

Лекция 3. Отопление

1. Общие сведения о системах отопления
2. Системы водяного отопления с естественной циркуляцией теплоносителя.
3. Системы водяного отопления с искусственной циркуляцией теплоносителя
4. Паровые системы отопления
5. Панельно-лучистое отопление (самостоятельно)
6. Электрическое отопление (самостоятельно)
7. Воздушное отопление (самостоятельно)
8. Отопительные приборы (самостоятельно)
9. Системы отопления высотных зданий

1. Общие сведения о системах отопления

Системы отопления представляют собой одну из основных систем инженерного оборудования зданий и сооружений различного назначения. Они предназначены для поддержания в закрытых помещениях нормируемой температуры. Если температура воздуха в помещении, t_{int} поддерживается на более высоком уровне, чем радиационная температура помещения, t_R , т.е. $t_{int} > t_R$, такую систему называют конвективной. Если $t_{int} < t_R$, такое отопление называют лучистым.

К системам отопления предъявляются следующие требования:

- *санитарно-гигиенические* - поддержание температуры воздуха, внутренних поверхностей наружных ограждений в отапливаемых помещениях и поверхностей отопительных приборов в соответствии с санитарными нормами;
- *экономические* - небольшие капитальные затраты, минимальный расход металла, экономный расход тепловой энергии при эксплуатации;
- *строительно-архитектурные* - компактность элементов систем отопления и увязка их со строительными конструкциями здания, соответствие интерьеру помещений;
- *монтажные* - возможность монтажа с максимальным использованием унифицированных узлов заводского изготовления, сокращение трудовых затрат при монтаже;
- *эксплуатационные* - эффективность, надежность, безопасность и бесшумность действия, простота, удобство обслуживания и ремонта.

Любая система отопления состоит из следующих основных элементов:

- теплоисточника — элемента, от которого система получает теплоту (генератора или трансформатора тепловой энергии при централизованном теплоснабжении);
- теплопроводов — элементов, по которым осуществляется перенос теплоты от источника к потребителю;
- отопительных приборов, являющихся теплопотребляющими элементами, передающими теплоту непосредственно в обслуживаемые помещения.

Классификации систем отопления:

- в зависимости от расположения основных элементов

различают: - *местные*, которые служат для отопления одного или двух-трех смежных помещений и все элементы объединены в одной установке. Наиболее распространенными примерами таких установок являются отопительные печи, камины, газо- и электровоздушные отопительные агрегаты, а также квартирные системы отопления;

- *центральные*, которые служат для обслуживания большого количества помещений от единого местного или центрального (расположенного вне

здания) теплового пункта имеют разветвленную сеть теплопроводов;

- по виду основного *теплоносителя* местные и центральные системы отопления подразделяют на: - *водяные*,

- *паровые*,

- *воздушные*,

- *газовые*,

- *комбинированные* (например, пароводяные, водовоздушные и др.);

- по способу циркуляции теплоносителя местные и

центральные системы водяного и воздушного

отопления подразделяют на системы: - с *естественной* циркуляцией, в которых

циркуляция происходит за счет разности плотностей охлажденного и горячего теплоносителя;

- с *искусственной* (механической) циркуляцией, в которых циркуляция осуществляется под давлением, создаваемым насосом или вентилятором.

В центральных системах парового отопления пар перемещается под собственным избыточным давлением.

В настоящее время широко применяют системы центрального водяного и парового отопления.

Основные преимущества и недостатки применения основных видов теплоносителей в соответствующих системах отопления:

- ***вода преимущества (система водяного отопления):***

- практически повсеместное наличие и относительно низкая цена теплоносителя;
- простота регулирования;
- отсутствие санитарно-гигиенических недостатков.

- ***вода недостатки:***

• высокое гидростатическое давление в нижней зоне системы отопления многоэтажных зданий;

- опасность замерзания при аварийных ситуациях;

- ***водяной пар преимущества (система парового отопления низкого давления):***

• отсутствие дополнительного расхода энергии на транспортирование теплоносителя по системе;

• минимальный расход материала (металла) вследствие меньше требуемых диаметров теплопроводов и площади поверхности отопительных приборов.

- ***водяной пар недостатки:***

- ограниченное использование по санитарно-гигиеническим соображениям;

• практически невозможно осуществлять центральное качественное регулирование, что в ряде случаев приводит к перегреву помещений и перерасходу топлива;

• меньший срок службы системы из-за периодического отключения подачи теплоносителя.

- ***воздух преимущества(система воздушного отопления):***

• возможность совмещения функций отопления и вентиляции (кондиционирования воздуха);

• малая тепловая инерционность, т.е. возможность быстрого прогрева периодически отапливаемых помещений;

- простота регулирования;

- воздух преимущества недостатки:

- больше сечение воздуховодов центральных систем воздушного отопления;
- высокие теплотери при транспортировании;
- потери полезного объема зданий;
- перерасход энергии на транспортирование.

Системы *водяного отопления* можно классифицировать последующим признакам:

- по способу циркуляции их разделяют на системы: с *естественной* циркуляцией, с *искусственной* циркуляцией;

- по схеме подключения отопительных приборов

системы бывают: *двухтрубными*, в которых каждый прибор горячая вода поступает по одному трубопроводу, а охлажденная вода отводится по второму трубопроводу (приборы по теплоносителю подключены параллельно);

однотрубными, в которых каждый прибор горячая вода поступает по одному трубопроводу и по нему же отводится охлажденная вода (приборы по теплоносителю подключены последовательно);

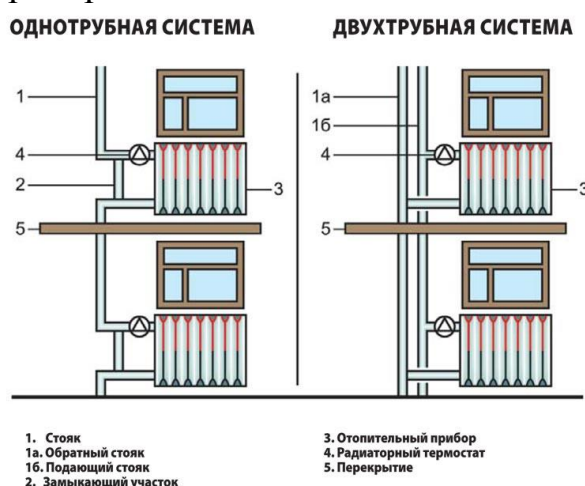


Рисунок 1 - Однотрубная и двухтрубная системы

- по расположению системы отопления

относительно здания: *вертикальные*, в которых трубопроводы, к которым присоединены приборы (стояки), расположены в здании вертикально;

горизонтальные, в которых трубопроводы, к которым присоединены приборы (лежаки), расположены в здании горизонтально;

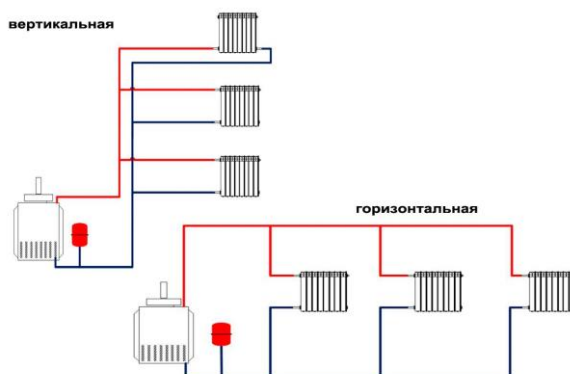


Рисунок 2 - Вертикальная и горизонтальная системы

- по месту расположению

подающей магистрали: с *верхней разводкой*, когда подающая магистраль с горячей водой расположена вверху здания на чердаке (техэтаже) или под потолком верхнего этажа;
с *нижней разводкой*, когда подающая магистраль с горячей водой расположена в нижней части здания в подвале, над полом первого этажа или в подпольных каналах.

