

Часть 2. Источники тепловой энергии системы отопления

Тепловым источником системы водяного отопления, является местная водогрейная котельная (**местное теплоснабжение**), размещаемая в отапливаемом здании или близ него, а при **централизованном водяном теплоснабжении** тепловым источником является тепловой пункт (индивидуальный или центральный).

Централизованное теплоснабжение на данный момент является преобладающим видом теплоснабжения на территории Российской Федерации, при котором используется высокотемпературная вода, поступающая в здание из отдаленного теплоисточника - ТЭЦ или центральной тепловой станции.

Набор оборудования источника теплоты и его принципиальная схема в первую очередь зависит от источника теплоснабжения (рисунок 2.1).

При **местном теплоснабжении** вода подготавливается непосредственно для обслуживаемой системы с помощью сжигания того или иного топлива в отопительном котле. Принципиальная схема системы насосного водяного отопления **при местном теплоснабжении** показана на рисунок 2.1, а. Циркуляционный насос в такой системе перемещает воду, нагреваемую в котле. Также в данной системе обязательно наличие расширительного бака, назначение, конструкция и методика подбора которого будет рассмотрена далее. Систему заполняют водой из водопровода, предварительно химически подготовленную, для увеличения срока службы системы.

При **централизованном водяном теплоснабжении** применяют три способа присоединения системы насосного водяного отопления к наружным теплопроводам.

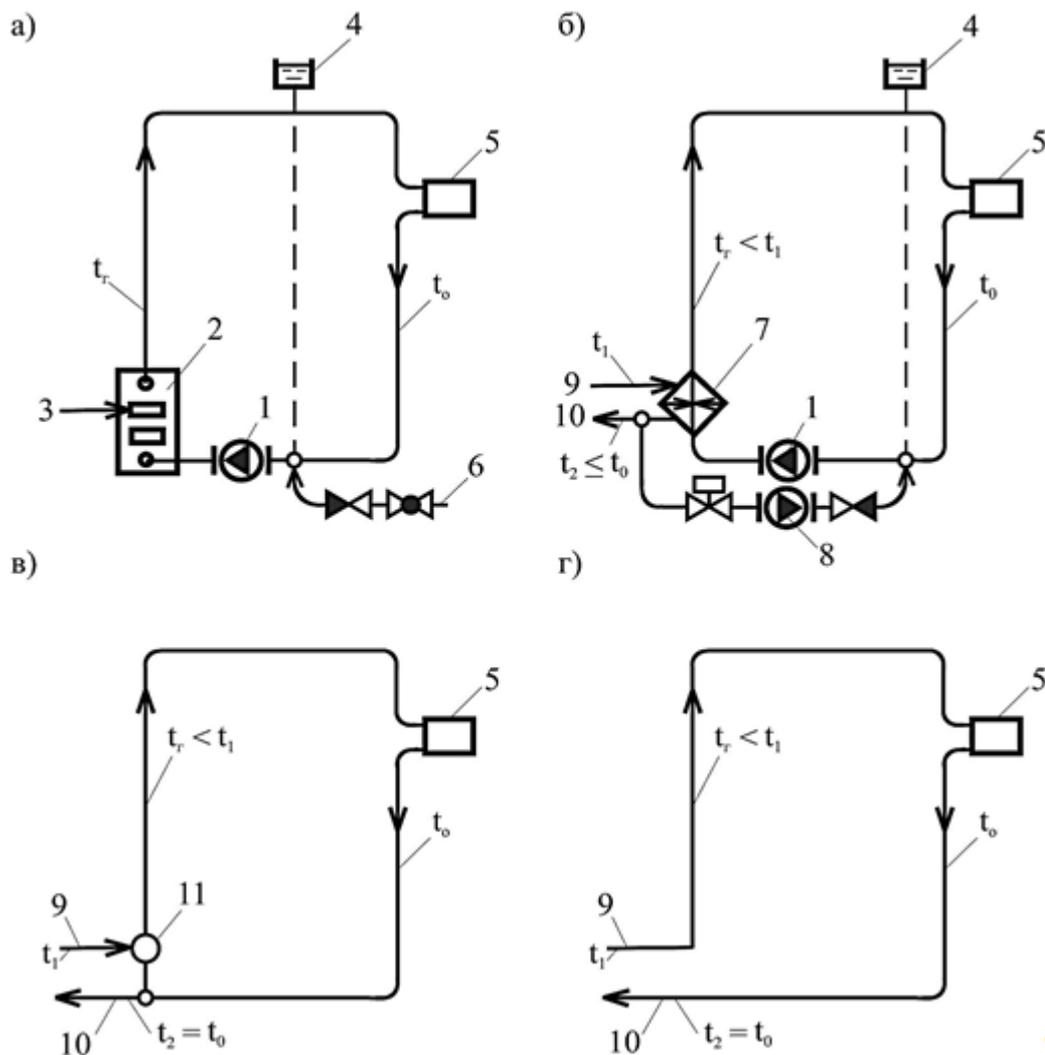


Рисунок 2.1. Схемы системы насосного водяного отопления:

а) при местном теплоснабжении; б) с присоединением к наружным теплопроводам централизованного теплоснабжения по независимой схеме;

в) то же по зависимой схеме со смешением воды; г) то же по зависимой прямоточной схеме

1 — циркуляционный насос; 2 — теплогенератор (водогрейный котел); 3 — подача топлива; 4 — расширительный бак; 5 — отопительные приборы; 6 — водо-провод; 7 — теплообменник; 8 — подпиточный насос; 9, 10 — наружные подающий и обратный теплопроводы, соответственно
11 — смесительная установка

Независимая схема присоединения системы насосного водяного отопления (см. рисунок 2.1, б) схожа по своим элементам к схеме при местном теплоснабжении (см. рисунок 2.1, а). При этом котлы заменяют теплообменниками, а систему заполняют деаэрированной водой (лишенной растворенного воздуха) из наружной тепловой сети, с помощью высокого

давления в ней или специальным подпиточным насосом, если это давление недостаточно высоко. Воду для заполнения системы, как правило, забирают из обратного теплопровода. Подача теплоносителя для заполнения системы также возможна и из подающего теплопровода, при условии что давление высокотемпературной воды, передающееся при этом в систему, допустимо для всех ее элементов.

При независимой схеме создается местный теплогидравлический режим работы в системе отопления при пониженной температуре греющей воды ($t_r < t_1$). Первичная вода после теплообменников будет иметь температуру выше температуры обратной воды в системе отопления ($t_2 > t_o$). Если, например, расчетная температура после теплообменников принята $t_o = 70$ °С, то для сокращения площади нагревательной поверхности теплообменников температура t_2 должна быть не ниже 75 °С.

Независимую схему присоединения применяют, когда в системе не допускается повышение гидростатического давления (по условию прочности элементов системы отопления и, прежде всего, отопительных приборов) до давления, под которым находится вода в наружном обратном теплопроводе.

Преимуществом независимой схемы является:

- обеспечение индивидуального для каждого здания теплогидравлического режима;
- возможность сохранения циркуляции с использованием теплоемкости воды в течение некоторого времени, необходимого для устранения аварийного повреждения наружных теплопроводов:
- сравнительно более продолжительный срок службы данной системы относительно системы с местной котельной, вследствие уменьшения коррозионной активности воды.

Недостатком независимой схемы является сложная конструкция теплового пункта, которая влечет за собой относительно высокие финансовые вложения как при монтаже, так эксплуатации системы.

Зависимая схема присоединения системы отопления **со смешением воды** представлена на рисунок 2.1, в). Данную схему выбирают, когда в системе требуется температура воды $t_r < t_1$ и допускается повышение гидростатического давления до давления, под которым находится вода в наружном обратном теплопроводе.

Преимуществом независимой схемы является:

- сравнительная простота по конструкции и в обслуживании;
- соответственно стоимость ее ниже стоимости независимой схемы, благодаря исключению таких элементов, как теплообменники, подпиточный узел, расширительный бак, функции которых выполняются централизованно на тепловой станции.

Смешение обратной воды из системы отопления с высокотемпературной водой из наружного подающего теплопровода осуществляют при помощи смесительного аппарата - насоса или водоструйного элеватора. Насосная смесительная установка имеет преимущество перед элеваторной. Во первых ее КПД выше, а в случае аварийного повреждения наружных теплопроводов возможно, как и при независимой схеме присоединения, сохранение циркуляции воды в системе отопления. Кроме того смесительный насос можно применять в системах отопления со значительным гидравлическим сопротивлением (к которым, например, относятся системы с автоматическим регулированием и регулирующей арматурой у приборов и на стояках/ответвлениях системы), тогда как при использовании водоструйного элеватора потеря давления в системе должна быть сравнительно небольшой.

Недостатком зависимой схемы присоединения со смешением является незащищенность системы от повышения в ней гидростатического давления, непосредственно передающегося через обратный теплопровод, до значения, опасного для целостности отопительных приборов и арматуры.

