

Часть 3. Системы водяного отопления

Водяное отопление с искусственным побуждением циркуляции воды при помощи насоса - **насосное** водяное отопление - получило самое широкое распространение. Водяное отопление с естественной циркуляцией - **гравитационное** - применяют в настоящее время сравнительно редко.

Практика подтвердила гигиенические и технические преимущества водяного отопления. При водяном отоплении отмечают (по сравнению с паровым отоплением) относительно невысокую температуру поверхности приборов и труб, равномерную температуру помещений, значительный срок службы, экономию тепловой энергии, бесшумность действия, простоту обслуживания и ремонта.

Ниже рассматривается, как основная, **система насосного водяного отопления**.

3.1. Система насосного водяного отопления

Систему водяного отопления как при местном, так и при централизованном теплоснабжении применяют с верхним и нижним расположением магистралей, с тупиковым и попутным движением воды в них, с последовательным и параллельным (по направлению движения воды) соединением отопительных приборов. По последнему признаку систему называют однетрубной, двухтрубной или бифилярной.

При разработке систем отопления конкретных зданий составляют **схемы** систем, различным образом сочетая в каждой схеме магистрали, стояки и ветви с отопительными приборами.

В схеме системы отопления устанавливается взаимное расположение теплообменников (котлов), циркуляционных насосов, теплопроводов, отопительных приборов и других элементов в зависимости от размещения их в здании, т. е. закрепляется **топология** или **структура** системы.

Схемы системы отопления в течение 50...70-х годов XX в. существенно видоизменялись, причем общим явлением в России было вытеснение ранее широко распространенных двухтрубных систем однотрубными. При использовании однотрубных систем вместо двухтрубных появилась возможность уменьшить длину и массу труб, унифицировать отдельные узлы и детали, устранить замеры в натуре, механизировать процессы заготовки деталей, осуществить предварительную сборку и комплектацию узлов, а в результате - сократить затраты труда и сроки монтажа систем.

Потери давления в однотрубных стояках и ветвях получаются значительно превышающими потери в двухтрубных стояках. При этом устанавливается устойчивый гидравлический режим однотрубных систем: заданное распределение теплоносителя по отопительным приборам сохраняется в течение всего отопительного сезона. Поэтому у приборов можно устанавливать регулирующие краны типа КРП или КРТ, предназначенные только для эксплуатационного (вторичного) регулирования. При запуске смонтированных однотрубных систем в эксплуатацию не проводят пуско-наладочного (первичного) регулирования теплоотдачи отопительных приборов, как это делают при двухтрубных системах.

Рассмотрим основные схемы однотрубных, двухтрубных и бифилярных систем, практически используемые при водяном отоплении зданий (схема в проекте, как правило, изображается в аксонометрической проекции, но в учебнике дается упрощенное плоское изображение).

Вертикальная однотрубная система с верхней разводкой (с верхним расположением подающей и нижней прокладкой обратной магистралей) получила распространение в начале 50-х годов (рисунок 3.1). Она выполнялась сначала с **двусторонним** (стояки 1, 2, 4), а потом и с **односторонним** присоединением отопительных приборов к стоякам (стояки 3 и 5). Приборные узлы делались как **проточными** (стояк 1), так и с **замыкающими** (стояки 2 и 3) и **обходными** (стояки 4 и 5) участками. Все типы стояков показаны на рисунке

3.1 для примера, а в конкретной системе применяется какой-либо один (реже два) тип стояка.

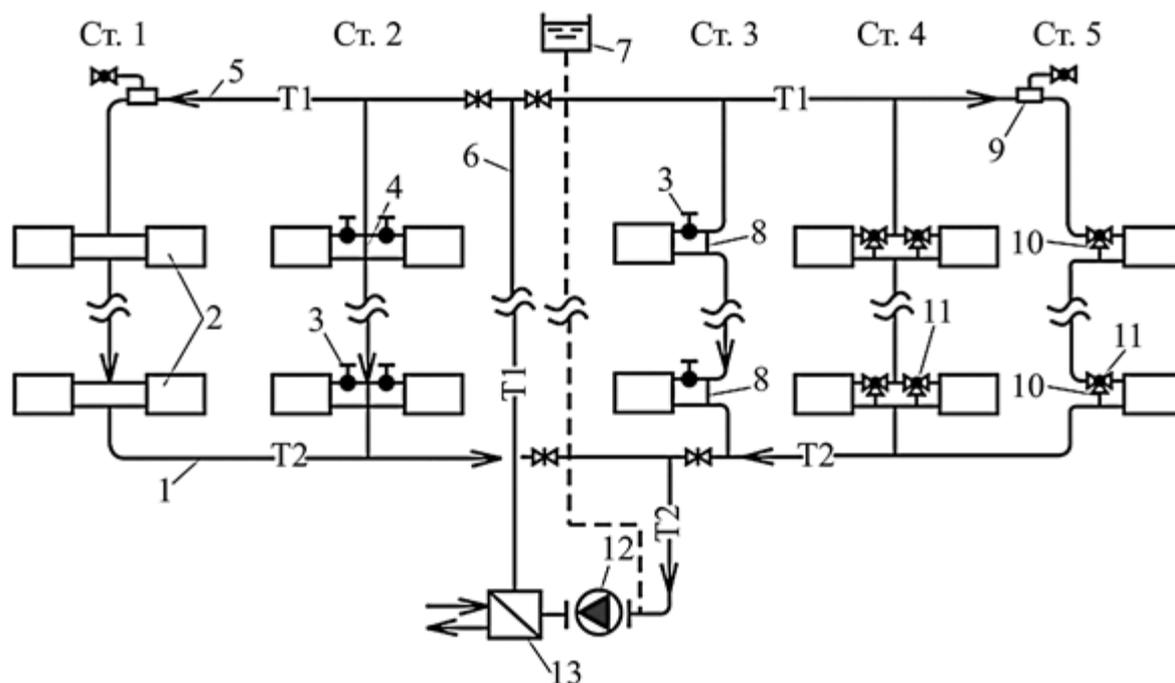


Рисунок 3.1. Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с верхней разводкой подающей магистрали:

Ст. 1 — проточный стояк; Ст. 2 и Ст. 3 — стояки с осевыми и смещенными замыкающими участками, соответственно; Ст. 4 и Ст. 5 — проточно-регулируемые стояки.

1 — обратная магистраль (Т2); 2 — отопительные приборы; 3 — кран типа КРП; 4 — осевой замыкающий участок; 5 — подающая магистраль (Т1); 6 — главный стояк (Г. ст.); 7 — открытый расширительный бак; 8 — смещенный замыкающий участок; 9 — проточный воздухоотборник; 10 — обходной участок; 11 — кран типа КРТ; 12 — циркуляционный насос; 13 — теплообменник

Замыкающие постоянно проточные участки устраивались **осевыми** (стояк 2) и **смещенными** от оси (стояк 3), со “сжимами”, т. е. с уменьшением диаметра по сравнению с диаметром основного участка стояка, и без “сжимов”. Было доказано, что “сжимы” осевых замыкающих участков несущественно изменяют количество воды, затекающей в приборы. В большей степени увеличивается расход воды в приборах при использовании смещенных замыкающих участков. При этом, как уже отмечалось, обеспечивается еще и компенсация удлинения труб при нагревании межприборных участков стояков.