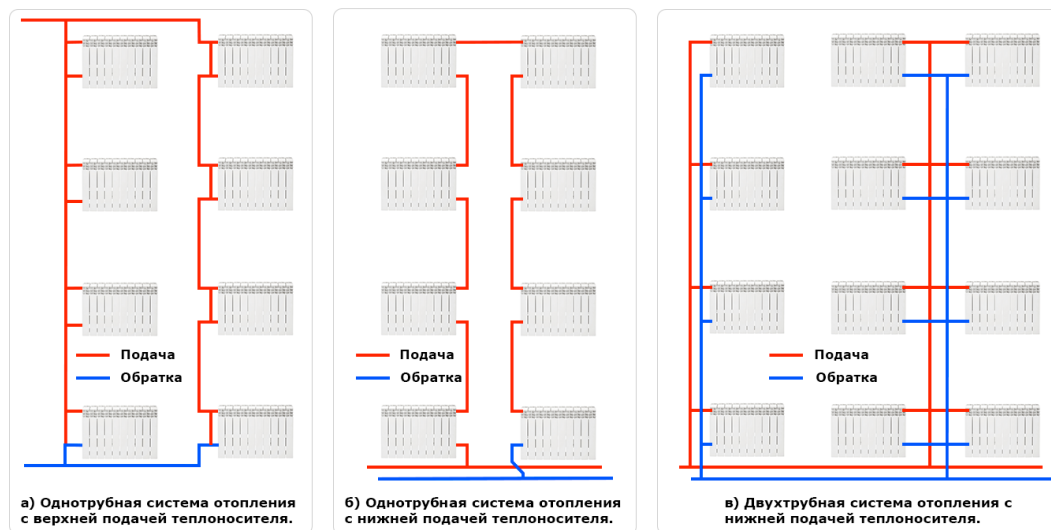


Рисунок 3 - Системы с верхней и нижней разводкой

В системах с верхней и нижней разводкой магистральный обратный трубопровод с охлажденной водой расположен в нижней части здания.

- по направлению движения воды в подающих и обратных магистралях

системы могут быть: *тупиковыми*, в которых вода в подающей и обратной магистралях движется во встречных направлениях, поэтому циркуляционные кольца через каждый отопительный прибор оказываются разной длины и в результате требуется увязка сопротивления каждого кольца;

попутным, в которых вода в подающей и обратной магистралях движется в попутном направлении, поэтому циркуляционные кольца через каждый отопительный прибор оказываются приблизительно одинаковой длины и в результате не требуется увязка противления каждого кольца.

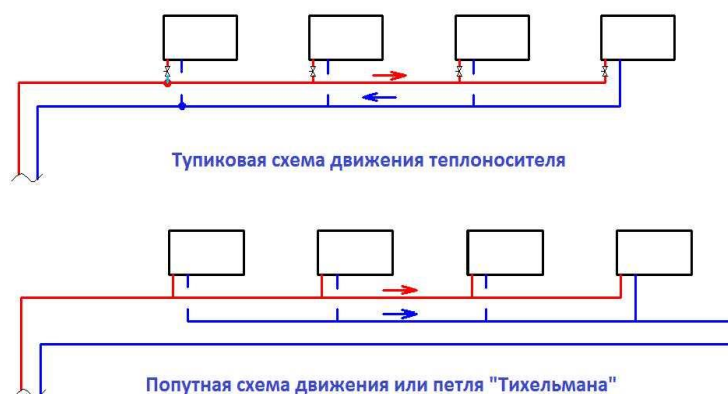


Рисунок 4 - Схемы тупиковой и попутной систем отопления

С точки зрения эксплуатации систем желательно стремиться к снижению температуры горячей воды. Во-первых, при снижении температуры отопительных приборов уменьшаются теплопотери трубопроводов и снижается возгонка органической пыли в воздух помещения. Во-вторых, с понижением температуры воды из нее в меньшей степени выделяется карбонат кальция, а следовательно, уменьшается количество осадков на внутренних поверхностях приборов и трубопроводов. Однако это приводит к увеличению площади поверхности отопительных приборов.

В однотрубных системах отопления с верхней разводкой в верхние отопительные приборы подается теплоноситель, имеющий более высокую температуру, чем у теплоносителя, подаваемого в нижние приборы. Это приводит к уменьшению площади поверхности отопительных приборов на верхних этажах и увеличению площади поверхности нагревательных приборов на нижних этажах.

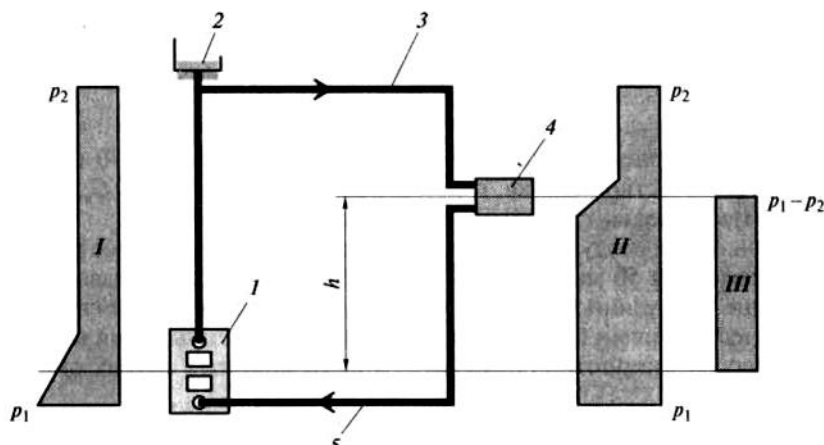
В зданиях и сооружениях, возводимых из отдельных секций, целесообразно применять посекционную разводку трубопроводов отопления. Каждая секция дома при этом имеет самостоятельную систему отопления, что позволяет сдавать в эксплуатацию здание по секциям и частично компенсировать инвестиционные затраты.

2. Системы водяного отопления с естественной циркуляцией теплоносителя

Системы отопления с естественной циркуляцией (гравитационные системы) применяются при отсутствии централизованного теплоснабжения, при соответствующем технико-экономическом обосновании или в случае технологической необходимости ограничения уровня шума и вибрации строительных конструкций здания (из-за работы насосов).

В гравитационных системах водяного отопления теплоноситель циркулирует под действием циркуляционного давления, которое возникает в результате остывания воды в отопительных приборах и трубах. Вода, остывающая в отопительных приборах, создает естественное циркуляционное давление p_r в расчетном кольце системы за счет разности гидростатических давлений двух столбов воды высотой h .

На рисунке 5 показана принципиальная (упрощенная) схема водяного отопления с естественной (гравитационной) циркуляцией.



1 — теплогенератор; 2 — расширительный бак; 3 — подающая магистраль; 4 — отопительный прибор; 5 — обратная магистраль; I— III — эпюры давления в сети

Рисунок 5 — Принципиальная схема системы отопления с естественной циркуляцией.

Вода нагревается в теплогенераторе 1. При этом уменьшается ее гравитационное давление, зависящее от плотности (эпюра давления I). При охлаждении воды в отопительном приборе 4 ее гравитационное давление увеличивается (см. эпюру II) на величину, показанную на эпюре III. Поэтому более плотная вода вытесняет менее плотную. В результате в системе отопления возникает циркуляция теплоносителя (воды). Если пренебречь охлаждением воды в трубах, действующее в системе гравитационное давление p_r , Па, можно определить по формуле:

$$p_r = gh(\rho_o - \rho_r), \quad (1)$$

где h — расчетная высота столба воды (принимается между центрами теплогенератора и отопительного прибора (рисунок 5);

ρ_o, ρ_r — плотности соответственно обратной и горячей воды.

Гравитационное давление p_r при естественной циркуляции невелико (500... 1 000 Па).

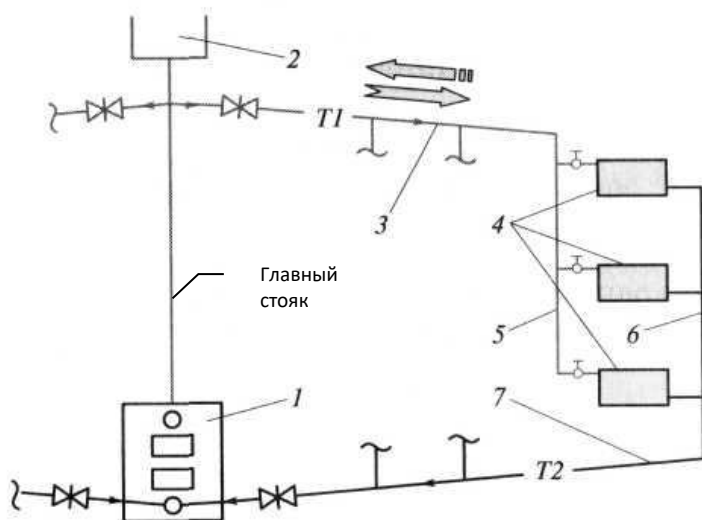
Система с естественным побуждением имеет определенные преимущества:

- она проста по устройству и эксплуатации;
- не зависит от подачи электрической энергии;
- вследствие малой скорости теплоносителя, отсутствия насоса и электродвигателя в системе не может возникнуть шум;
- долговечность системы удовлетворительная — она может работать до 30—40 и более лет без капитального ремонта;
- система обладает способностью количественного саморегулирования, что способствует поддержанию благоприятного теплового режима в помещениях.