Зависимая прямоточная схема присоединения системы отопления к наружным теплопроводам представлена на рисунке 2.1, г. Прямоточную схему

применяют, когда в системе допускаются подача высокотемпературной воды ($t_r = t_1$) и значительное гидростатическое давление, или при прямой подаче низкотемпературной воды.

Преимуществом такой схемы является её простота по конструкции и в обслуживании. В системе отсутствуют такие элементы, как теплообменник или смесительная установка, циркуляционный и подпиточный насосы, расширительный бак.

Недостатками зависимой прямоточной схемы являются невозможность местного регулирования температуры горячей воды и зависимость теплового режима здания от температуры воды в наружном подающем теплопроводе. Высота зданий, в которых используют высокотемпературную воду, ограничена вследствие необходимости сохранить в системе гидростатическое давление, достаточно высокое для предотвращения вскипания воды.

При централизованном теплоснабжении с применением независимой и зависимых схем присоединения в системе отопления циркулирует деаэрированная вода. Это не только упрощает удаление воздуха из системы (фактически удаление воздушных скоплений проводят только в пусковой период после монтажа и ремонта), но и увеличивает срок ее службы.

При местном (децентрализованном) теплоснабжении тепловым пунктом (источником теплоты) системы отопления является местная водогрейная котельная.

На рисунке 2.2 приведена принципиальная схема теплопроводов **котельной**. При этом рассмотрена такая схема, когда местным теплоснабжением, кроме системы отопления (0), обеспечиваются также системы вентиляции (В), системы «теплый пол» (ТП), горячего водоснабжения (ГВ) здания и подогрева воды в бассейне. Данная схема часто применяется в коттеджном строительстве

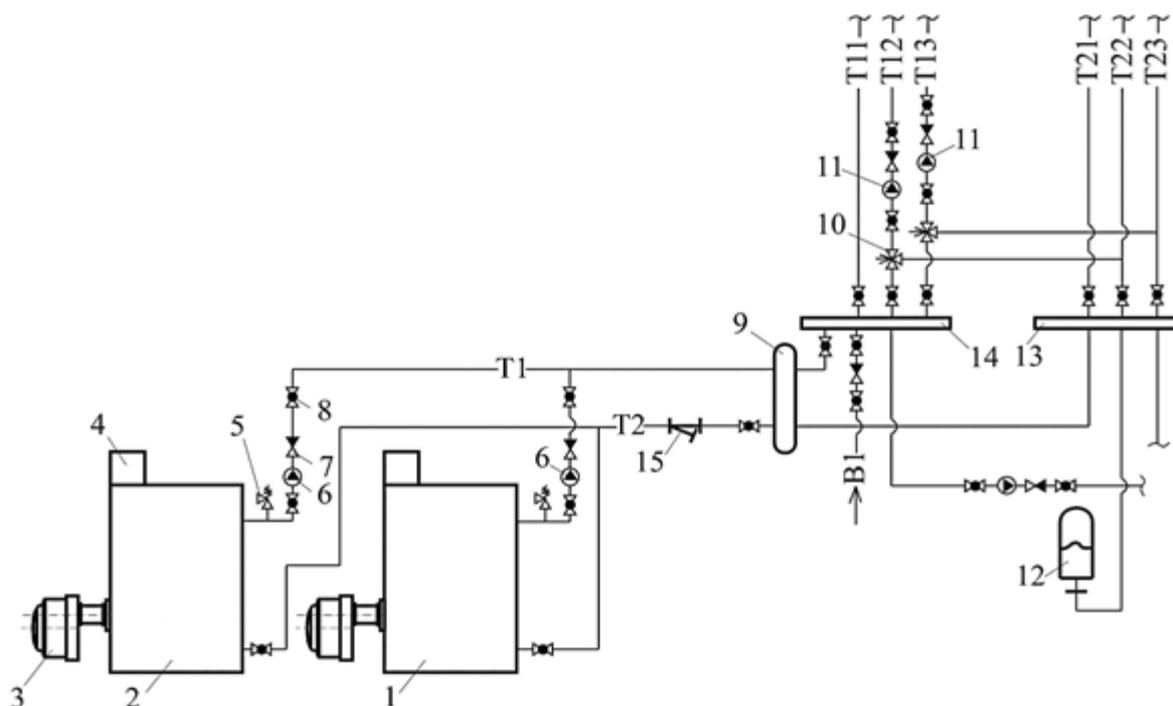


Рисунок 2.2. Схема теплопроводов местной водогрейной котельной:

1, 2 — ведущий и ведомый теплогенераторы, соответственно; 3 — газовая или дизельная горелка; 4 — блок автоматического управления; 5 — предохранительный клапан; 6 — циркуляционный насос контура котельной; 7 — обратный клапан; 8 — запорная арматура; 9 — гидравлический разделитель; 10 — трехходовой смесительный клапан; 11 — циркуляционный насос теплотребляющей системы; 12 — закрытый расширительный бак; 13, 14 — сборный и распределительный коллекторы, соответственно; 15 — водяной фильтр или грязевик

Как правило в котельной устанавливают один или два котла, каждый из которых рассчитан на 50 % общей тепловой мощности всех потребителей теплоты здания. Первичная вода в котле нагревается до температуры, не ниже требуемой и достаточной для последующего нагревания водопроводной (вторичной) воды в теплообменнике системы горячего водоснабжения (обычно 70 °С).

Современная схема местного (децентрализованного) теплоснабжения предусматривает установку в каждой системе собственного циркуляционного насоса. Расширительный бак в данном случае является общим для всех теплопотребителей.

При централизованном теплоснабжении **тепловой пункт** может быть

местным - индивидуальным (ИТП) для системы отопления данного здания и **групповым** - центральным (ЦТП) для систем отопления группы зданий. Проектирование тепловых пунктов ведется в соответствии с нормативными правилами (СП 41-101-95).

Принципиальная схема индивидуального теплового пункта **при независимом присоединении** системы насосного водяного отопления к наружным теплопроводам представлена на рисунке 2.3.

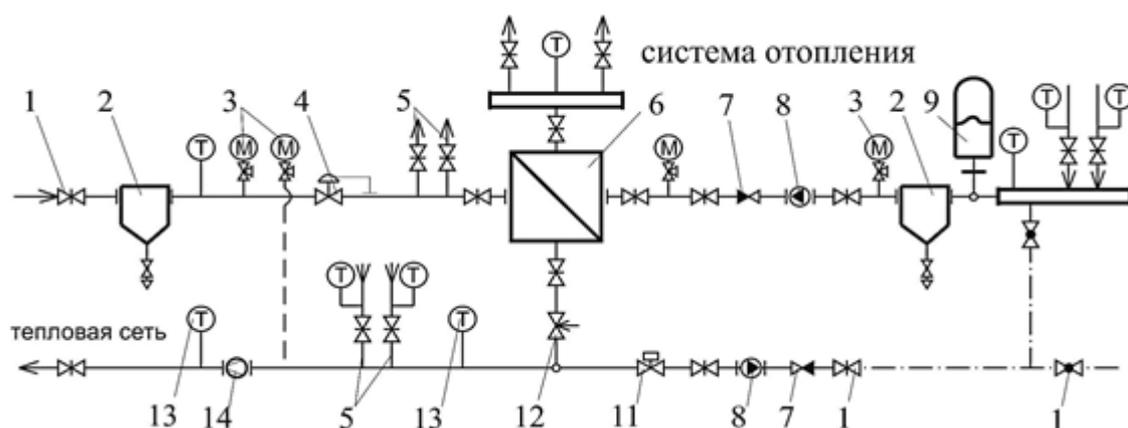


Рисунок 2.3. Схема местного теплового пункта при независимом присоединении системы водяного отопления к наружным теплопроводам:

- 1 — задвижка; 2 — грязевик; 3 — манометр; 4 — регулятор давления; 5 — ответвления к системам вентиляции и горячего водоснабжения; 6 — водоводяной теплообменник; 7 — обратный клапан; 8 — циркуляционный насос систем отопления; 9 — закрытый расширительный бак; 10 — подпиточный насос; 11 — клапан с электроприводом; 12 — регулирующий клапан; 13 — термометр; 14 — тепломер

Слева по схеме находятся наружные теплопроводы, по которым перемещается высокотемпературная вода из тепловой сети. Поступающая вода в теплообменник обладает температурой t_1 , а охлажденная вода, удаляемая из теплообменника обладает температурой t_2 . Данные температуры должны соответствовать температурному графику тепловой сети, при качественном регулировании зависящими от температуры наружного воздуха. При единой системе обычно устанавливают один теплообменник. Однако, в районах вечномерзлых грунтов следует устанавливать два теплообменника, расчетной

мощностью каждого по 75 % от расчетной мощности системы отопления. Расход высокотемпературной воды предусмотрено изменять автоматически при помощи регулирующего клапана в соответствии с задаваемой программой изменения температуры воды t_r , направляемой в систему отопления. В данной схеме присутствует также и регулятор давления (РД) “после себя” для понижения давления в подающем теплопроводе до необходимого значения.