Обходные участки (стояки 4 и 5), предназначенные для периодического использования при потребительском (эксплуатационном) регулировании теплоотдачи приборов кранами типа КРТ, устраивали сначала осевыми, а затем, как правило, смещенными.

Вертикальная однотрубная система с верхней разводкой применяется в настоящее время со стояками всех трех типов - проточными, с замыкающими участками и проточно-регулируемыми - в многоэтажных зданиях, имеющих четыре-девять этажей и более.

Вертикальная однотрубная система с нижней разводкой (с нижним расположением обеих магистралей) стала распространяться с начала 60-х годов в связи с массовым строительством бесчердачных зданий (рисунок 3.2). В так называемых П-образных стояках этой системы, состоящих из восходящей и нисходящей частей, применялись и проточные приборные узлы (стояк 1), и узлы с замыкающими участками (стояки 2 и 3), и проточно-регулируемые узлы (стояки 4 и 5). При непарных отопительных приборах "холостой" (без приборов) делали восходящую часть стояков (стояки 3 и 5). В пробках верхних радиаторов или в верхних точках стояков с конвекторами устанавливали воздушные краны. Регулирующие краны типа КРП и КРТ помещали на подводках, по которым теплоноситель подается в приборы.

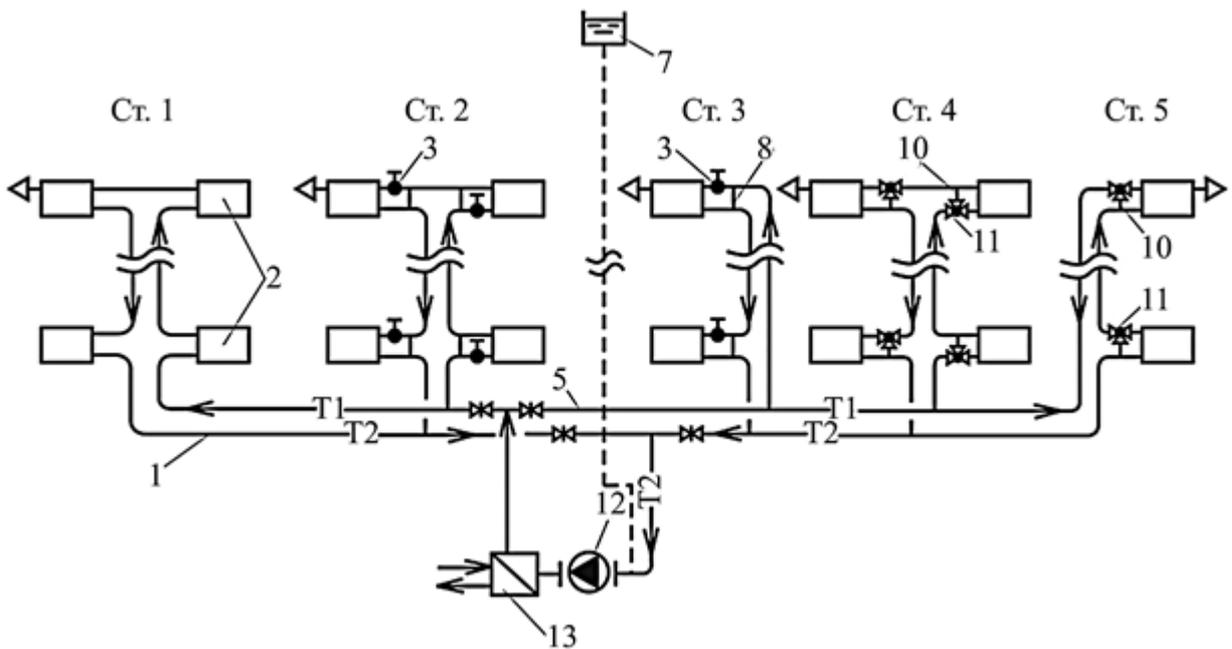


Рисунок 3.2. Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с нижней разводкой обеих магистралей и П-образными стояками:

Ст. 1 — проточный стояк; Ст. 2 и Ст. 3 — стояки со смещенными замыкающими участками; Ст. 4 и Ст. 5 — проточно-регулируемые стояки; обозначения 1—13 — см. рисунок 3.1

В стояках по типу стояка 2 (см. рисунок 3.2) при движении воды снизу вверх уменьшается затекание ее в приборы, особенно при увеличенном их сопротивлении. Поэтому предпочтение отдавалось проточно-регулируемым приборным узлам с двухсторонним присоединением приборов к трубам и смещенными обходными участками (стояк 4). В таком виде эту систему применяют в настоящее время в бесчердачных многоэтажных (три-семь этажей и более) зданиях, имеющих технические подполья или подвальные помещения.

Систему отопления с П-образными стояками можно включать в действие в процессе монтажа поэтажно (с временными перемычками), и эту особенность системы используют в зимнее время при выполнении внутренних отделочных работ в строящемся многоэтажном здании.

Вертикальная однотрубная система с “опрокинутой” циркуляцией воды (с нижним расположением подающей магистрали и верхней прокладной обратной магистрали), изображенная на рисунке 3.3, стала применяться с середины 60-х годов в зданиях повышенной этажности (10 этажей и более).

Стояки таких систем делали проточными (стояки 1 и 3) или со смещенными замыкающими (стояк 4) и обходными (стояки 2 и 5) участками. Осевых замыкающих и обходных участков не применяли. Встречалось двустороннее присоединение приборов к стояку, например, при установке конвекторов с кожухом с двумя горизонтально расположенными греющими трубами (стояк 1). Потери давления в стояках таких систем предусматривают при расчете повышенными для обеспечения устойчивого гидравлического режима при эксплуатации. В этой системе иногда применялись проточные расширительные баки (см. рисунок 3.3).