В то же время система с естественным (гравитационным) побуждением имеет существенные недостатки, по сравнению с насосной системой, что и определяет ограниченное применение гравитационных систем:

- ограниченный радиус действия (до 20 м по горизонтали) из-за малого располагаемого циркуляционного давления;
- более высокие капитальные затраты (на 5—7% больше, чем у насосных систем) из-за большего диаметра труб, а следовательно повышенных затрат металла и большей стоимости монтажа;
- большая опасность замерзания воды в трубопроводах, проложенных в помещениях с температурой ниже 0 °С.

Двухтрубная система водяного отопления с естественной циркуляцией и верхней разводкой представлена на рисунке 6.



1 - теплогенератор; 2 - расширительный бак; 3 - верхняя подающая магистраль; 4 - отопительные приборы; 5 - подающий стояк; 6 - обратный стояк; 7 - обратная магистраль

Рисунок 6 - Двухтрубная система отопления с естественной циркуляцией, тупиковым движением и верхней разводкой подающей магистрали

В данной системе теплоноситель (вода) нагревается в теплогенераторе 1 до расчетной температуры горячей воды t_r . Далее вода по главному стояку (Г.С) поднимается в подающую магистраль 3. От главного стояка горячая вода по чердаку или верхнему этажу разводится подающей магистралью по зданию и поступает через подающие стояки 5 в отопительные приборы 4. В этих приборах теплоноситель отдает расчетную часть теплоты и по обратному стояку 6 поступает в обратную магистраль 7 и далее возвращается в котел.

Каждая система водяного отопления гидравлически замкнута и имеет определенный объем воды. При нагревании воды ее объем увеличивается или же повышается ее давление. Повышение давления может превысить предел прочности отдельных элементов системы отопления. Поэтому это расширение компенсируется в расширительном баке 2 открытого типа, т.е. имеет сообщение с атмосферой. Расширительный бак 2 устанавливается на продолжении Г.С, на котором запрещается ставить какую-либо запорную арматуру.

Открытые расширительные баки применяют в относительно небольших (тепловая мощность до 6 МВт) системах отопления (например, в системах с естественной циркуляцией). В крупных системах (тепловая мощность более 6 МВт) утечки воды через неплотности соединений труб (арматуру, стыки магистрали и т.д.) столь велики, что требуется постоянная подпитка с помощью насосов. В таких системах значительного повышения давления не происходит и установка расширительных баков не требуется.

Основное назначение расширительного бака заключается в приеме излишнего объема воды в системе, образующегося при ее нагревании. Но есть еще несколько назначений расширительного бака:

- удаление воздуха из системы;
- восполнение убыли воды при ее утечках, а также при понижении температуры;
- ограничение гидравлического давления в системе;
- сигнализации об уровне воды.

Из системы водяного отопления нужно постоянно удалять воздух, растворенный в воде и выделяющийся при ее нагревании. В системах с естественной циркуляцией скорость воды в подающей магистрали обычно не превышает 0,2 м/с. Поэтому в таких системах допускается встречное движение воды и воздуха. В гравитационных системах с верхней разводкой воздух по стоякам и магистралям, связанным непосредственно с расширительным баком, поднимается вверх (встречное движение воде), поступает в бак и удаляется из него в атмосферу. Для того, чтобы способствовать движению воздуха к расширительному сосуду, подающую магистраль прокладывают с подъемом к баку. Величина подъема (уклона) в пределах 0,01—0,005. Подводки к приборам прокладывают с уклоном 0,01: подающая - в сторону прибора, обратная — в сторону стояка. Обратная магистраль с уклоном - в сторону котла (также встречное движение).

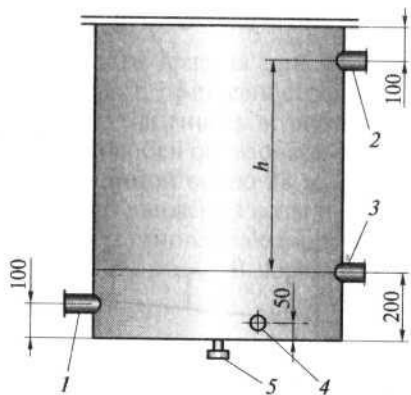


Схема расширительного бака показана на рисунке 7.

- 1 — расширительная труба; 2 — переливная труба;
3 — контрольная труба; 4 — циркуляционная труба;
5 — спускной патрубок с пробкой

Рисунок 7 - Расширительный бак открытого типа

Расширительный бак снабжен расширительной трубой 1, по которой в него поступает теплоноситель. Для предотвращения перелива горячей воды из бака, а также для контроля уровня воды устанавливаются переливная 2 и контрольная 3 трубы. Для обеспечения постоянной циркуляции воды в баке и системе служит циркуляционная труба 4. Для опорожнения системы предусмотрен спускной патрубком 5 с пробкой. Контрольная и переливная трубы выводятся в котельную. Расширительная и циркуляционная трубы присоединяются к системе отопления. Полезный объем бака, ограниченный высотой h , должен соответствовать увеличению объема воды, заполняющей систему отопления, при ее нагревании до расчетной максимальной температуры. Полезный объем бака можно определить по уравнению:

$$\Delta V = \beta V_0 (t_r - t_x), \quad (2)$$

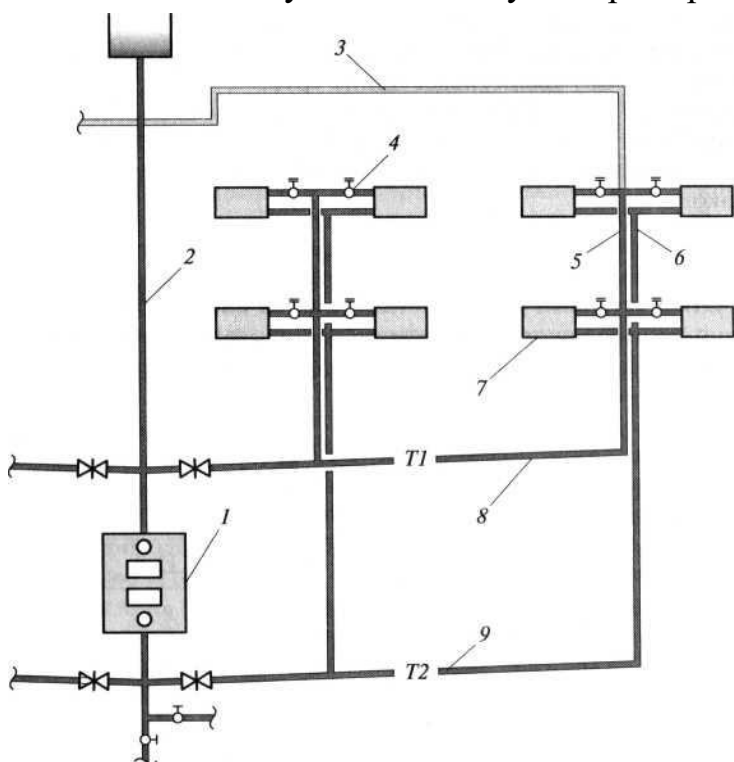
где β — среднее значение коэффициента температурного расширения воды, $1/^\circ\text{C}$, при изменении ее температуры от t_x до t_r , $^\circ\text{C}$;

V_0 — объем воды в системе отопления при начальной температуре.

В настоящее время наиболее широко применяются расширительные баки закрытого типа с диафрагменной несменной мембраной.

Корпус бака закрытого типа выполнен из углеродистой стали методом холодной глубокой штамповки. Внутренний объем бака разделен резиновой мембраной на две части. Мембрана — диафрагменная, несменяемая, жестко закрепленная по периметру бака. В одном объеме находится воздух или азот, в другом — теплоноситель. Внешняя поверхность бака покрыта эмалью, а внутренняя поверхность, контактирующая с жидкостью, — эпоксидными влагостойкими красками. При нагреве вода поступает под мембрану и выгибает ее вверх. При остывании воды, а следовательно при уменьшении объема, мембрана за счет своих сил упругости выталкивает воду обратно в систему.