Справа по схеме даны: сверху - теплопроводы системы отопления от сборного до распределительного коллекторов с циркуляционным насосом и присоединенным расширительным баком, снизу - линия для заполнения (и восполнения при утечке) системы деаэрированной водой, забираемой из обратной магистрали наружных теплопроводов. Подпиточный насос на этой линии устанавливается только тогда, когда гидростатическое давление в системе отопления превышает давление в наружных теплопроводах. Действует этот насос периодически с автоматическим управлением в зависимости от изменения уровня воды в открытом расширительном баке или при снижении давления в точке подключения насоса до определенной величины.

Теплообменник предназначен для нагревания воды системы отопления до температуры t_r за счет передачи ей тепловой энергии от высокотемпературного теплоносителя тепловой сети. В настоящее время применяют теплообменники различных типов. Наиболее распространенные из них это кожухотрубные теплообменник и пластинчатые (разборные и неразборные) теплообменники.

Кожухотрубный водо-водяной теплообменник состоит из стандартных секций длиной 2 и 4 м. Каждая секция представляет собой стальную трубу диаметром от 50 до 300 мм, внутрь которой помещены несколько латунных трубок диаметром 16x1 мм. Греющая вода из наружного теплопровода пропускается по латунным трубкам, нагреваемая из системы отопления - противотоком в межтрубном пространстве. Недостатком кожухотрубных теплообменников является их сравнительно большой размер. Преимуществом их является значительно меньшая потеря давления теплоносителя относительно

пластинчатых теплообменников, что позволяет выбирать циркуляционный насос меньшей мощности.

Пластинчатый теплообменник набирается из определенного количества стальных профилированных пластин. Греющая и нагреваемая вода протекает между пластинами противотоком или перекрестно.

Длину и число секций кожухотрубного теплообменника или размеры и число пластин в пластинчатом теплообменнике определяют в результате теплового расчета.

Принципиальная схема местного теплового пункта **при зависимом присоединении** системы водяного отопления к наружным теплопроводам **со смешением воды** при помощи водоструйного элеватора дана на рисунке 2.4.

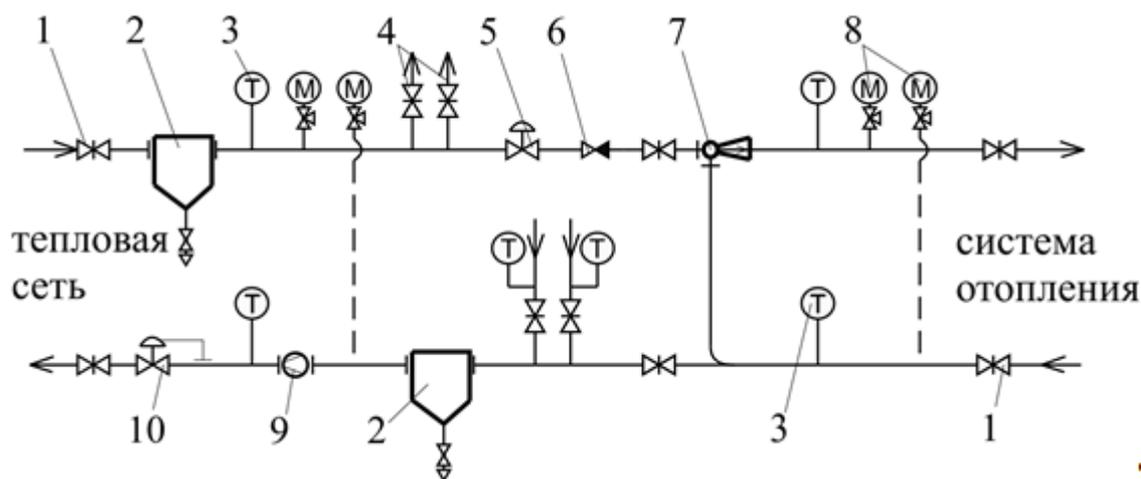


Рисунок 2.4. Схема местного теплового пункта при зависимом присоединении системы водяного отопления к наружным теплопроводам со смешением воды с помощью водоструйного элеватора:
1 — задвижка; 2 — грязевик; 3 — термометр; 4 — ответвления к системам вентиляции и горячего водоснабжения; 5 — регулятор расхода; 6 — обратный клапан; 7 — водоструйный элеватор;
8 — манометр; 9 — тепломер; 10 — регулятор давления

На схеме на подающем теплопроводе высокотемпературной воды (температура t_1) помещен регулятор расхода (РР), предназначенный для стабилизации расхода воды в системе отопления при неравномерном отборе ее через ответвления к другим теплопотребителям. Если применяется автоматизированный водоструйный элеватор, то вместо РР предусматривается

регулирующий клапан для получения заданной температуры воды, поступающей в систему отопления. Таким образом, при смешивании воды обеспечивается местное качественное регулирование работы системы отопления.

На схеме также изображен регулятор давления (РД), поддерживающий давление “до себя”, необходимое для заполнения системы отопления водой, и препятствующий вытеканию воды из системы при аварийном опорожнении наружных теплопроводов.

Тепломер на обратном теплопроводе предназначен для учета общих теплотрат в здании.

Для смешивания высокотемпературной и охлажденной (температура t_0) воды вместо водоструйных элеваторов применяют также смесительные насосные узлы, конструкция которых рассмотрена далее.

Принципиальная схема местного теплового пункта при **зависимом прямоточном присоединении** системы водяного отопления к наружным теплопроводам изображена на рисунке 2.5. Схема отличается от предыдущей отсутствием линии смещения. Горячая вода по подающему теплопроводу непосредственно поступает в систему отопления. Клапан на этом теплопроводе предназначен только для регулирования расхода греющей воды в системе. Применяются, как и в предыдущей схеме, регулятор давления “до себя” на обратном теплопроводе и также тепломер для учета теплотрат в системе отопления.

Общим для всех схем, изображенных на рисунке 2.1, является применение насоса для искусственного побуждения движения воды в системе отопления. Циркуляционный насос устанавливают непосредственно в магистрали системы отопления здания. В зависимых схемах (см. рисунок 2.1, *в, г*) циркуляционный насос помещают в центральном тепловом пункте, или местной котельной, и он создает давление, необходимое для циркуляции воды, как в наружных теплопроводах, так и в местной системе отопления.

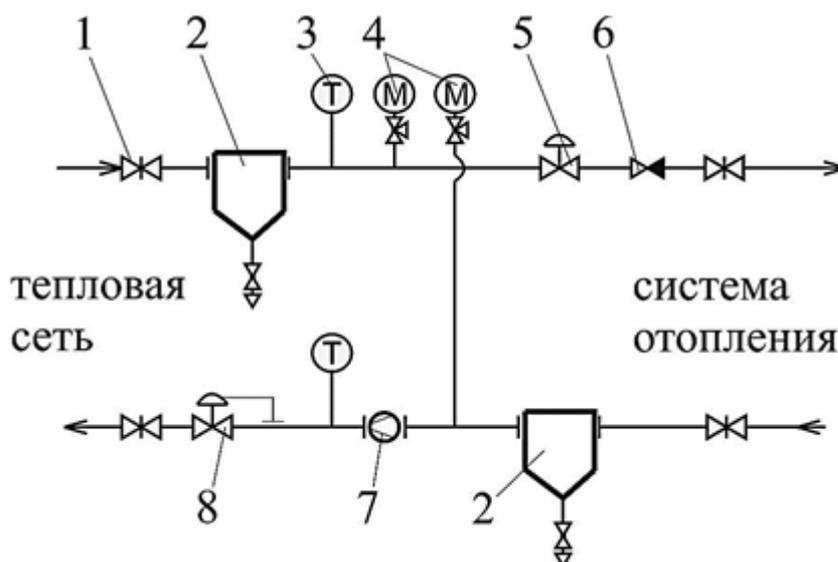


Рисунок 2.5. Схема местного теплового пункта при зависимом прямоточном присоединении системы водяного отопления к наружным теплопроводам:

1 — задвижка; 2 — грязевик; 3 — термометр; 4 — манометр; 5 — регулятор расхода;
6 — обратный клапан; 7 — тепломер; 8 — регулятор давления «до себя»

В данном случае насос называется **циркуляционным**. Это связано с тем, что задача насоса, действующего в замкнутых кольцах системы отопления, заполненных водой, заключается в том, чтобы не поднимать (как например в разомкнутой системе водоснабжения), а только перемещать воду, создавая циркуляцию. В системе водоснабжения насос не перемещает воду, а поднимает ее к точкам разбора. При таком использовании насос называют **повысительным**.

В процессах заполнения и возмещения потери воды в системе отопления циркуляционный насос не участвует. Заполнение происходит под воздействием давления в наружных теплопроводах, в водопроводе или, если этого давления недостаточно, с помощью специального **подпиточного** насоса.