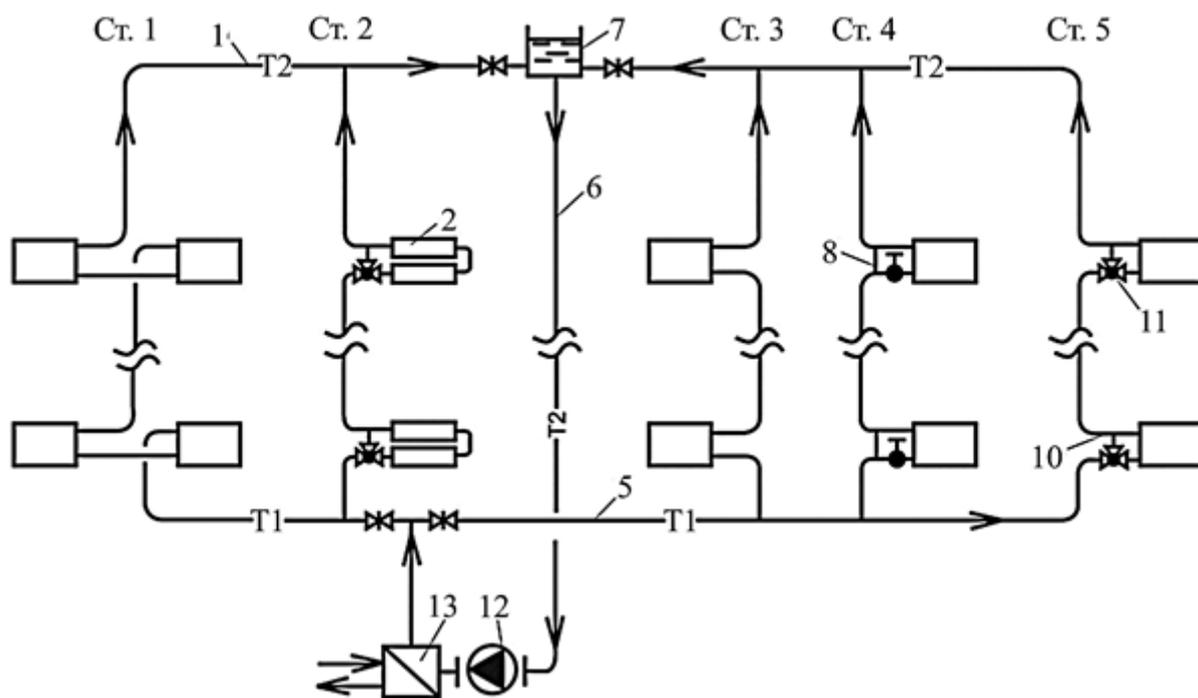


Рисунок 3.3. Схема вертикальной однотрубной системы водяного отопления с «опрокинутой» циркуляцией воды и проточным открытым расширительным баком:

Ст. 1 — проточный стояк с конвекторами с кожухом; Ст. 2 и Ст. 5 — проточно-регулируемые стояки соответственно с конвекторами без кожуха и радиаторами;
 Ст. 3 — проточный стояк с радиаторами; Ст. 4 — стояк со смещенными к радиаторам замыкающими участками; обозначения 1—13 — см. рисунок 3.1

Система с опрокинутой циркуляцией воды способствует, не в пример системе с верхней разводкой, поддержанию равномерного теплового режима во всех помещениях и установке приборов одинаковой площади по высоте здания

(когда степень охлаждения воды в стояках соответствует уменьшению теплопотерь однотипных помещений по вертикали). При проектировании этой системы избегают применения колончатых радиаторов из-за преувеличения их площади при движении воды в них по схеме “снизу-вверх” (до 12...14 % по сравнению с площадью при движении по схеме “сверху-вниз”), а также установки приборов с высоким гидравлическим сопротивлением в стояках с замыкающими участками.

В жилых зданиях с “теплыми” чердаками обратные магистрали рассматриваемой системы прокладывают на чердаках без тепловой изоляции (чердаки с учетом теплоотдачи труб становятся “теплыми”). Такие чердаки используют для бесканального сбора вытяжного воздуха к вентиляционным шахтам.

Еще раз отметим, что для большинства современных вертикальных однотрубных систем водяного отопления характерно одностороннее присоединение отопительных приборов к стоякам. Хотя при этом и увеличиваются число стояков и расход труб, зато появляется возможность уменьшить их диаметр и унифицировать приборные узлы. Массовое обезличенное изготовление таких узлов способствует повышению производительности труда. Кроме того, увеличение числа открыто прокладываемых стояков - своеобразных эффективных отопительных приборов - заметно сокращает площадь нагревательной поверхности основных приборов.

Схемы двухтрубной системы водяного отопления представлены на рисунке 3.4 применительно к двухэтажному зданию. Слева показана часть системы с верхней разводкой (рисунке 3.4, а), справа - с нижней разводкой (рисунке 3.4, б), причем левый из двух стояков изображен с централизованным удалением воздуха, а правый - с местным через воздушные краны на отопительных приборах на верхнем этаже.

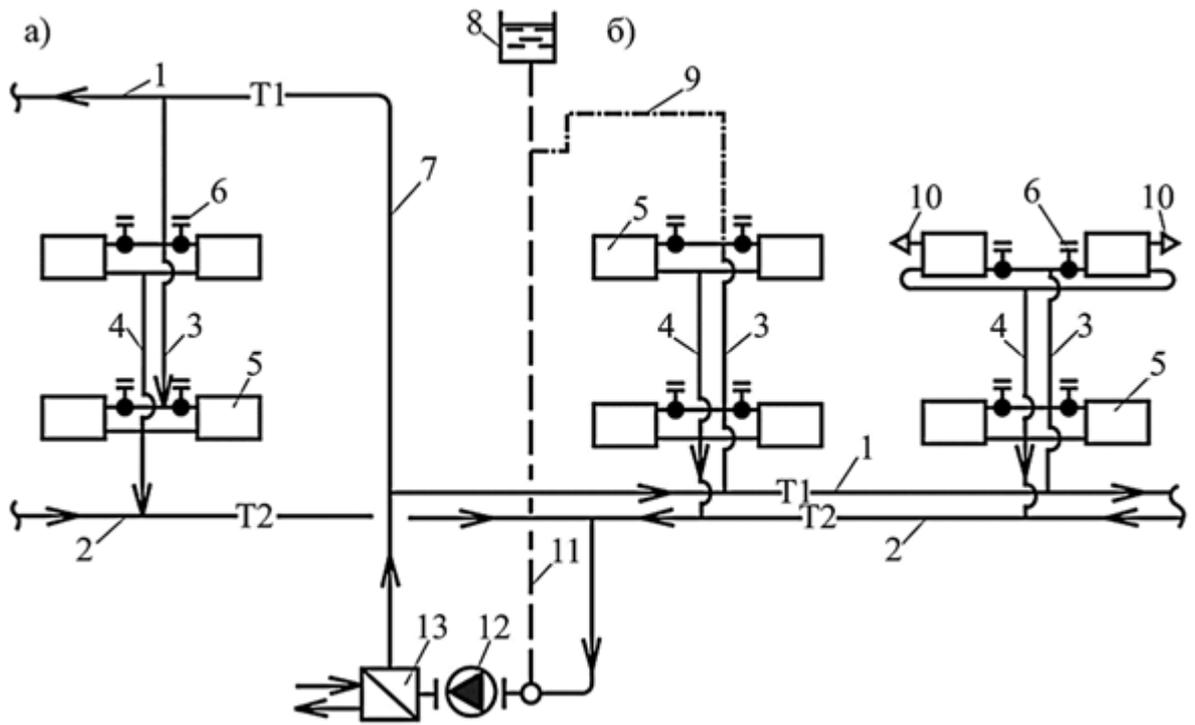


Рисунок 3.4. Схемы вертикальной двухтрубной системы водяного отопления:

а) с верхней разводкой подающей магистрали; б) с нижней разводкой обеих магистралей;

1 и 2 — соответственно подающая (Т1) и обратная (Т2) магистрали; 3 и 4 — соответственно подающая и обратная части стояка; 5 — отопительный прибор; 6 — кран типа КРД; 7 — главный стояк (Г. ст); 8 — открытый расширительный бак; 9 — воздушная линия; 10 — воздушные краны;

11 — соединительная труба расширительного бака; 12 — циркуляционный насос;

13 — теплообменник

Двухтрубная система, как уже отмечено, применялась в последнее время сравнительно редко. Система с **верхней разводкой** использовалась при естественной циркуляции воды, особенно при квартирном отоплении, а также для отопления железнодорожных вагонов. При насосной циркуляции воды эта система устраивалась преимущественно в малоэтажных (два-три этажа) зданиях во избежание значительного вертикального теплового разрегулирования из-за действия в двухтрубном стояке естественного давления.