При расположении подающей и обратной магистралей в подвале здания или на первом этаже образуется гравитационная система отопления с нижней разводкой магистралей, представленная на рисунке 8. В системах с нижней разводкой подающая магистраль прокладывается с уклоном к котлу (попутное движение воды и воздуха), обратная магистраль — встречное движение. Главной ее особенностью является необходимость удалять воздух через расширительный бак, который не связан непосредственно с верхней частью стояков, и воздухопровод 3, на котором перед присоединением к главному стояку делается петля (гидравлический затвор) для создания воздушного затвора и предотвращения поступления воды в воздухопровод.



1 - теплогенератор; 2 - главный стояк; 3 - воздухопровод; 4 - кран двойной регулировки; 5 - подающий стояк; 6 - обратный стояк; 7 - отопительный прибор; 8 - подающая магистраль; 9 - обратная магистраль

1 - теплогенератор; 2 - главный стояк; 3 - воздухопровод; 4 - кран двойной регулировки; 5 - подающий стояк; 6 - обратный стояк; 7 - отопительный прибор; 8 - подающая магистраль; 9 - обратная магистраль

Рисунок 8 - Двухтрубная система отопления с естественной циркуляцией, тупиковым движением и нижней разводкой

3. Системы водяного отопления с искусственной циркуляцией теплоносителя

Системы водяного отопления с искусственной циркуляцией теплоносителя в настоящее время являются преобладающим видом систем водяного отопления.

В данных системах вода перемещается по трубам в основном за счет давления создаваемого насосом. Естественное давление также действует, но оно незначительно по сравнению с давлением, создаваемым насосом, и в ряде случаев при гидравлическом расчете трубопроводов системы его не учитывают.

В насосных системах циркуляционный насос подключается к обратной магистрали перед котлом, а расширительный сосуд при его наличии обычно присоединяется к обратной магистрали перед всасывающим патрубком насоса.

Теплоноситель - вода может поступать в систему от котельной, расположенной в отапливаемом здании, в смежном здании, а также от районной котельной или ТЭЦ по тепловой сети.

Если параметры теплоносителя соответствуют требуемым параметрам воды в системе отопления, может быть применено непосредственное присоединение — вода из теплосети поступает в систему отопления. Если из сети поступает высокотемпературная вода, применяют присоединение с подмешиванием с помощью элеватора или насоса и независимое присоединение с установкой в отапливаемом здании теплообменника (водонагревателя), в котором вода, циркулирующая в системе отопления здания, нагревается за счет теплоты высокотемпературного теплоносителя.

В системах с искусственной циркуляцией можно достичь высоких скоростей движения воды. Однако с повышением скорости возрастает уровень шума, создаваемого системами. Поэтому скорость движения теплоносителя в трубах принимают в зависимости от допустимого эквивалентного уровня звука в помещении. Если этот уровень выше 40 дБА, скорость движения воды должна быть не более 1,5 м/с для систем отопления общественных зданий и помещений, не более 2 м/с для административно-бытовых зданий и помещений, не более 3 м/с для в производственных зданий и помещений.

Насосные системы выполняются по различным схемам. Преобладают различные виды однотрубных систем. Двухтрубные системы находят применение в зданиях небольшой этажности. Применяется также горизонтальная система. Схема системы отопления с искусственной циркуляцией представлена на рисунке 9.

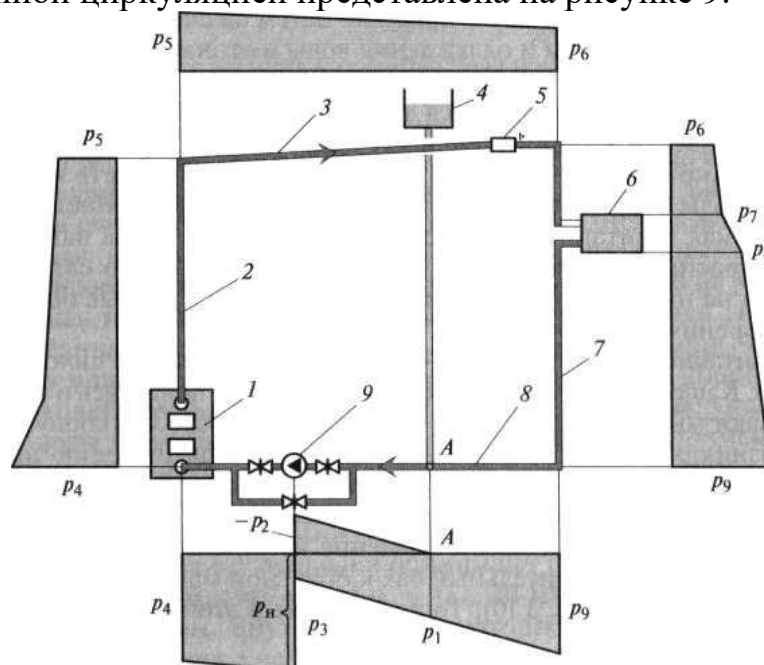


Рисунок 9 - Схема системы отопления с искусственной циркуляцией

Вода нагревается в теплогенераторе 1 и по главному стояку 2 поступает в подающую магистраль 3. Для автоматического удаления воздуха из системы в наивысшей точке горячей магистрали устанавливается воздухоотборник 5 с вантузом (автоматический клапан для сброса воздуха). Теплоту система отдает в отопительных приборах 6, а охлажденная вода удаляется по обратному стояку 7 и обратной магистрали 8.

Добавление в систему насоса 9 не влияет на уровень воды в расширительном баке 4, так как насос работает в замкнутой сети. Насос обеспечивает лишь определенную кратность циркуляции в системе при неизменном количестве воды. При увеличении кратности циркуляции по сравнению с естественной циркуляцией увеличиваются и потери давления в сети. Поэтому место присоединения расширительного бака к системе играет существенную роль.

При нагревании воды в теплогенераторе уменьшается ее плотность, в связи с чем первоначальное давление p_4 воды немного снижается. При движении воды по главному стояку 2 из-за изменения гидростатической высоты, потерь на трение и местные сопротивления давление еще больше уменьшается (до величины p_5). Дальнейшее снижение давления (до величины p_6) по тем же причинам происходит и при движении воды по подающей магистрали. Некоторое повышение давления за счет увеличения плотности воды происходит при ее охлаждении в отопительном приборе. Затем за счет изменения гидростатической высоты и охлаждения воды в отопительных приборах давление в обратном стояке достигает значения p_9 . В обратной магистрали давление уменьшается до значения p_3 из-за потерь на трение и работы насоса на всасывание. Эти потери давления могут привести и к созданию отрицательного давления, например "минус" p_2 . При определенной величине низкого давления p_2 вода температурой около $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ в обратной магистрали может вскипеть и в насос вместо воды будут поступать пузырьки воздуха и пара. Наступит так называемое явление кавитации.

Кавитация (от лат. *cavitas* — пустота) — нарушение сплошности потока. Кавитационные пузырьки воздуха и пара, появляясь и исчезая, вызывают многократные удары воды о рабочее колесо и корпус насоса. Возникающая вибрация может привести к разрушению насоса. Кавитации не произойдет, если гидростатическое давление в месте возможного вскипания будет не менее определенного значения. Такое давление несложно обеспечить, если присоединить расширительный бак к обратной магистрали перед насосом (точка А на рисунке 9). Тогда давление в этой точке будет:

$$p_1 = \rho g h, \text{ Па}, \quad (3)$$

где ρ — плотность воды в обратной магистрали, кг/м^3 ;

h — высота установки расширительного бака, измеряемая от точки А, м.

Кавитация не будет возникать, если:

$$p_3 \geq \Delta p_i, \quad (4)$$

где Δp_i — потери давления в обратной магистрали от точки присоединения расширительного бака до насоса.

Насос создает давление p_n . Зона нагнетания насоса распространяется почти на всю отопительную сеть, в том числе и на наиболее удаленные от насоса участки, самые опасные с точки зрения вскипания воды.

Схема однотрубной системы отопления с верхней разводкой подающей магистрали, расширительным баком и различными способами присоединения отопительных приборов приведена на рисунке 10.