Для создания циркуляции воды в замкнутых кольцах местоположение циркуляционного насоса безразлично. Однако, для увеличения срока службы деталей насос включается, как правило, в обратную магистраль системы

отопления. Это связано с тем, что применяемые в настоящее время для систем отопления насосы с «мокрым» ротором предполагают охлаждение электродвигателя перемещаемым теплоносителем (водой), а при температуре возвращаемой воды этот процесс осуществляется интенсивнее.

Мощность циркуляционного насоса определяется количеством перемещаемой воды и развиваемым при этом давлением.

Количество воды, подаваемой насосом за данный промежуток времени, отнесенное к этому промежутку (обычно к 1 ч), называют **подачей** насоса L_n , м³/ч. В технике отопления объемную подачу насосом горячей воды заменяют массовым **расходом** G_n , кг/ч, не зависящим от температуры воды:

$$G_n = \rho L_n, \quad (2.1)$$

где ρ – средняя плотность воды в системе отопления, кг/м³.

Для циркуляционного насоса, включенного в общую магистраль, расход перемещаемой воды G_n равен общему расходу воды в системе отопления G_c , т.е.:

$$G_n = G_c. \quad (2.2)$$

Общий расход воды G_c , кг/ч, составляет:

$$G_c = 3600Q_c / (c(t_r - t_o)), \quad (2.3)$$

где Q_c – тепловая мощность системы отопления, Вт; c - удельная массовая теплоемкость воды, принимаемая равной 4187 Дж/(кг·°С); t_r и t_o - расчетная температура, соответственно, подающей и обратной воды в системе отопления, °С.

Циркуляционным давлением насоса называют создаваемое насосом повышение давления в потоке воды, необходимое для преодоления сопротивления ее движению в системе отопления, в которую он включен. Циркуляционное давление насоса обозначают Δp_n и выражают в паскалях (Па).

В отличие от циркуляционного давления напор насоса обозначают буквой H и выражают в метрах водяного столба (м. вод. ст.).

В практике расчета систем отопления циркуляционное давление насоса считают равным разности гидростатического давления в нагнетательном и всасывающем патрубках:

$$\Delta p_H = p_{\text{наг}} - p_{\text{вс}}, \quad (2.4)$$

где $p_{\text{наг}}$ и $p_{\text{вс}}$ – гидростатическое давление в потоке воды, Па.

В системах отопления применяют **специальные циркуляционные насосы**, перемещающие значительное количество воды и развивающие сравнительно небольшое давление. Это бесшумные горизонтальные лопастные насосы центробежного, осевого или диагонального типа, соединенные в единый блок с электродвигателями и закрепляемые непосредственно на трубах (рисунок 2.6). Вал двигателя с рабочим колесом насоса, а также ротор двигателя вращаются в подшипниках с водяной смазкой.

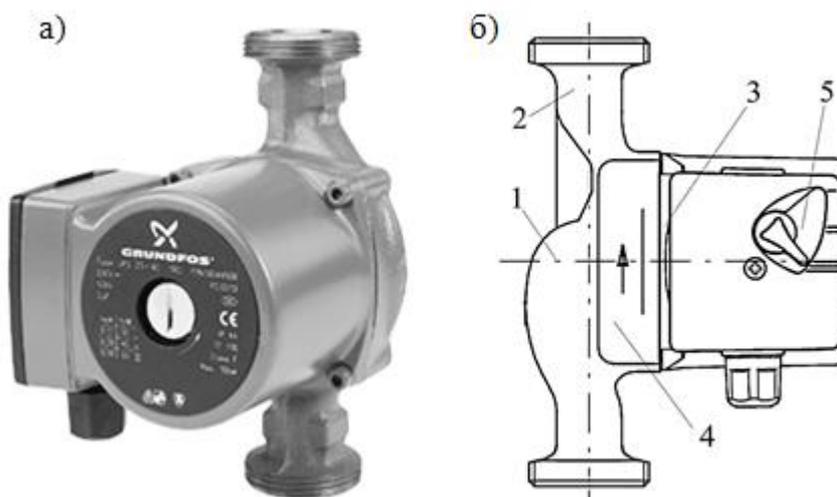


Рисунок 2.6. Бесфундаментный центробежный циркуляционный насос для системы водяного отопления:

а) общий вид насоса; б) разрез по корпусу насоса.

1 — корпус; 2 — нагнетательный патрубок с фланцем для присоединения насоса к трубе;
3 — электродвигатель; 4 — рабочее колесо; 5 — регулятор скорости вращения рабочего колеса

Каждый насос обладает собственной, только ему присущей характеристикой, получаемой в процессе стендовых испытаний опытного образца

при определенной частоте вращения электродвигателя. Характеристика выражает зависимость между расходом насоса G_H и соответственно циркуляционным давлением Δp_H , КПД η_H и мощностью насоса N_H (рисунок 2.7).

По характеристикам насоса можно отметить постепенное уменьшение циркуляционного давления и увеличение потребляемой мощности по мере возрастания расхода, а также существование максимального значения КПД при определенном расходе воды, перемещаемой насосом (точка Б). Часть кривой изменения Δp_H , соответствующая высоким значениям КПД, носит название рабочего отрезка характеристики насоса. Для обеспечения расчетных параметров, бесшумности и экономии электроэнергии при действии насоса рекомендуется при его выборе ориентироваться на одну из точек в пределах рабочего отрезка характеристики. Все такие точки также называются **рабочими**.

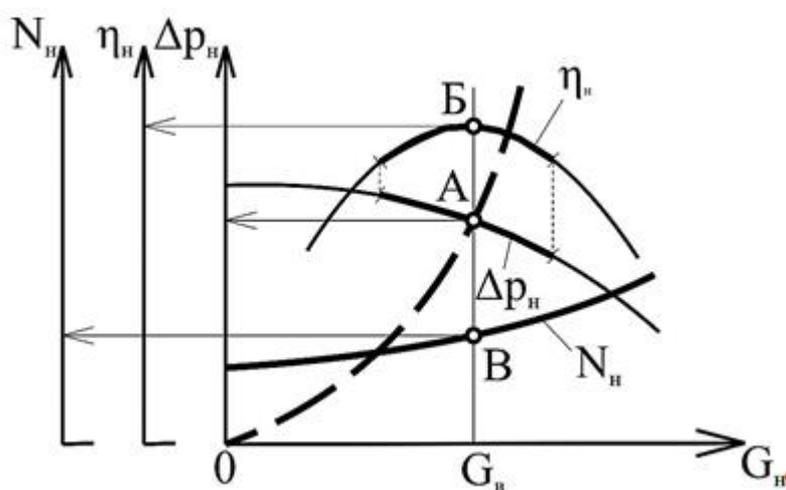


Рисунок 2.7. Гидравлические характеристики циркуляционного насоса (сплошные линии) и системы отопления (пунктирная линия)

Рабочая точка А представляет собой точку пересечения рабочего отрезка характеристики насоса с характеристикой системы отопления, выражаемой параболой (пунктирная линия). Насос при расходе воды $G_H = G_C$ (см. формулу (2.6)) создает в рабочей точке А определенное циркуляционное давление Δp_H , действует с максимальным КПД η_H (точка Б) и обладает мощностью N_H (точка

В). На рисунке изображен идеальный случай, когда насос не только действует с максимальным КПД, но и создает циркуляционное давление $\Delta p_n = \Delta p_c$ (без учета естественного циркуляционного давления в системе отопления - см. формулу (2.4)).

В систему отопления включают два одинаковых циркуляционных насоса, действующих попеременно: при работе одного из них второй находится в резерве. Присоединение труб к бесфундаментным циркуляционным насосам показано на рисунок 2.8.

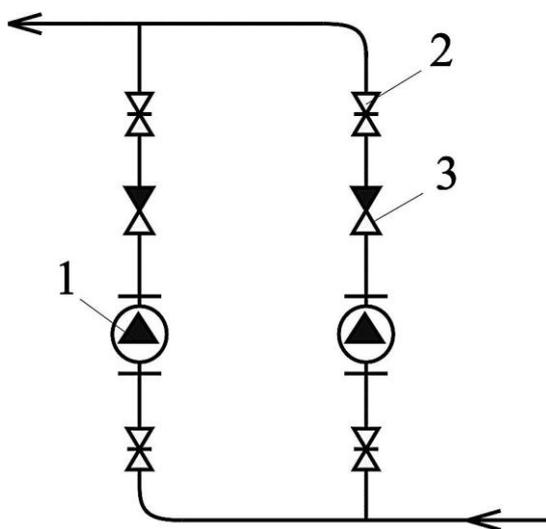


Рисунок 2.8. Схемы присоединения труб к бесфундаментным циркуляционным насосам:

1 — насос; 2 — отключающий кран или задвижка; 3 — обратный клапан

Задвижки (или отключающие краны) до и после обоих насосов (действующего и бездействующего) постоянно открыты, особенно, если предусмотрено автоматическое переключение насосов (например, после непрерывного суточного действия). Обратный клапан препятствует циркуляции воды через бездействующий насос (предотвращает, как говорят, работу насоса “на себя”).

