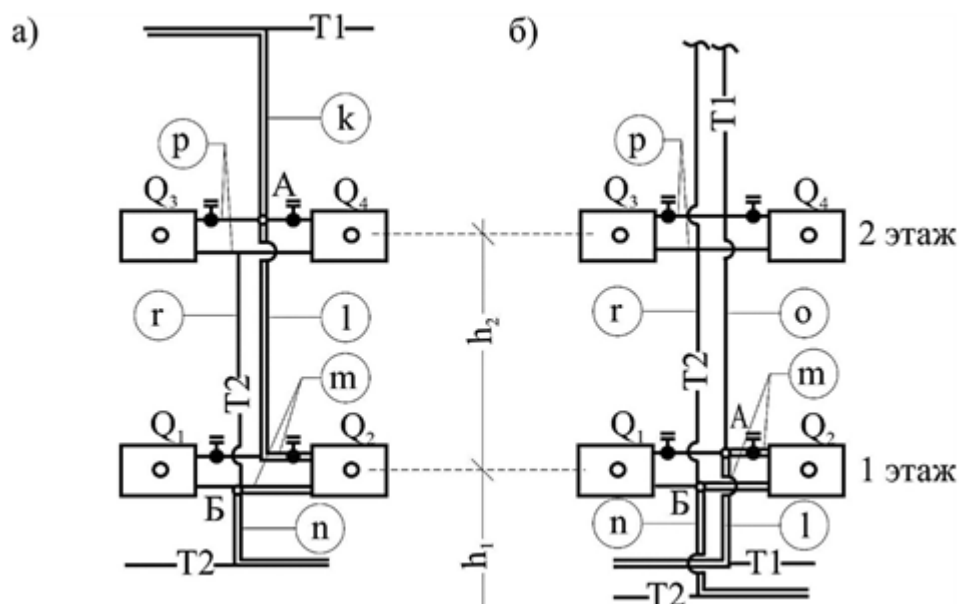


Рис. 4.6. Схемы двухтрубных стояков с расчетными участками в системах водяного отопления: а) с верхней разводкой подающей магистрали; б) с нижней разводкой обеих магистралей

Вторые слагаемые учитывают дополнительное естественное циркуляционное давление. Видно, что $\Delta p_{p.n.II} < \Delta p_{p.v.II}$ за счет потери давления на участке I. С другой стороны, расчетных участков в стояках при нижней разводке больше (три участка — о, р и г между точками А и Б на рис. 4.6, б) — пусть $Q_3 > Q_4$), чем при верхней (два участка — р и г между точками А и Б на рис. 4.6, а)). Следовательно, увязка располагаемого и потерянного давления в стояках системы с нижней разводкой вполне достижима и система поэтому работает более устойчиво. Этим объясняется то, что при насосной циркуляции воды в многоэтажных зданиях применяются если не однетрубные, то двухтрубные системы с нижней разводкой, а двухтрубные системы с верхней подающей магистралью используются ограниченно.

Задача 7. Выполнить гидравлический расчет труб Ст. 7 для теплоснабжения отопительных приборов на втором этаже по условиям задачи 5. Тепловые нагрузки участков стояка и отопительных приборов указаны на рис. 4.4.

Располагаемое циркуляционное давление для расчета не общих участков, параллельно соединенных с участком 10 основного циркуляционного кольца находим по формуле (4.15б)), 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/(м³·°С) и $h_2 = 3,3$ м (рис. 3.33) получим:

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

$$\text{При этом: } R_{cp} = 0,65 \frac{338}{9,6} = 23 \text{ Па/м.}$$

Расчет потерь давления на участках 33-35 сводим в табл. 4.7.

Таблица 4.7.

Гидравлический расчет циркуляционного кольца через Ст. 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 _y , 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: $\frac{338 - 301}{338} 100 = 10,9 \%$, что допустимо.

Список литературы:

1. Махов Л.М. Отопление. Учебник для вузов: - М.: Изд. АСВ, 2014.
2. СНиП 2.04.05-91*. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: ГУП ЦПП, 1998.
3. СП 60.13330.2020 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование». – Минрегион России, 2012.
4. СП 7.13130.2011 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Противопожарные требования. – М., 2009.
5. Сканава А.Н., Махов Л.М. Отопление: учебник для вузов. – М.: АСВ, 2006.
6. Крупнов Б.А., Крупнов Д.Б.. Отопительные приборы, производимые в России и ближнем зарубежье: научно-популярное издание. – М.: АСВ, 2015.
7. Внутренние санитарно-технические устройства: справочник проектировщика. В 3 ч. Ч.1. Отопление / В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.Н. Сканава и др.: Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1990.
8. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление: учебник для вузов. –М.: Стройиздат, 1991.

9. Сканави А.Н. Конструирование и расчет систем водяного и воздушного отопления зданий. - Изд. 2-е. – М.: Стройиздат, 1983.
10. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов/ Минстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1997.
11. ГОСТ 27590-2005. Подогреватели кожухотрубные водоводяных систем теплоснабжения. – М., 2005.
12. Хрусталева Б.М., Кувшинов Ю.Я., Копко В.М. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование. – М.: АСВ, 2005.
13. Крупнов Б.А., Шарафудинов Н.С., Крупнов Д.Б. Руководство по проектированию систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Москва-Вена, 2006.
14. Монтаж внутренних санитарно-технических устройств / Ю.Б. Александрович и др.; под ред. И.Г. Староверова; изд. 3-е, перераб. и доп. –М.: Стройиздат, 1984.
15. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник / В.И. Манюк, Я.Н. Каплинский, Э.Б. Хиж и др.; изд 3 -е. – М.: Стройиздат, 1988.
16. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок/ утв. Приказом Минэнерго России от 24.03.03. за №115.
17. Покотилов В.В. Пособие по расчету систем отопления. – Минск, 2006.
18. Пырков В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика. – К.: П ДП «Такі справи», 2005.
19. СП 61.1330.2012 «СНиП 41-03-2003 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов». – Минрегион России, 2012.