Двухтрубная система с **нижней разводкой** применялась чаще, чем система с верхней разводкой, особенно при числе этажей в зданиях более трех и в зданиях, состоящих из разноэтажных частей. При этом исходили из ее преимуществ - меньшего расхода труб и большей вертикальной

гидравлической и тепловой устойчивости по сравнению с системой, выполненной с верхней разводкой.

Современная тенденция на значительное увеличение в системах водяного отопления насосного циркуляционного давления существенно сокращает отрицательное воздействие естественного давления на гидравлическую устойчивость работы двухтрубных систем и расширяет область их применения. В настоящее время такие системы с нижней разводкой применяются и в многоэтажном строительстве.

Воздушные линии для централизованного удаления воздуха (см. рисунок 3.4, б) устраивались только в специально обоснованных случаях, учитывая увеличение при этом расхода труб и их недолговечности из-за активной коррозии. Как правило, систему делали с воздушными кранами в верхних точках стояков.

На рисунке 3.4 изображена распространенная так называемая столбовая схема прокладки стояков, при которой подводки присоединяются к отопительным приборам односторонне. Подающие и обратные части стояков при этом прокладывают рядом (подающие всегда справа при взгляде из помещения). Существует также цепочечная схема прокладки стояков, когда они располагаются разобщенно (по одному между приборами), а подводки присоединяются к приборам с разных сторон. При разностороннем (особенно диагональном) присоединении труб к радиаторам эти приборы лучше прогреваются, исключаются также скобы на стояках для огибания горизонтальных подводов. Все же преимущественно применяют столбовую схему, при которой возможно независимое регулирование и отключение для ремонта обособленных парных стояков.

Горизонтальная однетрубная система, встречавшаяся ранее в основном в одноэтажных зданиях временного типа, в последнее время стала применяться для отопления сельскохозяйственных сооружений, многоэтажных зданий как производственных, так и гражданских (рисунок 3.5). Распространение

горизонтальной системы связано с увеличением длины зданий, внедрением сборных каркасно-панельных конструкций с широким шагом колонн и удлиненными световыми проемами. Отсутствие в таких зданиях простенков и отверстий в панелях перекрытий затрудняло размещение традиционных вертикальных стояков. Наличие ленточных световых проемов предопределяло размещение отопительных приборов не отдельными группами, а в виде цепочек (во избежание теплового дискомфорта в помещениях). Соединяя последовательно отопительные приборы увеличенной длины короткими трубными вставками, получали горизонтальные однетрубные ветви.

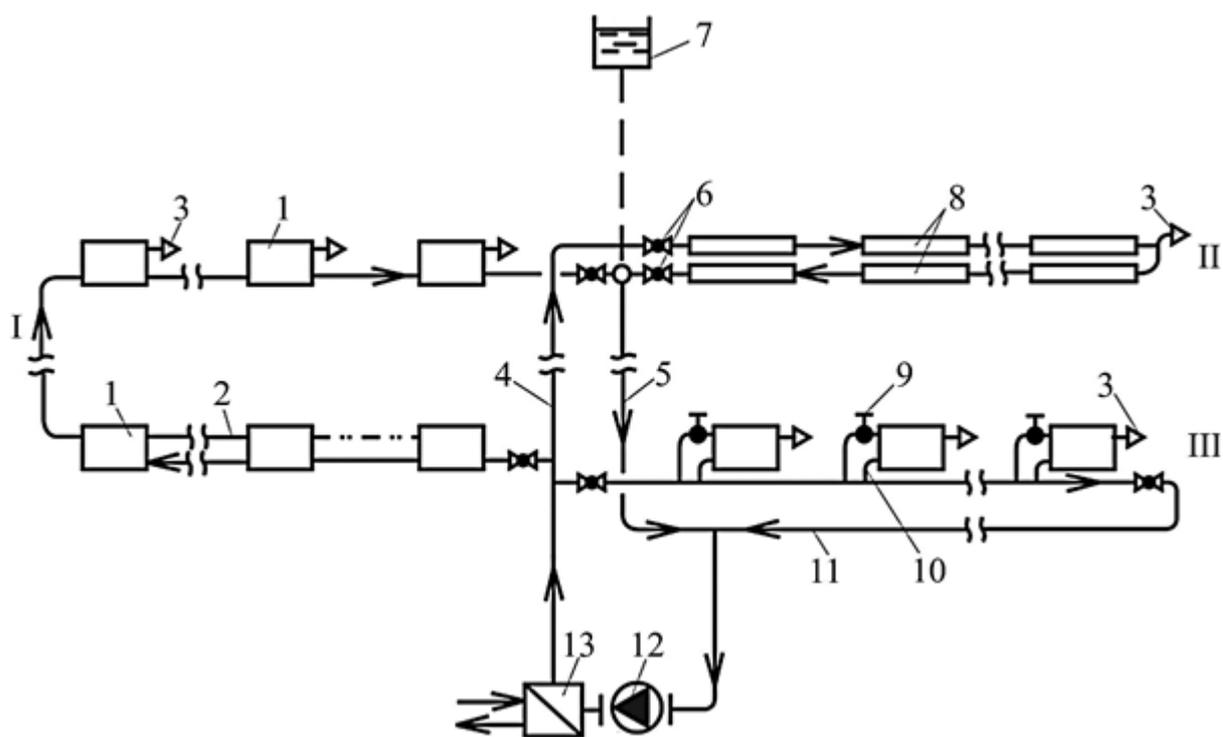


Рисунок 3.5. Схемы горизонтальной однетрубной системы водяного отопления:

I — проточная ветвь для приборов, расположенных на разных этажах;

II — проточная бифилярная ветвь; *III* — ветвь с замыкающими участками.