Легко монтируемые бесфундаментные насосы иногда устанавливают в системе отопления по одному. При этом резервный насос хранят на складе близ теплового пункта и оборудуют сигнализацию о состоянии циркуляции воды в системе.

Мощность насоса пропорциональна произведению секундной подачи на создаваемое циркуляционное давление. Мощность электродвигателя $N_э$, Вт, определяется с учетом КПД насоса η_n и необходимого запаса мощности k по формуле:

$$N_э = kL_n\Delta p_n / (3600\eta_n) , \quad (2.5)$$

где L_n – подача насоса, м³/ч; Δp_n – давление насоса, Па (Н/м²).

Коэффициент запаса k , учитывающий пусковой момент, получает наибольшее значение (до 1,5) при минимальной мощности электродвигателя.

Смесительную установку (смесительный насос или водоструйный элеватор) применяют в системе отопления для понижения температуры воды, поступающей из наружного подающего теплопровода, до температуры, допустимой в системе t_r . Понижение температуры происходит при смешении высокотемпературной воды t_1 с обратной (охлажденной до температуры t_0) водой местной системы отопления (см. рисунок 2.1, в).

Смесительную установку используют также для местного качественного регулирования теплопередачи отопительных приборов системы, дополняющего центральное регулирование на тепловой станции. При местном регулировании путем автоматического изменения по заданному температурному графику температуры смешанной воды в обогреваемых помещениях поддерживаются оптимальные тепловые условия. Кроме того, исключается перегревание помещений, особенно в осенний и весенний периоды отопительного сезона. При этом сокращается расход тепловой энергии.

Высокотемпературная вода подается в точку смешения под давлением в наружном теплопроводе, созданным сетевым циркуляционным насосом на тепловой станции. Количество высокотемпературной воды G_1 при известной тепловой мощности системы отопления Q_c будет тем меньше, чем выше температура t_1 :

$$G_1 = Q_c / (c(t_1 - t_0)) , \quad (2.6)$$

где t_1 – температура воды в наружном подающем теплопроводе, °С.

Поток охлажденной воды, возвращающейся из местной системы отопления, делится на два: первый в количестве G_0 направляется к точке смешения, второй в количестве G_1 — в наружный обратный теплопровод. Соотношение масс двух смешиваемых потоков воды — охлажденной G_0 и высокотемпературной G_1 называют **коэффициентом смешения**:

$$u = G_0 / G_1 . \quad (2.7)$$

Коэффициент смешения может быть выражен через температуру воды (с использованием формул (2.6) и (2.7)):

$$u = (t_1 - t_r) / (t_r - t_0) . \quad (2.8)$$

Например, при температуре воды $t_1 = 150$, $t_r = 95$ и $t_0 = 70$ °С коэффициент смешения смесительной установки $u = (150 - 95) / (95 - 70) = 2,2$. Это означает, что на каждую единицу массы высокотемпературной воды должно подмешиваться 2,2 единицы охлажденной воды.

Смешение происходит в результате совместного действия двух аппаратов: циркуляционного сетевого насоса на тепловой станции и смесительной установки (насоса или водоструйного элеватора) в отапливаемом здании.

Смесительный насос можно включать в перемычку Б-А между обратной и подающей магистралями (рисунок 2.9, а), в обратную (рисунок 2.9, б) или подающую магистраль (рисунок 2.9, в) системы отопления. На рисунке показаны регуляторы температуры и расхода воды для местного качественно-количественного регулирования системы отопления в течение отопительного сезона.

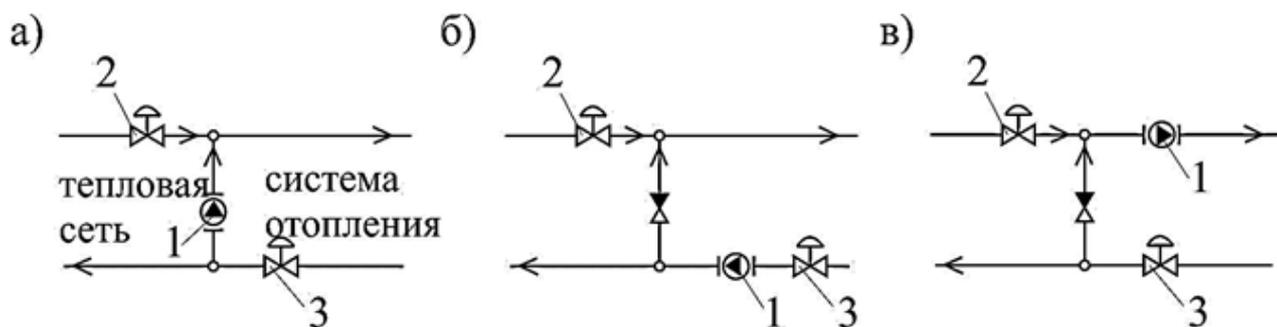


Рисунок 2.9. Схемы смесительной установки с насосом:

а) насос на перемычке между магистралями; б) насос на обратной магистрали; в) насос на подающей магистрали.

1 — насос; 2 — регулятор температуры; 3 — регулятор расхода воды в системе отопления

Смесительный насос, включенный в перемычку, подает в точку смешения А воду, повышая ее давление до давления высокотемпературной воды. Таким образом, в точку смешения поступают два потока воды в результате действия двух различных насосов – сетевого (на теплоисточнике) и местного (смесительного), включенных параллельно. Насос на перемычке действует в благоприятных температурных условиях (при температуре $t_0 \leq 70 \text{ }^\circ\text{C}$) и перемещает меньшее количество воды, чем насос на обратной или подающей магистрали ($G_0 < G_c$):

$$G_n = G_0, \text{ где } G_0 = G_c - G_1. \quad (2.9)$$

Насос на перемычке, обеспечивая смешение, не влияет на величину циркуляционного давления для местной системы отопления, которая определяется разностью давления в точках присоединения системы к наружным теплопроводам. Эпюра изменения давления в системе и в перемычке Б-А между магистралями в этом случае изображена на рисунке 2.10, а. Показано постепенное (условно равномерное) понижение давления в направлении движения воды в подающей (наклонная линия Т1) и обратной (наклонная линия Т2) магистралях, падение давления в системе отопления (сплошная вертикальная линия) и его возрастание под действием насоса в перемычке (пунктирная линия) до давления в точке А.

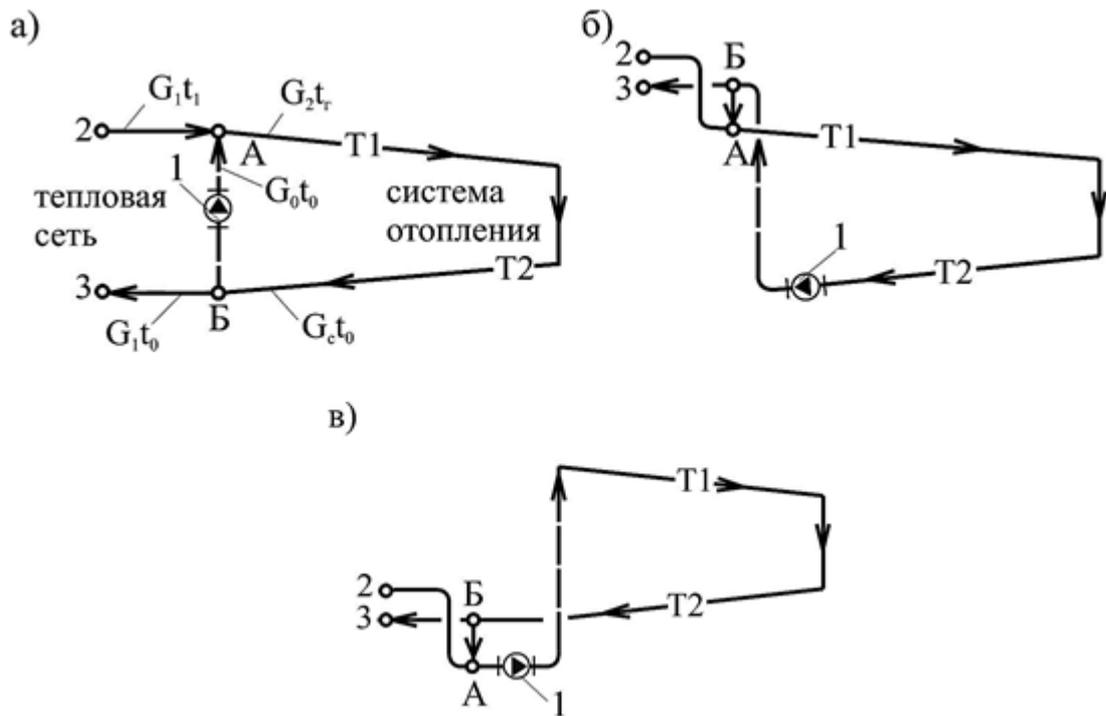


Рисунок 2.10. Изменение давления в теплопроводах смесительной установки с насосом: а) насос на перемычке между магистралями; б) насос на обратной магистрали; в) насос на подающей магистрали.