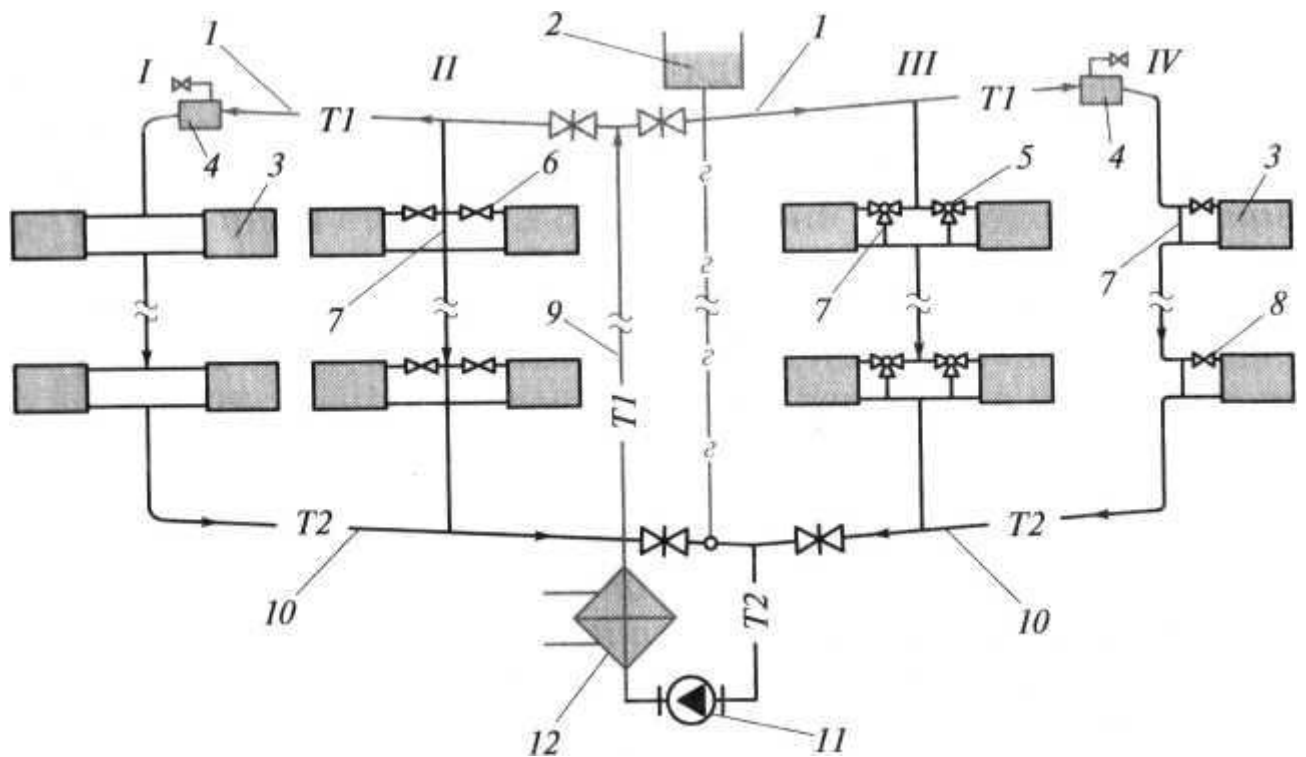


Рисунок 10 - Схема однотрубной системы отопления с верхней разводкой, тупиковым движением с искусственной циркуляцией и различными способами присоединения отопительных приборов

Подвод тепловой энергии к системе осуществляется через теплообменник 12. Нагретый теплоноситель с помощью насоса 11 по главному стояку 9 поступает в подающую магистраль 1, прокладываемую по чердаку или верхнему этажу здания. Теплота отдается в помещения через отопительные приборы 3. Для обеспечения индивидуальной регулировки системы необходимо часть горячей воды пропускать к нижним этажам. Для этого применяются обходные участки 7, которые называются замыкающими. Охлажденный теплоноситель поступает в обратную магистраль 10, проложенную в подвале здания.

Для присоединения отопительных приборов к стояку может использоваться любой из способов, показанных на рисунке 10. На стояке I выполнено присоединение отопительных приборов без замыкающих участков. Регулирование теплоотдачи приборов при таком способе возможно, если между первой секцией и остальными секциями чугунного радиатора установить межсекционный дроссель-клапан, например ДГИ. Тогда первая секция будет служить замыкающим участком. Прикрывая дроссель-клапан, можно уменьшать количество теплоносителя, проходящего через остальные (кроме первой) секции радиатора.

На стояке II выполнено присоединение отопительных приборов с центрально расположенным замыкающим участком. Регулирование теплоотдачи приборов осуществляется с помощью кранов двойной регулировки 6. На стояке III установлены смещенные замыкающие участки с трехходовыми кранами 5. На стояке IV отопительные приборы присоединены со смещенным замыкающим участком 7 и регулирующим краном 8.

Поскольку в системе с искусственной циркуляцией при допустимых скоростях движения воды воздух не может перемещаться навстречу воде, проточный

воздухосборник 4 с автоматическим воздухоотводчиком (вантузом) располагают на конечных участках подающей магистрали между предпоследним и последним стояками.

Внутренний диаметр проточного воздухосборника должен не менее чем в 2 раза превышать диаметр примыкающего магистрального трубопровода. Диаметр воздухосборника 4 определяется по формуле:

$$d_{\text{в}} = 2 \cdot G^{0,5}, \quad (5)$$

где G – расход воды в воздухосборнике, кг/ч.

Уклон горизонтальных трубопроводов выполняют не менее 0,002 с подъемом по направлению движения воды в подающей магистрали. В обратной магистрали допускается применять этот уклон навстречу потоку. Горизонтальные участки длиной около 1 м разрешается укладывать с уклоном не менее 0,01 навстречу движению воды. Вантуз для надежной работы должен находиться под давлением не менее 3 кПа, что следует учитывать при гидравлическом расчете сети.

Для свободного доступа к арматуре стояка верхнюю подающую магистраль 5 прокладывают на расстоянии 1 м от внутренней поверхности наружной стены и на высоте 0,3...0,5 м над перекрытием верхнего этажа, а обратную магистраль, как правило, непосредственно у внутренней поверхности наружной стены, на 0,3 м ниже потолка неотопливаемого подвала.

На рисунке 11 показана система отопления с нижней разводкой магистралей, которая часто применяется в бесчердачных зданиях.

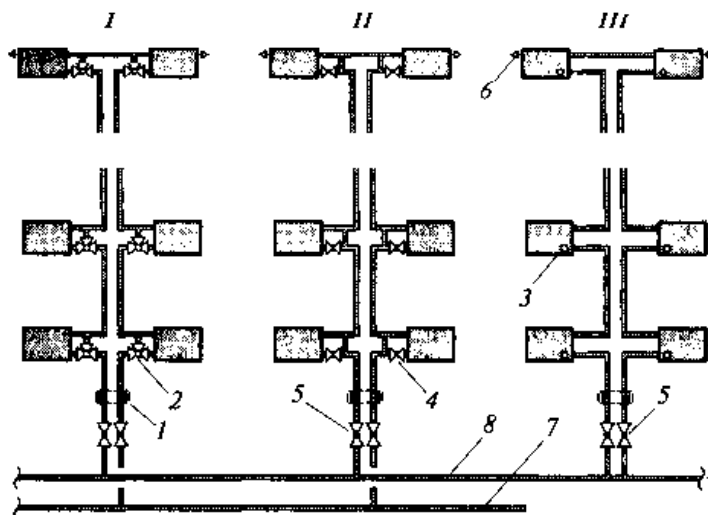


Рисунок 11 - Схема фрагмента системы отопления с искусственной циркуляцией и нижней разводкой

Наполнение системы водой производится через обратную 8 и подающую 7 магистрали при открытых регулировочных вентилях 5 и кранах 6 для выпуска воздуха. Спуск воды из системы осуществляется через нижние тройники с вентилями (пробками) 1, при этом верхние краны 6 остаются открытыми для предотвращения возникновения вакуума.