1 — радиатор; 2 — воздушная труба; 3 — воздушный кран; 4 — подающий стояк; 5 — обратный стояк; 6 — запорно-регулирующая арматура; 7 — открытый расширительный бак; 8 — конвектор двухтрубный; 9 — кран типа КРП; 10 — осевой замыкающий участок; 11 — обратная магистраль; 12 — циркуляционный насос; 13 — теплообменник

В горизонтальной однетрубной системе сокращается по сравнению с вертикальной системой протяженность теплопроводов, особенно стояков и

магистралей. Немногочисленные укрупненные стояки для горизонтальных однетрубных ветвей (см. рисунок 3.5) прокладывают во вспомогательных помещениях здания.

В горизонтальных однетрубных ветвях применяют проточные нерегулируемые приборные узлы (ветвь I) и регулируемые узлы с осевыми замыкающими (ветвь III на рисунке 3.5) и обходными участками. При проточных ветвях регулирование теплоподдачи в помещения осуществляют воздушными клапанами в конвекторах с кожухом или общим (для всех приборов на одном этаже) регулирующим вентилем. Подобная схема применяется с начала 70-х годов.

При использовании в системе отопления здания высокотемпературной воды применяют удлиненные горизонтальные однетрубные ветви с циркуляцией постепенно охлаждающейся воды снизу вверх через приборы на разных этажах (ветвь I на рисунке 3.5). Тогда высокотемпературная вода будет находиться в зоне повышенного гидростатического давления, что предотвратит ее вскипание.

Горизонтальная однетрубная система пригодна также для периодического отопления помещений на различных этажах (например, при отличающихся технологических процессах со значительными тепловыделениями), а также для отопления старинных зданий со сводчатыми перекрытиями.

Схемы бифилярной системы водяного отопления, которая может быть с вертикальными стояками и горизонтальными ветвями, аналогичны рассмотренным схемам однетрубной системы.

В **вертикальной бифилярной системе** устраивают, как и в однетрубной системе с нижней разводкой, П-образные стояки (см. рисунке 3.2). По такой схеме делали до середины 80-х годов отопление отдельных типов крупнопанельных жилых зданий. Там использовались трубчатые нагревательные элементы, встроенные вместе со стояками во внутренний бетонный слой наружных трехслойных стеновых панелей. При этом

нагревательные элементы каждого помещения делились на два змеевика, и каждый змеевик отдельно присоединялся к восходящей и нисходящей частям стояка.

В горизонтальной бифилярной системе используют трубчатые отопительные приборы - конвекторы, бетонные радиаторы приставного типа, ребристые и гладкие трубы (см. ветвь II на рисунке 3.5). Стальные и чугунные радиаторы могут быть применены только при двухрядной их установке. В такой системе так же, как и в однотрубной системе с проточными приборными узлами, невозможно индивидуальное количественное регулирование теплоотдачи отдельных отопительных приборов. Применяется количественное регулирование теплоотдачи сразу всей цепочки приборов или регулирование теплоотдачи каждого прибора “по воздуху”, если устанавливаются конвекторы с воздушным клапаном.

Бифилярная система с горизонтальными пофасадными ветвями наиболее часто используется в производственных и сельскохозяйственных зданиях.

3.2. Система отопления с естественной циркуляцией воды

Область применения системы с естественной циркуляцией воды (гравитационной) в настоящее время, как уже известно, ограничена. Ее используют для отопления отдельных жилых квартир, обособленных зданий (особенно в отдаленной сельской местности), зданий при не налаженном снабжении электрической энергией. Гравитационную систему применяют также в зданиях, в которых недопустимы вызываемые циркуляционными насосами и высокими скоростями воды шум и вибрация конструкций (например, при точных измерениях).

Система с естественной циркуляцией воды может быть устроена для отопления верхних помещений высоких зданий (например, технического этажа при кондиционировании воздуха, совмещенном с отоплением, в основных помещениях здания).

Ограничение области применения связано с тем, что для циркуляции воды используется различие в гидростатическом давлении в вертикальных частях системы, которое только в высоких зданиях достигает значений, соизмеримых с давлением, создаваемым насосом.

В малоэтажных зданиях гравитационная система имеет следующие **недостатки** по сравнению с насосной системой водяного отопления:

- сокращенный радиус действия (до 20 м по горизонтали), обусловленный небольшим циркуляционным давлением;
- повышенная первоначальная стоимость (до 5...7 % стоимости небольших зданий) в связи с применением труб увеличенного диаметра;
- увеличенные расход металла и затраты труда на монтаж системы;
- замедленное включение в действие из-за большой теплоемкости воды и низкого циркуляционного давления;
- повышенная опасность замерзания воды в трубах, проложенных в неотапливаемых помещениях.

Вместе с тем гравитационная система отопления обладает **достоинствами**, определяющими в отдельных случаях ее выбор:

- относительная простота устройства и эксплуатации;
- независимость действия от снабжения электрической энергией;
- низкая скорость движения теплоносителя, отсутствие циркуляционных насосов и соответственно шума и вибраций;
- сравнительная долговечность (при правильной эксплуатации система может действовать 35...40 лет и более без капитального ремонта);
- улучшение теплового режима помещений, обусловленное действием с количественным саморегулированием.

Остановимся на явлении количественного **саморегулирования**. В гравитационной системе создается своеобразный механизм естественного регулирования: при проведении обычного качественного регулирования, т. е. при изменении температуры воды, самопроизвольно возникает количественные

изменения - изменяется расход воды. Действительно, если повышать температуру греющей воды при понижении температуры наружного воздуха (и наоборот), то в системе из-за иного распределения плотности воды будет увеличиваться (уменьшаться) естественное циркуляционное давление, а, следовательно, и количество циркулирующей воды. Одновременное изменение температуры и количества воды обеспечивает необходимую теплоотдачу отопительных приборов для поддержания ровной температуры помещений.

В двухтрубной системе усиление или ослабление циркуляции воды в циркуляционном кольце каждого отопительного прибора изменяет теплопередачу в помещение, которая, взаимодействуя с теплопотерями помещения (тормозясь или возрастая), сама влияет на расход воды, изменяя температуру обратной воды (а с ней и циркуляционное давление). В результате в каждом помещении сохраняется соответствие между теплоотдачей прибора и теплопотерями, т. е. обеспечивается при действии системы отопления ровный тепловой режим.

В вертикальной однотрубной системе имеет место такое же количественное саморегулирование, но в отличие от двухтрубной системы в циркуляционных кольцах не каждого прибора, а уже стояков в целом с их последовательно соединенными приборами. При этом усиление или ослабление циркуляции воды происходит более интенсивно, чем в двухтрубной системе. В результате в теплый период отопительного сезона наблюдается отклонение от необходимой теплоподдачи у части приборов: при движении в стояке сверху вниз сильно уменьшенного количества воды нижние приборы несколько недогревают помещения. Это явление смягчается с увеличением числа этажей здания.

Можно сделать вывод, что при естественной циркуляции воды преимущество в малоэтажных зданиях следует отдавать двухтрубной системе отопления. Вертикальная однотрубная система предпочтительна в многоэтажных зданиях, где благодаря увеличению естественного

циркуляционного давления можно уменьшить диаметр труб (по сравнению с двухтрубной), а также располагать отдельные отопительные приборы ниже котла или теплообменника.