1 — насос; 2 и 3 — точки подключения к системе городского теплоснабжения системы отопления, разность давления в которых определяет циркуляционное давление в системе отопления; А и Б — точки, соответственно, смешения и деления потоков воды

Смесительный насос включают непосредственно в магистрали системы отопления, когда разность давления в наружных теплопроводах недостаточна для обеспечения расчетного расхода воды в системе. Насос при этом, обеспечивая помимо смешения необходимую циркуляцию воды, становится **циркуляционно-смесительным**.

Насос на обратной или подающей магистрали (см. рисунок 2.9, б, в) перемещает всю воду, циркулирующую в системе ($G_n = G_c$ по выражению (2.6)), при температуре t_0 или t_r . Включение насоса в общую магистраль системы отопления позволяет увеличить циркуляционное давление в ней до необходимой величины независимо от разности давления в наружных теплопроводах. Условия смешения воды аналогичны: в точку А (см. рисунок 2.10) поступают два потока воды (G_1 и G_0) также в результате действия двух на-

сосов - сетевого и местного - с той лишь разницей, что насосы включаются последовательно (по направлению движения воды).

Изменение циркуляционного давления при действии системы отопления с циркуляционно-смесительным насосом, включенным в общую обратную магистраль, показано на рисунок 2.10, б. Как видно, давление в системе ниже давления в наружных теплопроводах. Данная схема может быть выбрана после проверки, не вызовет ли понижение давления вскипания воды или подсоса воздуха в отдельных местах системы. Насос повышает давление воды до давления в наружном обратном теплопроводе. Давление в точке смешения А должно быть ниже давления в точке Б (устанавливается с помощью регулятора температуры - см. рисунок 2.10).

Насос, включаемый в общую подающую магистраль, предназначен не только для смешения и циркуляции, но и для подъема воды в верхнюю часть системы отопления высокого здания. Смесительный насос в этом случае становится еще и **циркуляционно-повысительным**. Изменение гидравлического давления в этом случае изображено на рисунок 2.10, в.

Смесительных насосов, как и циркуляционных, устанавливают обычно два с параллельным включением в теплопровод. Действует всегда один из насосов, второй - резервный.

Смешение воды может осуществляться и без местного насоса. В этом случае смесительная установка оборудуется водоструйным элеватором.

Водоструйный элеватор получил распространение как дешевый, простой и надежный в эксплуатации аппарат. Он сконструирован так, что подсасывает охлажденную воду для смешения с высокотемпературной водой и передает часть давления, создаваемого сетевым насосом на тепловой станции, в систему отопления для обеспечения циркуляции воды.

Водоструйный элеватор (рисунок 2.11) состоит из конусообразного сопла, через которое со значительной скоростью протекает высокотемпературная вода при температуре t_1 в количестве G_1 , камеры всасывания, куда поступает

охлажденная вода при температуре t_0 в количестве G_0 , смесительного конуса и горловины, где происходит смешение и выравнивание скорости движения воды, и диффузора.

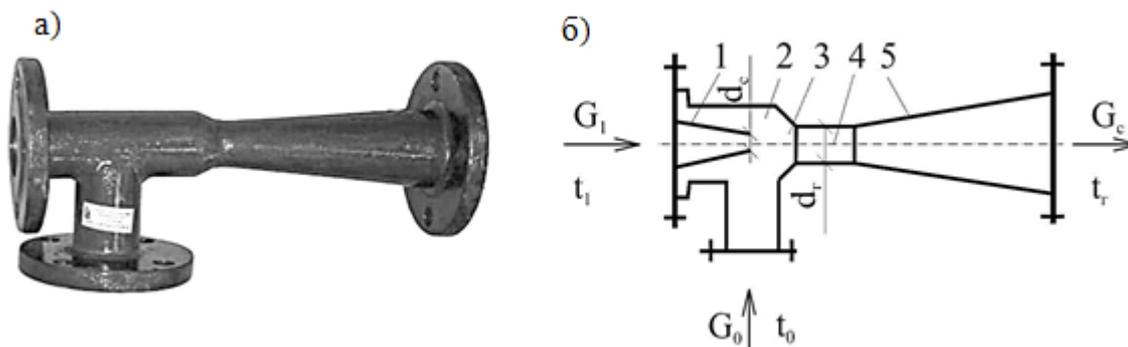


Рисунок 2.11. Водоструйный элеватор: а) внешний вид; б) разрез элеватора.

1 — сопло; 2 — камера всасывания; 3 — смесительный конус; 4 — горловина; 5 — диффузор

Вокруг струи воды, вытекающей из отверстия сопла с высокой скоростью, создается зона пониженного давления, благодаря чему охлажденная вода перемещается из обратной магистрали системы в камеру всасывания. В горловине струя смешанной воды движется с меньшей, чем в отверстии сопла, но еще со значительной скоростью. В диффузоре при постепенном увеличении площади поперечного сечения по его длине гидродинамическое (скоростное) давление падает, а гидростатическое - нарастает. За счет разности гидростатического давления в конце диффузора и в камере всасывания элеватора создается циркуляционное давление, необходимое для действия системы отопления.

Одним из недостатков водоструйного элеватора является низкий КПД. Достигая наивысшего значения (43 %) при малом коэффициенте смешения и особой форме камеры всасывания, КПД стандартного элеватора при высокотемпературной воде практически близок к 10 %. Следовательно, в этом случае разность давления в наружных теплопроводах на вводе в здание должна не менее, чем в 10 раз превышать циркуляционное давление $\Delta p_{\text{н}}$, необходимое для циркуляции воды в системе отопления. Это условие значительно

ограничивает давление, передаваемое водоструйным элеватором в систему из наружной тепловой сети.

Другой недостаток элеватора — прекращение циркуляции воды в системе отопления при аварии в наружной тепловой сети, что ускоряет охлаждение отапливаемых помещений и замерзание воды в системе.

Еще один недостаток элеватора - постоянство коэффициента смешения, исключающее местное качественное регулирование (изменение температуры t_r) системы отопления. Понятно, что при постоянном соотношении в элеваторе между G_0 и G_1 температура t_r , с которой вода поступает в систему отопления, определяется уровнем температуры t_1 , поддерживаемым на тепловой станции для всей системы теплоснабжения, и может не соответствовать теплотребности конкретного здания.

Водоструйные элеваторы различаются по диаметру горловины d_r (например, элеватор № 1 имеет $d_r=15$ мм, № 2 - 20 мм и т. д.). Для использования одного и того же корпуса элеватора при различных давлении и расходе воды сопло делают сменным.

Изменение давления и расхода в процессе эксплуатации, не предусмотренное расчетом, вызывает разрегулирование системы отопления, т. е. неравномерную теплоотдачу отдельных отопительных приборов. Для его устранения перед водоструйным элеватором устанавливают регулятор расхода.

При применении элеватора часто приходится определять располагаемую разность давления Δp_n для гидравлического расчета системы отопления, исходя из разности давления в наружных теплопроводах Δp_r в месте присоединения ответвления к проектируемому зданию. Насосное циркуляционное давление Δp_n , передаваемое элеватором в систему отопления, можно рассчитать в этом случае по формуле:

$$\Delta p_n = 0,75(\Delta p_r - \Delta p_{отв}) / (1 + 2u + 0,21u^2), \quad (2.10)$$

где $\Delta p_{отв}$ — потери давления в ответвлении от точки присоединения к наружным теплопроводам до элеватора.

Внутреннее пространство всех элементов системы отопления (труб, отопительных приборов, арматуры, оборудования и т. д.) заполнено водой. Получающийся при заполнении объем воды в процессе эксплуатации системы претерпевает изменения: при повышении температуры воды он увеличивается, при понижении температуры - уменьшается. Соответственно изменяется внутреннее гидравлическое давление. Однако эти изменения не должны отражаться на работоспособности системы отопления и, прежде всего, не должны приводить к превышению предела прочности любых ее элементов. Поэтому в систему водяного отопления вводится дополнительный элемент - расширительный бак.

Расширительный бак может быть открытым, сообщающимся с атмосферой, и закрытым, находящимся под переменным, но строго ограниченным избыточным давлением.

Основное назначение расширительного бака - прием прироста объема воды в системе, образующегося при ее нагревании. При этом в системе поддерживается определенное гидравлическое давление. Кроме того, бак предназначен для восполнения убыли объема воды в системе при небольшой утечке и при понижении ее температуры, для сигнализации об уровне воды в системе и управления действием подпиточных устройств. Через открытый бак удаляется вода в водосток при переполнении системы. В отдельных случаях открытый бак может служить воздухоотделителем и воздухоотводчиком.