В данных системах могут применяться три варианта П-образных стояков, каждый из которых состоит из стояка с восходящим потоком воды и стояка с нисходящим потоком. При стояках, выполненных по схемам I и II, стояк с восходящим потоком присоединяется к горячей магистрали, а с нисходящим потоком — к обратной. В стояке по схеме II применен смещенный замыкающий участок и установлены регулирующие краны 4. При использовании стояков, выполненных по схеме III (без замыкающих участков), в подвальном помещении прокладывается только подающая (горячая)

магистраль, к которой присоединяются оба стояка (с восходящим и нисходящим потоками воды). Такое присоединение позволяет использовать повышенные параметры теплоносителя на вводе в здание. Для регулирования теплоотдачи приборов на этих стояках могут быть установлены межсекционные дроссель-клапаны.

4. Паровые системы отопления

Если нагревать воду в открытом сосуде при атмосферном давлении, то ее температура будет непрерывно повышаться до тех пор, пока вся масса воды не прогреется и не закипит. В процессе нагревания испарение воды происходит с ее открытой поверхности, при кипении пар из воды образуется на нагреваемой поверхности и частично во всем объеме жидкости. Температура воды остается при этом постоянной (равной в рассматриваемом случае около 100 °С), несмотря на продолжающийся извне подвод теплоты к сосуду. Это явление объясняется тем, что при кипении подводимая теплота расходуется на работу по расщеплению частичек воды и образование из них пара.

При нагревании воды в закрытом сосуде ее температура повышается также лишь до тех пор, пока вода не закипит. Выделяющийся из воды пар скапливается в верхней части сосуда над поверхностью уровня воды; его температура равна температуре кипящей воды. Такой пар называют *насыщенным*.

Если пар из сосуда не отводится, а подвод теплоты к нему (извне) продолжается, то давление во всем объеме сосуда будет увеличиваться. Вместе с увеличением давления станет увеличиваться и температура кипящей воды и образующегося из нее пара. Опытным путем установлено, что каждому давлению соответствуют своя температура насыщенного пара и равная ей температура кипения воды, а также свой удельный объем пара.

Известно, что с ростом давления температура кипения воды и равная ей температура насыщенного пара увеличиваются. Удельный объем пара с ростом давления, наоборот, уменьшается.

При давлении 22,5 МПа нагреваемая вода переходит в *насыщенный* пар мгновенно, поэтому скрытая теплота парообразования при этом давлении равна нулю. Давление пара 22,5 МПа называют *критическим*.

В качестве теплоносителя в системах парового отопления применяют насыщенный пар, температура которого соответствует определенному давлению. Принцип работы паровых систем основан на свойстве пара при конденсации выделять скрытую теплоту фазового превращения.

Скрытой теплотой фазового превращения называют количество теплоты, необходимой для превращения 1 кг воды (жидкости), нагретой до температуры кипения, в пар. При соприкосновении пара с внутренней поверхностью отопительного прибора, имеющего температуру ниже температуры кипения воды, он конденсируется, выделяя от 2160 до 2260 кДж/кг теплоты в зависимости от давления пара в системе парового отопления.

Системы парового отопления разделяются на вакуум-паровые, низкого и высокого давления, параметры которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры паровых систем

Паровые системы отопления	Абсолютное давление, МПа	Температура, °С	Теплота конденсации г, кДж/кг
Вакуум-паровая	< 0,1	< 100	2260
Низкого давления	0,1 - 0,17	100 - 115	2220 - 2230
Высокого давления	0,17 - 0,3	115 - 132	2160 - 2220

Максимальное давление пара до 0,3 МПа соответствует допустимой температуре поверхности отопительного прибора, равной 130 °С.

По сравнению с системами водяного отопления паровые системы отопления имеют некоторые преимущества:

- возможность быстрого прогрева и быстрого их охлаждения при прекращении подачи пара;
- сокращение капитальных затрат и расхода металла вследствие уменьшения размеров отопительных приборов за счет высокой температуры их поверхности и диаметров труб;
- возможность использования пара в качестве первичного теплоносителя в пароводяных системах для отопления высотных зданий, так как пар в отличие от воды не создает повышенного гидростатического давления в нижней части системы.

Однако существенными недостатками систем парового отопления, ограничивающими их область применения, являются:

- невозможность качественного регулирования теплоотдачи отопительных приборов путем изменения температуры подаваемого в них пара, вследствие чего для снижения их теплоотдачи приходится периодически прекращать подачу пара в систему, что приводит к значительному колебанию температуры воздуха в помещениях;
- высокая температура (более 100 °С) поверхности отопительных приборов вызывает разложение оседающей на них органической пыли, загрязняя воздух помещений;
- значительно большие по сравнению с водяными системами потери теплоты паропроводами, проложенными в неотопляемых помещениях, а также шум, возникающий при перемещении пара в них, особенно при возобновлении работы после перерыва;
- сокращение срока службы паро- и особенно конденсатопроводов из-за попадания воздуха в них при периодическом отключении системы.

Вакуум-паровые системы практически не применяются из-за сложного устройства и необходимости применения вакуум-насосов.

Системы низкого и высокого классифицируются:

- по связи с атмосферой: *открытые*, т.е. сообщающиеся с атмосферой, *закрытые* - при отсутствии такой связи;
- по способу возврата конденсата
в паровой котел: *замкнутые* - с самотечным возвратом конденсата; *разомкнутые* - с перекачкой конденсата конденсатным насосом;
- по схемам расположения трубопроводов: такие же, как и водяные системы - одно- и двухтрубные, с верхней и нижней разводкой и т.д.

Схема открытой замкнутой двухтрубной системы парового отопления низкого давления с верхней разводкой представлена на рисунке 12.

Перед пуском системы открывают вентиль на водопроводной линии и заполняют систему водой до уровня I-I в паросборнике. После этого приступают к растопке котла и доводят воду до кипения. Образующийся пар под собственным давлением по главному стояку 1 поступает в подающую паровую магистраль 2, а далее через паровые стояки 3 и подводки 4 в отопительные приборы 5, где конденсируется, отдавая скрытую теплоту парообразования.

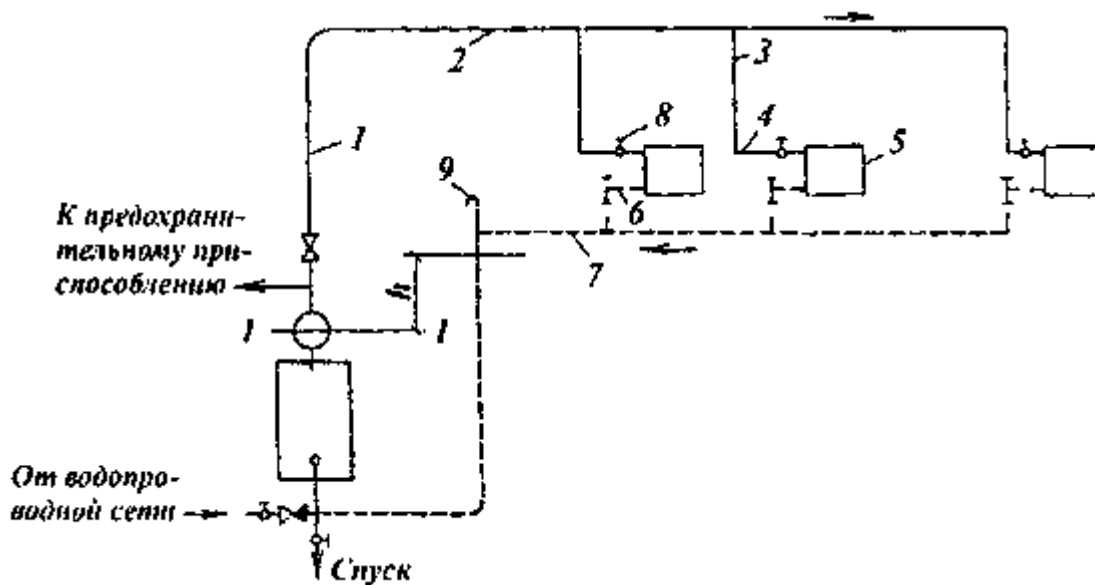


Рисунок 12 - Схема открытой замкнутой двухтрубной системы парового отопления низкого давления с верхней разводкой

Конденсат из отопительных приборов по отводам 6 стекает в конденсатный магистральный трубопровод 7, прокладываемый с уклоном не менее 0,005, и самотеком возвращается в паровой котёл, установленный значительно ниже отопительных приборов первого этажа. Вес столба конденсата высотой h уравнивает избыточное давление пара в паросборнике котла. Например, при избыточном давлении пара в котле $P_{изб} = 0,02$ МПа высота h должна быть 2 м, а при избыточном давлении 0,07 МПа - 7 м. Последнее обстоятельство усложняет устройство системы и является одним из существенных недостатков этой схемы.