Схема гравитационной системы во многом подобна рассмотренной выше схеме насосной системы отопления. Перечислим лишь **особенности конструкции** гравитационной системы, отражающие природу ее действия.

1. Гравитационная система для улучшения циркуляции воды устраивается, как правило, с верхним расположением подающей магистрали - с верхней разводкой.
2. Расширительный бак в гравитационной системе присоединяется непосредственно к теплоизолированному главному стояку для непрерывного удаления воздуха из системы через бак в атмосферу (без воздухоотводчиков и воздухоотводчиков).
3. Подающая магистраль прокладывается, как правило, под потолком верхнего этажа без тепловой изоляции с увеличенным уклоном (не менее 0,005 м/м) для сбора воздуха против направления движения воды к точке присоединения расширительного бака.
4. Приборные узлы выполняются для обеспечения движения воды в отопительных приборах по схеме “сверху-вниз” с целью повышения коэффициента теплопередачи приборов.
5. Однотрубные стояки устраиваются с замыкающими участками у приборов для уменьшения потерь давления при движении воды через приборные узлы.

На рисунке 3.6 изображена принципиальная схема гравитационной системы водяного отопления с верхней разводкой и теплообменником, который применяют при независимом присоединении системы к наружным теплопроводам. Показано, что наполнение и подпитка системы делаются деаэрированной водой из наружного обратного теплопровода без насоса, что возможно при достаточно высоком давлении в нем. При местном теплоснабжении теплообменник заменяется котлом. Наполнение и подпитка

при этом осуществляется из наружного водопровода, а при его отсутствии путем ручной заливки воды в расширительный бак. Подробные схемы стояков двухтрубной системы даны на рисунке 3.4, а, однотрубной - на рисунке 3.1.

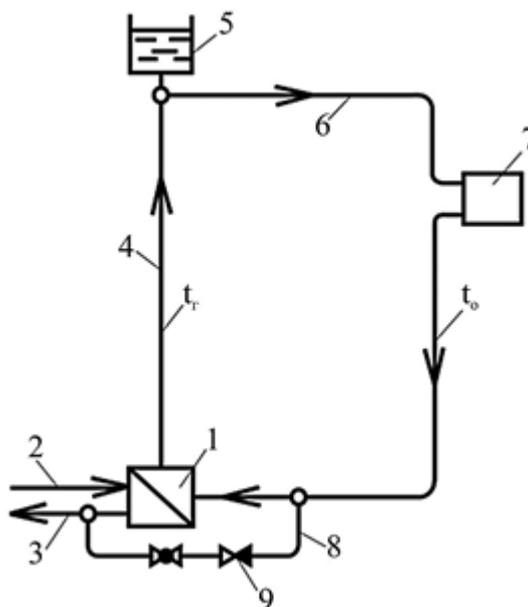


Рисунок 3.6. Схема гравитационной системы водяного отопления:

1 — теплообменник (или теплогенератор — водогрейный котел); 2 и 3 — наружные, соответственно, подающий и обратный теплопроводы; 4 — главный стояк; 5 — открытый расширительный бак; 6 — подающая магистраль; 7 — отопительный прибор; 8 — наполнительно-подпиточная труба; 9 — обратный клапан

Возможно применение гравитационных систем отопления с нижней разводкой обеих магистралей, двухтрубные и однотрубные стояки которых изображены на рисунках 3.4, б и 3.2. Однако при этом уменьшается циркуляционное давление, что приводит к увеличению диаметров труб, усложняется сбор и удаление воздушных скоплений из системы. Расширительный бак в этом случае присоединен к магистрали в нижней части системы, и его можно использовать для удаления воздуха только при прокладке специальных воздушных труб.

Система с “опрокинутой” циркуляцией при естественной циркуляции воды не используется, так как в ней иногда возникает обратное движение охлажденной воды в стояках.

В двухтрубной гравитационной системе отопления для создания достаточного циркуляционного давления следует увеличивать вертикальное расстояние между нижними отопительными приборами и теплообменником, доводя его хотя бы до 3 м. Если это осуществимо в отдельных зданиях, то при отоплении одноэтажных квартир и домов, а также железнодорожных вагонов теплогенератор (котел) приходится располагать на одном уровне с отопительными приборами. В этих случаях рассчитывают на создание циркуляции воды только за счет охлаждения ее в трубах.

Квартирные системы водяного отопления применяются уже более ста лет. За это время изменялись и совершенствовались котлы и их топливо, трубы и отопительные приборы, использовались различные схемы, но принцип устройства и действия оставался одним и тем же: для создания устойчивой циркуляции воды одна из магистралей прокладывается под потолком отапливаемого помещения. Охлаждение воды в этой сравнительно высоко расположенной над котлом магистрали и обеспечивает необходимое циркуляционное давление. Что же касается охлаждения воды в отопительных приборах, то центр охлаждения в них может оказаться не только не выше середины котла, но даже ниже ее, а это будет препятствовать естественной циркуляции воды.

Наиболее распространена двухтрубная система, при которой подающую магистраль размещают под потолком отапливаемого помещения, обратную прокладывают у пола или в подпольном канале. Отопительные приборы присоединяют к трубам по схеме “сверху-вниз”.

Теоретически возможна двухтрубная схема, когда не только подающая, но и обратная магистрали помещаются под потолком помещения. При этом для обеспечения циркуляции воды необходимо опускать обратную магистраль петлями до низа каждого отопительного прибора, что увеличивает расход труб и усложняет спуск воды из системы в процессе ее эксплуатации.

Можно применить также горизонтальную однотрубную схему присоединения отопительных приборов, но и в этом случае одна из магистралей должна быть проложена сверху (под потолком помещений).

На рисунке 3.7 изображена для примера одна из двух ветвей гравитационной системы водяного отопления железнодорожного пассажирского вагона. Две гладких трубы D_{y65} , обогревающие нижнюю зону салона, присоединяют самостоятельно к верхней подающей магистрали для усиления циркуляции воды в каждой из них. Отдельный отопительный прибор предназначен для отопления туалетной комнаты. Подающую магистраль желательно прокладывать без тепловой изоляции для увеличения циркуляционного давления, и изолировать только главный стояк.