Открытый расширительный бак (рисунок 2.12) размещают над верхней точкой системы (на расстоянии не менее 1 м) в чердачном помещении или в лестничной клетке и покрывают тепловой изоляцией. Иногда (например, при отсутствии чердака) устанавливают неизолированный бак в специальном утепленном боксе (будке) на крыше здания. Однако при этом повышается стоимость монтажа, увеличиваются теплопотери (вследствие развития поверхности охлаждения) и, как следствие, абсорбция воздуха водой.

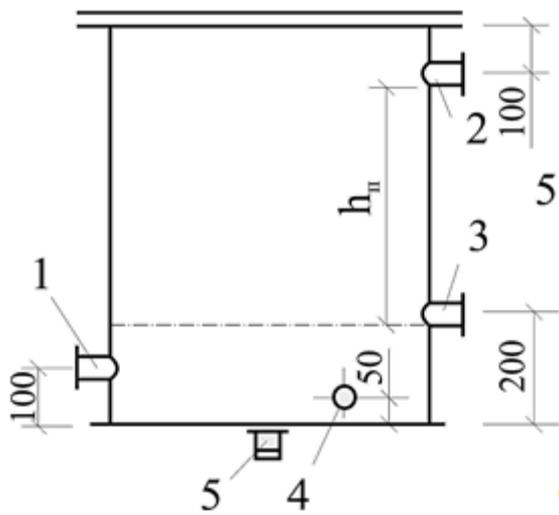


Рисунок 2.12. Открытый расширительный бак:

1, 2, 3, 4 — патрубки для присоединения расширительной, переливной, контрольной и циркуляционной труб, соответственно; 5 — патрубков с пробкой для опорожнения бака

Баки изготавливают цилиндрическими из листовой стали, сверху их снабжают люком для осмотра и окраски. В корпусе бака имеется несколько патрубков. Расширительный патрубок предназначен для присоединения расширительной трубы, по которой вода поступает в бак. Патрубок у дна бака - для циркуляционной трубы, через которую отводится охладившаяся вода, обеспечивая ее циркуляцию в баке. Также имеются патрубок для контрольной (сигнальной) трубы (обычно D_y20) и патрубок для соединения бака с переливной трубой (D_y32), сообщающейся с атмосферой.

Соединительные трубы открытого расширительного бака показаны на рисунке 2.13. В насосной системе отопления расширительную и циркуляционную трубы присоединяют к общей обратной магистрали, как правило, близ всасывающего патрубка циркуляционного насоса на расстоянии l (рисунок 2.13, а) не менее 2 м для надежной циркуляции воды через бак.

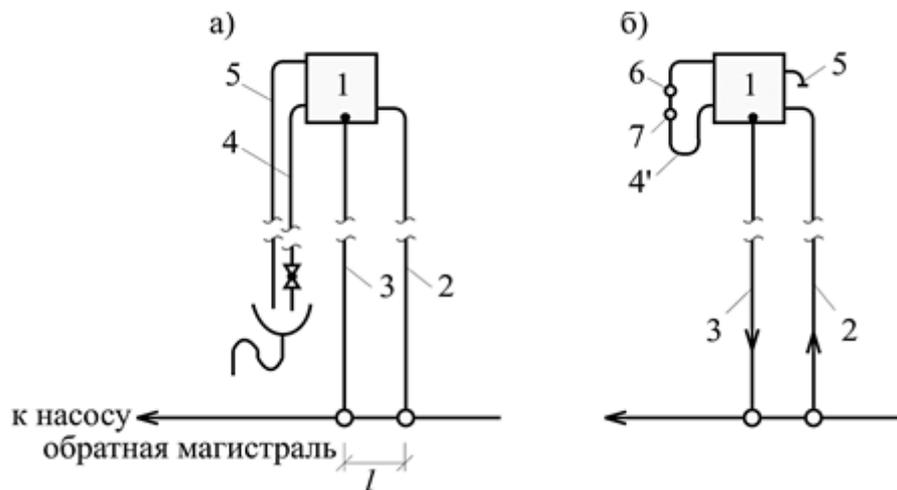


Рисунок 2.13. Присоединение открытого расширительного бака к системе отопления:

а) с ручным (визуальным) контролем; б) с автоматизированной сигнализацией и регулированием уровня воды в баке.

1 — расширительный бак; 2, 3, 4, 5 — расширительная, циркуляционная, контрольная и переливная трубы, соответственно; б, 7 — реле верхнего и нижнего уровней воды в баке, соответственно (соединены с баком трубой 4')

Контрольную трубу выводят к раковине в тепловом пункте и снабжают запорным краном. Вытекание воды при открывании крана должно свидетельствовать о наличии воды в баке, а, следовательно, и в системе (уровень воды не должен быть ниже показанного на рисунке 2.12 штрихпунктирной линией). В малоэтажных зданиях короткая контрольная труба надежно обеспечивает сигнализацию о наличии или отсутствии воды в расширительном баке. В многоэтажных зданиях вместо длинной контрольной трубы, искажающей информацию о действительном уровне воды в системе, устанавливают на расширительном баке два реле уровня, соединенных последовательно (рисунок 2.13, б) с баком. Реле нижнего уровня предназначено для сигнализации (светом или звуком) об опасном падении уровня воды в баке, а также для включения подпиточной установки (клапана или насоса). Реле верхнего уровня служит для прекращения подпитки системы отопления.

Переливную трубу, как и контрольную, в малоэтажных зданиях выводят к раковине в тепловом пункте. В крупных зданиях переливную трубу отводят к ближайшему водосточному стояку.

Полезный объем расширительного бака, ограниченный высотой $h_{п}$ (см. рисунок. 2.12), должен соответствовать приросту - увеличению объема воды, заполняющей систему отопления, при ее нагревании до средней расчетной температуры.

Увеличение объема воды в системе отопления ΔV_c , м³ (л), может быть выражено формулой:

$$\Delta V_c = \beta \Delta t V_c, \quad (2.11)$$

где V_c – объем воды в системе при начальной температуре, м³ (л), который вычисляют в зависимости от объема воды в основных элементах системы отопления, приходящегося в среднем на единицу ее тепловой мощности; Δt - изменение температуры воды от начальной до средней расчетной, °С; β - среднее значение коэффициента объемного расширения воды ($\beta = 0,0006$ 1/°С).

Полезный объем расширительного бака $V_{пол}$, м³ (л), соответствующий увеличению объема воды в системе ΔV_c , определяют по формуле:

$$V_{пол} = k V_c, \quad (2.12)$$

где $k = \beta \Delta t$ (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Объемное расширение воды, нагреваемой в системе отопления (в долях первоначального объема)

Наполнение системы водой	Температура воды при наполнении, °С	Расчетная температура горячей воды в системе, °С			
		95	105	130	135-150
Из водопровода	5	0,045	0,051	0,07	0,084
Из тепловой сети	40-45	0,024	0,027	0,035	0,042

Общий объем воды в системе отопления при начальной температуре V_c , м³ (л), определяют по формуле:

$$V_c = \Sigma V_i Q_c, \quad (2.13)$$

где ΣV_i – суммарный объем воды, м³(л)/кВт, в отдельных элементах системы отопления (отопительных приборах, калориферах, трубах, котлах), приходящийся на 1 кВт ее расчетной тепловой мощности; Q_c – расчетная тепловая мощность системы водяного отопления, кВт.

Закрытый расширительный бак с воздушной или газовой (если используется азот или другой инертный газ, отделенный от воды мембраной) “подушкой” герметичен. Это способствует уменьшению коррозии элементов системы отопления и может обеспечить в широком диапазоне переменное давление в системе.

На рисунке 2.14, а изображена установка в помещении теплового центра закрытого бака без мембраны с регулируемым избыточным давлением. Давление в баке поддерживается либо сжатым воздухом от специального компрессора (вариант 1), либо инертным газом из баллона со сжатым газом (вариант 2). Действие компрессора автоматизируется.