Воздух тяжелее пара и удаляется через конденсатную линию 7 и воздушную трубу 9. Для регулирования количества пара, поступающего в отопительные приборы, устанавливают вентили.

Разомкнутая система парового отопления низкого давления отличается от предыдущей системы только тем, что конденсат перекачивается в котел конденсатным насосом, преодолевающим давление пара в котле, а не возвращается в котел под тяжестью собственного веса, как в предыдущей схеме. Благодаря этому нет необходимости в заглублении котла.

Системы парового отопления высокого давления применяются в отдельных зданиях промышленных предприятий, в которых пар высокого давления используется для технологических нужд. В системы парового отопления поступает пар пониженного давления. Снижение давления пара до расчетного производится с помощью редуцирующих клапанов.

9 Системы отопления высотных зданий

Высотные здания и санитарно-технические устройства в них зонируются по высоте, т.е. делятся на части (зоны) определенной высоты, разделенные техническими этажами. Оборудование и коммуникации помещаются на технических этажах. В системах отопления (вентиляции и водоснабжения) допустимая высота зоны определяется значением гидростатического давления воды в нижних отопительных приборах или других элементах и возможностью размещения оборудования, труб (воздуховодов) и других коммуникаций на технических этажах.

Для системы водяного отопления высота зоны в зависимости от гидростатического

давления, допустимого как рабочего для отдельных видов отопительных приборов (от 0,6 до 1,0 МПа), не должна превышать определенного значения (с некоторым запасом). Например, при использовании чугунных и стальных отопительных приборов высота зоны составит 55 м (при радиаторах типа МС — 80 м) и 90 м для приборов со стальными греющими трубами. Высота зоны может быть увеличена при применении термосифонных отопительных приборов.

В пределах одной зоны систему водяного отопления устраивают при водяном теплоснабжении по схеме с независимым присоединением к наружным теплопроводам, т. е. гидравлически изолированной от наружной тепловой сети и от других систем отопления. Такая система имеет собственные водо-водяной теплообменник, циркуляционный и подпиточный насосы, расширительный бак.

Число зон по высоте здания определяется, как и высота отдельной зоны, допустимым гидростатическим давлением, но не для отопительных приборов, а для оборудования в тепловых пунктах, расположенных при водяном теплоснабжении обычно в подвальном этаже. Основное оборудование этих тепловых пунктов, а именно обычного вида водо-водяные теплообменники и насосы, даже изготовленные по специальному заказу, могут выдерживать рабочее давление не более 1,6 МПа.

Это означает, что при таком оборудовании высота здания при водо-водяном отоплении гидравлически изолированными системами имеет предел, равный 150—160 м. В таком здании могут быть устроены две (по 75—80 м высотой) или три (по 50—55 м высотой) зональные системы отопления. При этом гидростатическое давление в оборудовании системы отопления верхней зоны, находящемся в подвальном этаже, достигнет расчетного предела.

В зданиях высотой 160—250 м может применяться водоводяное отопление с использованием специального оборудования, рассчитанного на рабочее давление 2,5 МПа. Может быть также выполнено, если имеется в наличии пар, комбинированное отопление, представленное на рисунке 12, в котором помимо водо-водяного отопления в применяемого нижних 160 м в зоне сверх 160 м устраивается пароводяное отопление.

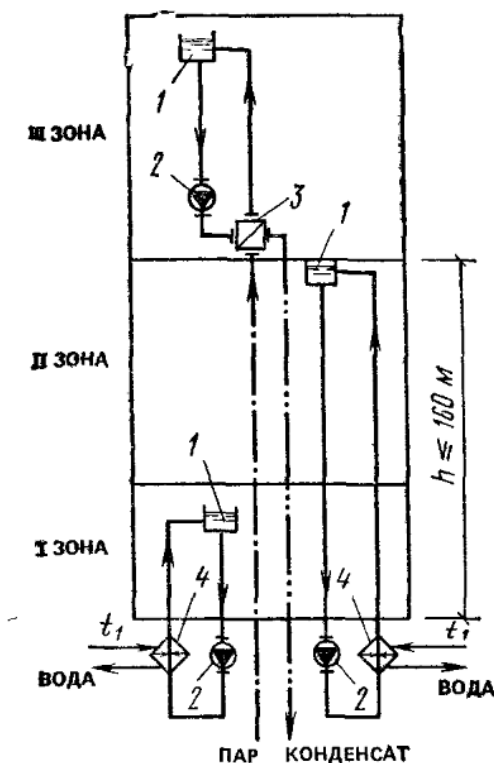


Рисунок 12 - Схема системы отопления здания высотой более 160 м

Теплоноситель пар, отличающийся незначительным гидростатическим давлением, подается на технический этаж под верхней зоной, где оборудуют еще один тепловой пункт. В нем устанавливают пароводяной теплообменник, свой циркуляционный насос и расширительный бак, приборы для качественно-количественного регулирования.

В каждой зональной системе отопления имеется свой расширительный бак, оборудованный системой электрической сигнализации и управления подпиткой системы.

Подобный комплекс комбинированного отопления действует в центральной части главного корпуса Московского государственного университета: в нижних трех зонах устроено водо-водяное отопление с чугунными радиаторами, в верхней четвертой зоне — пароводяное отопление.

В зданиях высотой более 250 м предусматривают новые зоны пароводяного отопления или прибегают к электроводяному отоплению, если источника пара не имеется.

Для снижения стоимости и упрощения конструкции возможна замена комбинированного отопления высотного здания одной системой водяного отопления, при которой не требуется второй первичный теплоноситель (например, пар). На рисунке 13 показано, что в здании может быть устроена гидравлически общая система с одним водо-водяным теплообменником, общими циркуляционным насосом и расширительным баком.

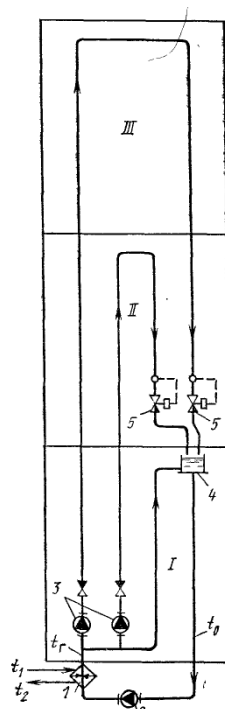


Рисунок 13 - Схема системы отопления здания с одним водо-водяным теплообменником

Система по высоте здания по-прежнему делится на зональные части по приведенным выше правилам. Вода во II и последующие зоны подается зональными циркуляционно-повысительными насосами и возвращается из каждой зоны в общий расширительный бак. Необходимое гидростатическое давление в главном обратном стояке каждой зональной части поддерживается регулятором давления типа «до себя». Гидростатическое давление в оборудовании теплового пункта, в том числе и в повысительных насосах, ограничено высотой установки открытого расширительного

бака и не превышает стандартного рабочего давления 1 МПа.

Для систем отопления высотных зданий характерны деление их в пределах каждой зоны по сторонам горизонта (по фасадам) и автоматизация регулирования температуры теплоносителя. Температура теплоносителя воды для зональной системы отопления устанавливается по заданной программе в зависимости от изменения температуры наружного воздуха (регулирование «по возмущению»). При этом для части системы, обогревающей помещения, обращенные на юг и запад, предусматривают дополнительное регулирование температуры теплоносителя (для экономии тепловой энергии) на случай, когда при инсоляции температура помещений повышается (регулирование «по отклонению»).

Для опорожнения отдельных стояков или частей системы на технических этажах прокладывают дренажные линии. На время действия системы дренажную линию выключают во избежание неконтролируемой утечки воды.

В многоэтажном жилищном строительстве реальной альтернативой местным системам водяного отопления (на основе индивидуальных теплогенераторов) стали комбинированные системы, сочетающие лучшие свойства центральных систем и достоинства индивидуальных систем. Это центральные поквартирные системы отопления — системы с поквартирной разводкой. Сегодня такие системы уже перешли из стадии экспериментального строительства в повседневную практику.

Принципиальная схема центральной поквартирной системы отопления многоэтажного здания представлена на рисунке 13. Поквартирная система состоит из локальных квартирных систем (а), подключаемых через квартирные узлы ввода (б) к разводящим стоякам и ветвям (в).