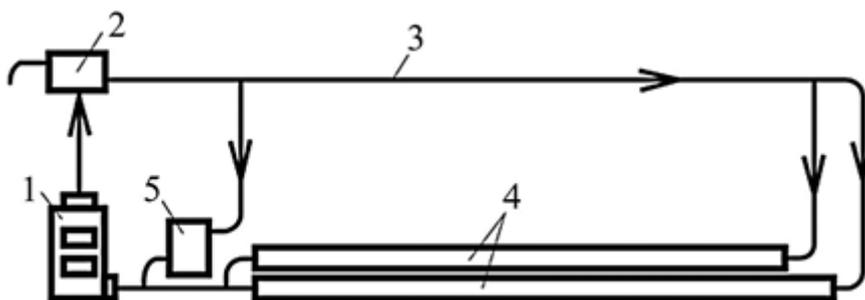


Рисунок 3.7. Схема гравитационной системы водяного отопления железнодорожного пассажирского вагона:

1 — котел; 2 — открытый расширительный бак; 3 — подающая магистраль; 4 — основные греющие гладкие трубы; 5 — отопительный прибор туалета

Для вычисления естественного циркуляционного давления в гравитационной системе отопления необходимо знать температуру и плотность воды в различных ее точках. Следовательно, при проектировании квартирной системы отопления обязателен точный расчет теплопередачи через стенки труб для определения степени охлаждения протекающей в них воды. Эту особенность теплогидравлического расчета в необходимых случаях распространяют и на другие гравитационные системы отопления.

Наименьшее охлаждение воды, а, следовательно, и наименьшее естественное циркуляционное давление получается в циркуляционном кольце

через прибор, ближний к теплогенератору (например, в кольце прибора 5 на рисунок 3.7), вследствие малой длины труб. Поэтому через такой прибор, не в пример потокораспределению в насосной системе, может протекать меньшее количество воды, чем через приборы, удаленные от теплогенератора.

При расчете площади нагревательной поверхности прибора квартирной системы отопления учитывают уже известные теплоотдачу труб, проложенных в помещении, и действительную температуру воды при входе в каждый прибор и выходе из него. В этом особенность расчета приборов такой системы отопления.

Система отопления железнодорожного вагона обычно дополняется электрическим насосом для возможности усиления циркуляции воды. В районах, обеспеченных устойчивым электроснабжением, квартирная система отопления может также устраиваться с циркуляционным насосом. Насосная квартирная система отопления делается горизонтальной однетрубной или двухтрубной с нижней пкладкой обеих магистралей.

3.3. Расчет давления в системе водяного отопления

Давление в каждой точке замкнутых циркуляционных колец системы отопления в течение отопительного сезона непрерывно изменяется вследствие непостоянства плотности воды и циркуляционного давления.

Исходное значение давления соответствует гидростатическому давлению в каждой точке системы в состоянии покоя. Наибольшие изменения давления в системе происходят при циркуляции максимального количества воды, температура которой достигает предельного значения при расчетной температуре наружного воздуха. Сравнивая крайние значения при этих двух гидравлических режимах, можно судить о динамике давления в каждой точке при действии системы отопления в течение отопительного сезона.

Изменение давления в системе отопления рассматривают с целью выявления мест с чрезмерно низким или высоким давлением, вызывающим нарушение циркуляции воды или разрушение отдельных элементов системы.

Это позволяет предусматривать мероприятия, обеспечивающие нормальное функционирование системы в течение всего отопительного сезона.

Установим, как изменяется давление в горизонтальных и вертикальных трубах, заполненных движущейся водой, применительно к условиям работы вертикального циркуляционного кольца системы отопления.

Запишем значение давления в любой точке потока воды - капельной несжимаемой жидкости. При установившемся движении потока воды полное давление по уравнению Бернулли составит:

$$P = \rho w^2/2 + \rho gh + p. \quad (3.1)$$

где ρ - плотность воды, кг/м³; g - ускорение свободного падения, м/с²; h - вертикальное расстояние от оси потока воды до плоскости сравнения, м; p - дополнительное статическое давление воды, Па; w - средняя скорость движения потока воды, м/с.

По уравнению (3.1) полная энергия потока состоит из кинетической и потенциальной энергии. Кинетическая энергия движения потока воды измеряется гидродинамическим давлением. Среднее значение гидродинамического давления (порядок его величины) найдем при скорости движения воды 1,5 м/с, характерной для теплопроводов насосной системы отопления:

$$\rho w^2/2 = 970 \cdot 1,5^2/2 = 1091 \text{ Па.}$$

Потенциальная энергия потока воды складывается из энергии положения потока ρgh и энергии давления p в потоке.

В каком-либо сечении потока воды энергия положения ρgh зависит от положения этого сечения по отношению к плоскости сравнения. За плоскость сравнения примем свободную поверхность воды в открытом расширительном баке системы отопления, на которую действует атмосферное давление. При этом будем считать уровень, на котором находится вода в баке, неизменным. Тогда в каждом сечении потока будет определяться гидростатическое давление положения, как избыточное и пропорциональное вертикальному расстоянию h (высоте столба воды в состоянии покоя).

Энергия давления p определяется пьезометрической высотой, на которую может подняться вода над рассматриваемым сечением потока. В замкнутой системе отопления проявляется энергия давления, рассматриваемая как гидростатическое давление в каждом сечении теплопроводов, вызывающее циркуляцию воды.

Сопоставим возможное изменение гидродинамического и гидростатического давления в вертикальной системе отопления.

Гидростатическое давление в вертикальной трубе при изменении положения точки потока только на 1 м возрастает или убывает на:

$$\rho gh = 970 \cdot 9,81 \cdot 1 = 9516 \text{ Па.}$$

Очевидно, что изменение величины гидростатического давления по высоте системы отопления даже одноэтажного здания более чем на целый порядок превышает максимально возможное изменение значения гидродинамического давления (1091 Па). Поэтому в дальнейшем для характеристики изменения давления воды в системе отопления будем учитывать изменение только гидростатического давления ($\rho gh + p$), приближенно считая его равным полному, т. е. будем пренебрегать изменением гидродинамического давления ($\rho w^2/2$).

3.4. Назначение и методы гидравлического расчета системы водяного отопления

Система водяного отопления представляет собой разветвленную закольцованную сеть труб и приборов, заполненных водой. Вода в течение отопительного сезона находится в постоянном кругообороте. По трубам – теплопроводам – нагретая вода распределяется по отопительным приборам, охлажденная в приборах вода собирается воедино, нагревается в теплообменнике и вновь направляется к приборам. Теплопроводы предназначены для доставки и передачи в каждое помещение обогреваемого здания необходимого количества тепловой энергии. Так как теплопередача

происходит при охлаждении определенного количества воды, требуется выполнить гидравлический расчет системы.

Гидравлический расчет проводится в соответствии с законами гидравлики. Расчет основан на следующем **принципе**: при установившемся движении воды действующая в системе разность давления (насосного и естественного) полностью расходуется на преодоление гидравлического сопротивления движению.

Правильный гидравлический расчет предопределяет работоспособность системы отопления. Точный расчет системы связан с решением большого числа нелинейных уравнений. Решение упрощается при выполнении требований СП применять трубы по имеющемуся сортаменту. В этих условиях гидравлический расчет заключается в подборе по сортаменту площади поперечного сечения (диаметра) труб, достаточной для подачи нужного количества воды в приборы системы. Потери давления при перемещении требуемого количества воды по трубам принятого диаметра определяют гидравлическое сопротивление системы.

Гидравлическое сопротивление системы, как установлено ранее, должно соответствовать действующей разности давления, а в расчетных условиях циркуляции воды – расчетному циркуляционному давлению.