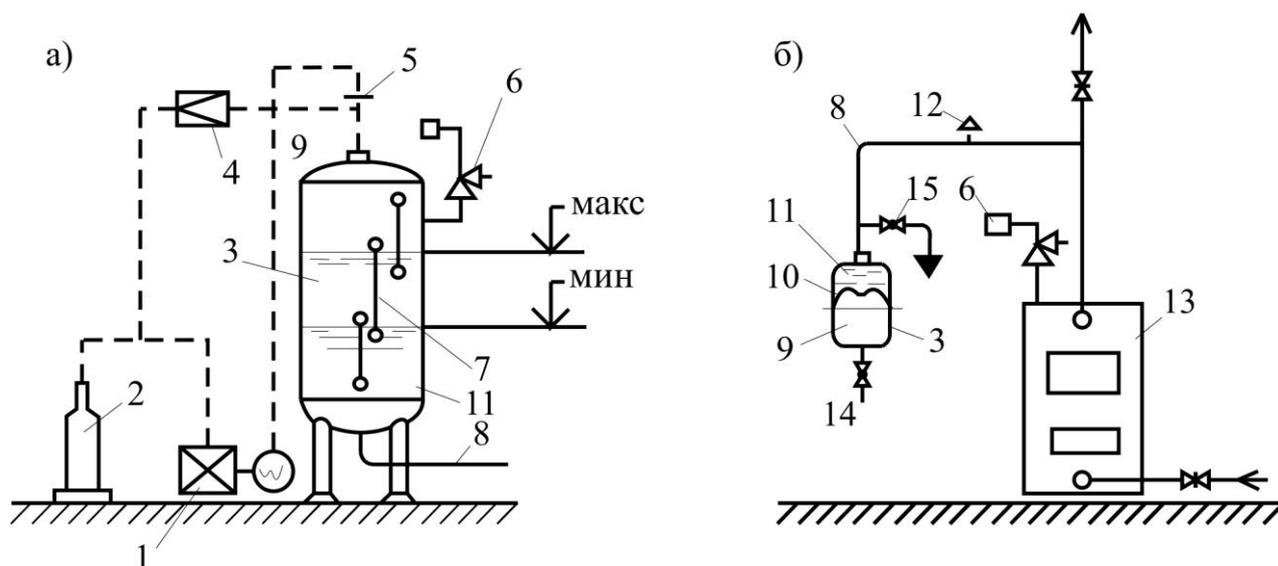


Рисунок 2.14. Установка закрытого расширительного бака:

а) бак без мембраны; б) бак с мембраной.

1 — воздушный компрессор (вариант 1); 2 — баллон с инертным газом (вариант 2);
 3 — расширительный бак; 4 — редукционный клапан; 5 — датчик давления; 6 — предохранительный клапан;
 7 — водомерное стекло; 8 — соединительная труба; 9 — инертный газ; 10 — мембрана;
 11 — вода; 12 — воздушный кран; 13 — водогрейный котел; 14 — штуцер для заполнения бака инертным газом;
 15 — кран для слива воды

На рисунке 2.15, б дана установка закрытого расширительного бака с упругой мембраной, разделяющей две среды - воду и инертный газ. Присоединение бака показано после котла, как это принято в зарубежной практике, когда циркуляционный насос включается в подающую магистраль системы отопления. Начальное давление газа в баке может быть и атмосферным, и избыточным. В последнем случае мембрана до нагревания воды в системе отопления прилегает к стенкам той половины бака, которая после нагревания будет заполняться водой.

Современная конструкция бака представляет собой стальной цилиндрический сосуд (рисунок 2.15), разделенный на две части резиновой мембраной. Одна часть предназначена для воды системы отопления, вторая заполнена в заводских условиях инертным газом (обычно азотом) под давлением. Бак может быть установлен непосредственно на пол котельной или теплового пункта, а также закреплен на стене (например, при стесненных условиях в помещении).

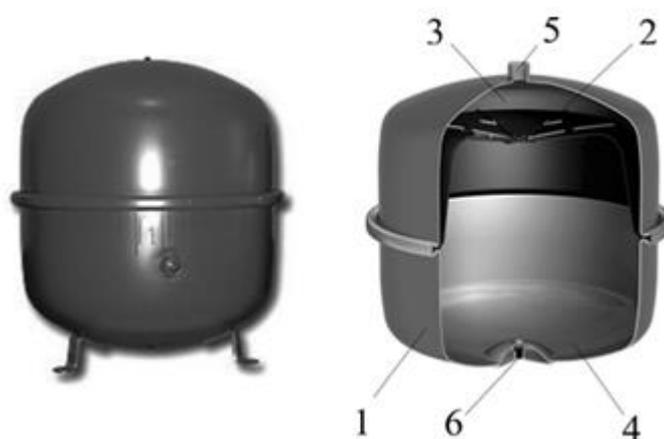


Рисунок 2.15. Внешний вид и разрез закрытого расширительного бака:

1 — корпус; 2 — мембрана; 3 — вода; 4 — воздух или инертный газ; 5 — подвод воды из системы отопления; 6 — предохранительный клапан и (или) штуцер для закачки газа

При нагревании избыток объема воды поступает в бак, сжимая воздух или газ, находящийся в нем (вода действует подобно поршню). При этом повышается давление, как в баке, так и в системе отопления в целом. Если объем бака или воздуха (газа) в нем окажется слишком мал, давление в низших точках системы может превысить максимально допустимое. В связи с этим потребуется во избежание аварии сбросить часть воды из системы через предохранительный клапан (показан на рисунке 2.14).

С другой стороны, при понижении температуры воды давление в высших точках системы может оказаться ниже минимально необходимого для предупреждения таких недопустимых явлений, как вскипание воды или подсос воздуха из атмосферы. Следовательно, объем закрытого расширительного бака строго обусловлен допустимым диапазоном изменения гидравлического давления в системе. Объем бака зависит также от объема и расчетной температуры воды в системе, от давления циркуляционного насоса и места включения насоса в теплопровод по отношению к теплообменнику и точке присоединения бака.

Полезный объем закрытого расширительного бака определяют по формуле:

$$V_{\text{пол}} = \Delta V_c / ((p_a / p_{\text{мин}}) - (p_a / p_{\text{макс}})), \quad (2.14)$$

где ΔV_c – увеличение объема воды в системе при нагревании, м³; p_a – абсолютное давление в баке до первого поступления воды (в том числе атмосферное давление); $p_{\text{мин}}$ – абсолютное давление в баке при наполнении системы водой (минимально необходимое давление воды в баке при минимальном уровне - см. рисунок 2.14, а); $p_{\text{макс}}$ – абсолютное давление в баке при повышении температуры воды до расчетной и заполнении бака водой (максимально допустимое давление воды в баке при максимальном уровне - см. рисунок 2.14, а).

Минимально необходимое давление воды в закрытом расширительном баке равно гидростатическому давлению p_2 на уровне установки бака с некоторым запасом $p_{\text{верх}}$ для создания избыточного давления в верхней точке системы отопления, которое позволит избежать подсоса воздуха из атмосферы или вскипания воды (особенно, если $t_t > 100 \text{ }^\circ\text{C}$):

$$p_{\text{мин}} = p_a + p_2 + p_{\text{верх}} \quad (2.15)$$

Максимально допустимое давление воды в баке при обычном присоединении его к обратной магистрали системы перед всасывающим патрубком циркуляционного насоса (рисунок 2.16) принимают в зависимости от рабочего давления $p_{\text{раб}}$, допустимого для элементов системы отопления в нижней ее точке (например, для чугунного котла), уменьшенного на сумму давления насоса Δp_n и гидростатического давления p_1 , связанного с расстоянием h_1 от уровня воды в баке до нижней точки системы:

$$p_{\text{макс}} = p_a + p_{\text{раб}} - (\Delta p_n + p_1) \quad (2.16)$$

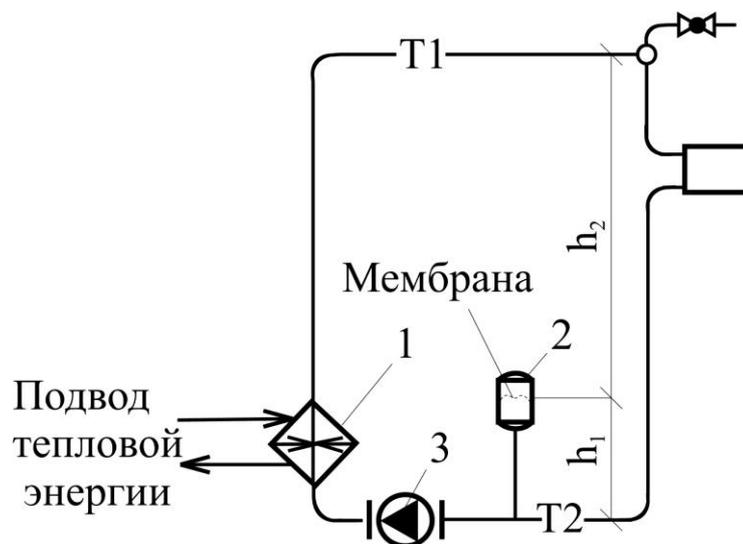


Рисунок 2.16. Установка закрытого расширительного бака в системе водяного отопления с независимым присоединением к тепловой сети:

1 — теплообменник; 2 — расширительный бак; 3 — циркуляционный насос

Объем закрытого расширительного бака при начальном давлении в нем, равном атмосферному, получается больше объема открытого бака. Использование сжатого воздуха (инертного газа) для повышения давления p_a

сверх атмосферного (для “зарядки” бака) позволяет уменьшить объем закрытого бака. Объем бака уменьшается также при переносе его в верхнюю часть здания и присоединении там к магистрали системы отопления.

Место присоединения закрытого расширительного бака к теплопроводам выбирают с учетом сохранения его гидравлической связи с действующей частью системы при нормальном использовании клапанов и прочей запорной арматуры в другой отключаемой части системы отопления.