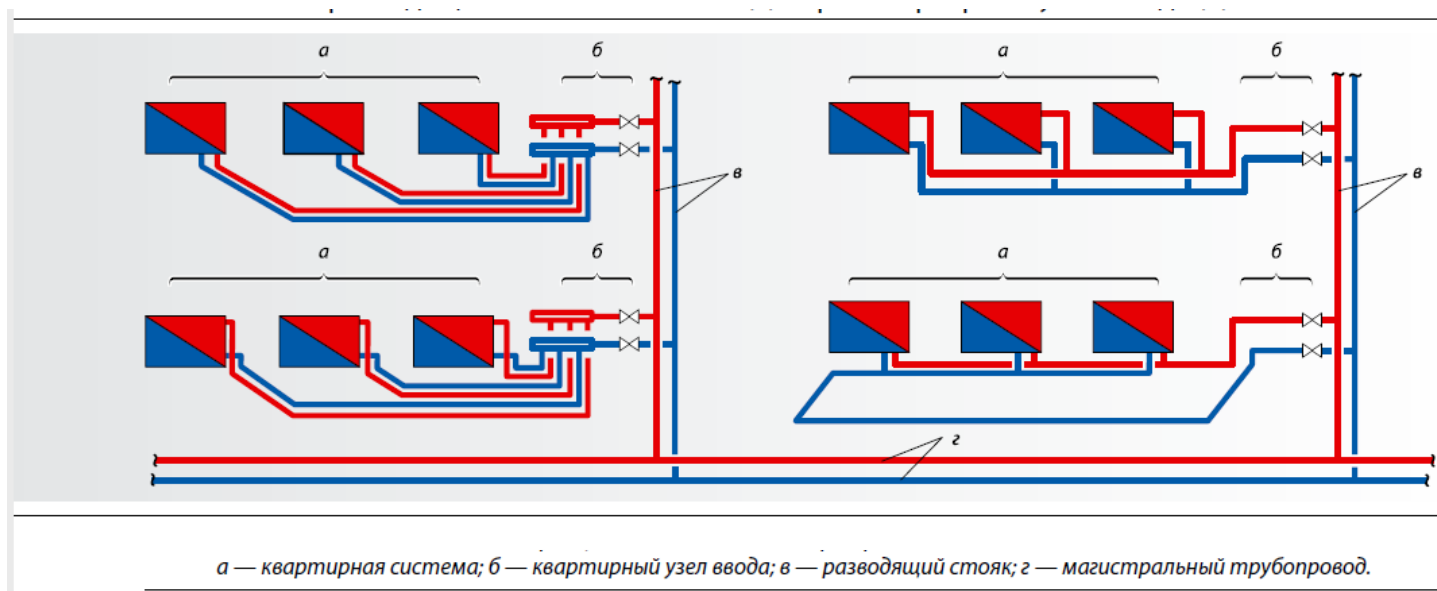


Рисунок 13 - Принципиальная схема центральной поквартирной системы отопления с различными способами поквартирной разводки и подключения радиаторов

Стояки объединяются, как правило, общими магистральными трубопроводами (г) системы отопления жилой части здания, к которым могут одновременно присоединяться стояки лестничных клеток. Отопление встроенных и пристроенных частей здания общественного назначения следует осуществлять с помощью отдельных систем отопления. В многоэтажных зданиях поквартирную разводку необходимо предусматривать для всех квартир. Не следует допускать устройство таких систем только для одной или нескольких квартир здания. Тепловая энергия может подаваться в поквартирную систему отопления от системы централизованного теплоснабжения или от

автономного источника, как правило, в виде крышной котельной. К тепловым сетям системы централизованного теплоснабжения поквартирная система должна присоединяться через тепловой пункт здания преимущественно по независимой схеме. В качестве теплоносителя следует использовать воду с едиными параметрами для всех квартир. Предельная температура теплоносителя в системе должна приниматься с учетом требований, предъявляемых заводами-изготовителями отопительных приборов, арматуры, трубопроводов и других устройств, но при этом не может превышать 90 °С. В высотных жилых зданиях рекомендуется температуру теплоносителя ограничивать 80 °С.

Тепловая нагрузка поквартирных систем определяется тепловыми потерями квартиры при температурах воздуха в помещениях с постоянным пребыванием людей в пределах норм. При этом, учитывая оснащение отопительных приборов автоматическими терморегуляторами.

В зависимости от объемно-планировочного решения здания (наличие подвалов, чердаков, технических этажей), принятой системы теплоснабжения и т.д. магистральные трубопроводы могут прокладываться либо с нижней разводкой либо с верхней.

Схема с нижней разводкой магистралей наиболее предпочтительна из-за более высокой гидравлической устойчивости такой системы, а также удобства ее эксплуатации в связи с размещением запорно-регулирующей и спускной арматуры на одном этаже.

Схема с верхней разводкой разводка также применима, хотя несколько и уступает предыдущей по своим показателям. Ее целесообразно использовать, например, при устройстве в здании крышной котельной.

Количество разводящих стояков (пар стояков — подающий и обратный) выбирается в зависимости от объемно-планировочного решения здания, но не менее одного на каждую блок-секцию как представлено на рисунке 14.

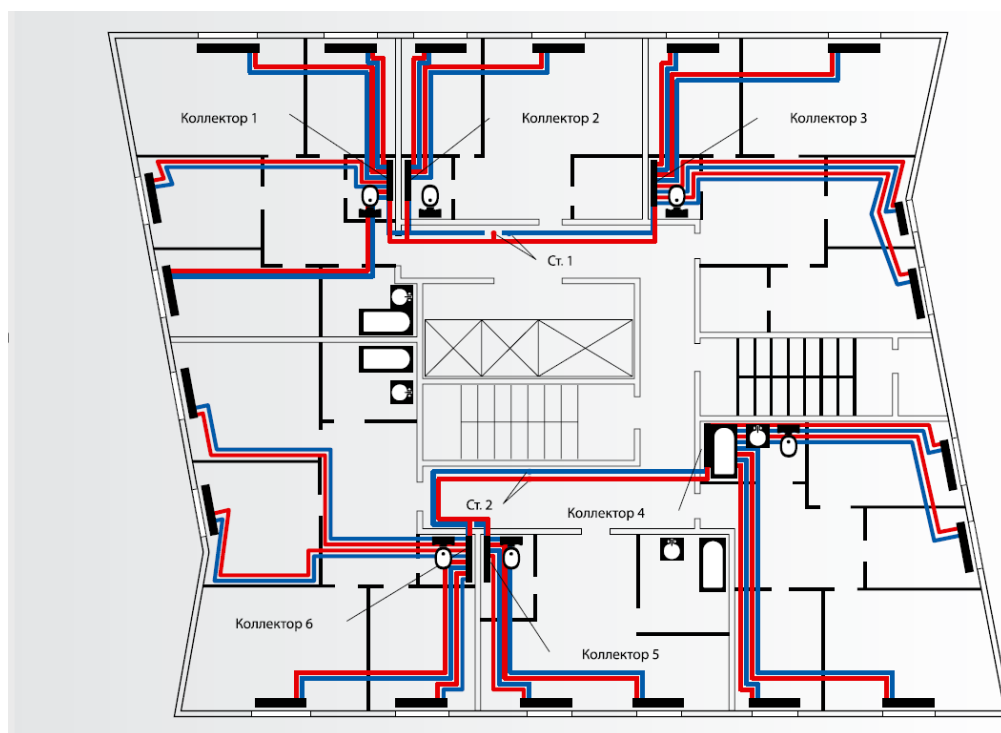


Рисунок 14 - Размещение стояков

Предельное количество разводящих стояков в здании может соответствовать количеству квартир на одном этаже. При конструировании системы и выборе количества стояков не следует присоединять к одному стояку квартиры разных блок-секций.

Высота стояков ограничивается двумя факторами:

- гидростатическим давлением столба воды, которое должно быть не более условного давления для применяемых в системе отопления устройств (отопительных приборов, арматуры, трубопроводов и пр.) с запасом 15–20%;
- эффектом выделения растворенного в теплоносителе воздуха, для снижения которого необходимо обеспечивать повышенное давление теплоносителя в верхних точках системы.

С учетом этих положений в реальной практике высоту стояков системы отопления с условным давлением для ее элементов 1 МПа обычно принимают в пределах 60–65 м.

При большей высоте здания систему так же рекомендуется разбить по вертикали на зоны.