При гидравлическом расчете потери давления на каждом участке $\Delta p_{уч}$, Па, циркуляционных колец системы отопления определяют по формуле Дарси-Вейсбаха, известной из курса гидравлики:

$$\Delta p_{уч} = (\lambda / d_b) l_{уч} (\rho w^2 / 2) + \Sigma \zeta_{уч} (\rho w^2 / 2), \quad (3.2)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения, определяющий в долях гидродинамического давления ($\rho w^2 / 2$, Па) линейную потери гидростатического давления на длине трубы, равной ее внутреннему диаметру d_b , м; l – длина участка, м; $\Sigma \zeta_{уч}$ – сумма КМС на участке, выражающая местные потери

гидростатического давления в долях гидродинамического давления (значения КМС приведены в справочной литературе); ρ и w – соответственно средняя плотность, кг/м³, и скорость движения, м/с, воды на участке.

По формуле (3.2) находят падение гидростатического давления в потоке воды вследствие **линейной потери** (первое слагаемое) при трении о стенки трубы и **местных сопротивлений** (второе слагаемое) из-за деформации потока в фасонных частях, арматуре и приборах.

Коэффициент гидравлического трения λ зависит от режима движения жидкости (ламинарного или турбулентного) в трубах и приборах систем отопления.

При **ламинарном** движении воды коэффициент гидравлического трения по формуле Пуазейля с поправкой на шероховатость труб (действительная в диапазоне изменения числа Рейнольдса от 300 до 7000):

$$\lambda = (64 / Re)(1 + 4(d_B / k_s)^{0,8}), \quad (3.3)$$

где Re – число Рейнольдса ($Re = wd_B/\nu$); k_s – эквивалентная шероховатость внутренней поверхности труб (в системах водяного отопления принимают $k_s=0,2$ мм).

При **турбулентном** движении воды в трубах (во всей области турбулентного режима от гидравлически гладких до вполне шероховатых труб) наиболее часто (с учетом зарубежной практики) используют формулу Колбрука (в отечественной практике применяют также формулу А. Д. Альтшуля):

$$1 / (\lambda^{0,5}) = - 2 \lg(2,51 / (Re \lambda^{0,5}) + k_s / (3,7d_B)). \quad (3.4)$$

Турбулентное движение воды наблюдается в современных насосных системах (особенно однотрубных) многоэтажных зданий.

Ламинарное движение встречается в чугунных отопительных приборах и в

трубах систем с естественной циркуляцией воды малоэтажных зданий.

Коэффициент гидравлического трения дополнительно возрастает при малой скорости движения в связи со значительным охлаждением воды в трубах.

Коэффициент местного сопротивления (КМС) ζ зависит в основном от геометрической формы препятствий движению (арматура, приборы, воздухоборники, грязевики, коллекторы и т. п.), изменения направления движения и расхода воды (в тройниках, крестовинах, отводах, скобах, утках, калачах и других фасонных частях).

Значения КМС, как правило, определяют опытным путем, и при гидравлических расчетах насосных систем отопления усредняют (хотя известно, что ζ увеличивается под влиянием вязкости при малой скорости движения вода). Для тройников и крестовин находят по отдельности значения КМС для прямых проходов и ответвлений, отнесенные к гидродинамическому давлению в потоках до их слияния или после деления в этих фасонных частях, т.е. к участкам с меньшим расходом вода. Например, КМС равностороннего тройника при делении потока воды пополам составляют на проходе 2,2, на ответвлении 5,4. При слиянии равных потоков – соответственно 2,2 и 2,0. Число 2,0 означает, что потеря гидростатического давления при слиянии бокового потока с прямым равна двум единицам гидродинамического давления, причем последнее подсчитано по значению скорости движения воды в боковом ответвлении.

Первый способ гидравлического расчета – **по удельной линейной потере давления**, когда подбирают диаметр труб при равных (или, как иногда говорят, постоянных) перепадах температуры воды во всех стояках и ветвях $\Delta t_{ст}$, соответствующих расчетному перепаду температуры воды во всей системе Δt_c :

$$\Delta t_{ст} = \Delta t_c, \quad (3.5)$$

причем $\Delta t_c = t_r - t_o$.

Потери давления на трение и местные сопротивления на участке определяют отдельно по преобразованной формуле (3.2):

$$\Delta p_{\text{уч}} = (\lambda / d_{\text{в}})(\rho w^2 / 2)l_{\text{уч}} + \Sigma \zeta_{\text{уч}}(\rho w^2 / 2) = Rl_{\text{уч}} + Z, \quad (3.6)$$

где $R = (\lambda / d_{\text{в}})(\rho w^2 / 2)$ – удельная потеря давления на трение на длине 1 м, Па/м; $Z = \Sigma \zeta_{\text{уч}}(\rho w^2 / 2)$ – потери давления на местные сопротивления, Па.

Второй способ гидравлического расчета – **по характеристикам сопротивления и проводимостям**, когда устанавливают распределение потоков воды в циркуляционных кольцах системы и получают неравные (используют также термины: переменные, скользящие) перепады температуры воды в стояках и ветвях:

$$\Delta t_{\text{ст}} \cong \Delta t_{\text{с}}. \quad (3.7)$$

При этом допускают отклонение $\Delta t_{\text{ст}}$ на ± 7 °С (при $t_{\text{г}}$ до 115 °С) и ограничивают минимальную температуру воды, уходящей из стояков и ветвей в расчетных условиях, 60 °С. Предварительно выбирают диаметр труб на каждом участке с учетом допустимой скорости движения воды и конструктивных соображений.

Потери давления на трение и местные сопротивления на участке определяют совместно по преобразованной формуле (3.2):

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{уч}} &= ((\lambda / d_{\text{в}})l_{\text{уч}} + \Sigma \zeta_{\text{уч}})(\rho w_{\text{уч}}^2 / 2) = \\ &= (A_{\text{уч}}((\lambda / d_{\text{в}})l_{\text{уч}} + \Sigma \zeta_{\text{уч}}))G_{\text{уч}}^2 = S_{\text{уч}}G_{\text{уч}}^2, \end{aligned} \quad (3.8)$$

где $w_{\text{уч}} = 4G_{\text{уч}} / (3600\pi d_{\text{в}}^2)$ – скорость движения воды, м/с; $G_{\text{уч}}$ – расход воды на рассчитываемом участке, кг/ч; $A_{\text{уч}}$ – удельное гидродинамическое давление на участке, Па/(кг/ч)², возникающее при расходе воды 1 кг/ч, которое вычисляется по формуле (после подстановки значения числа π и преобразования):

$$A_{\text{уч}} = 6,25 / (10^8 \pi d_{\text{в}}^4); \quad (3.9)$$

$S_{\text{уч}}$ – характеристика гидравлического сопротивления участка, Па/(кг/ч)², выражающая потери давления на участке при единичном расходе воды (1 кг/ч), которая определяется по формуле (см. формулу (3.8)):

$$S_{\text{уч}} = A_{\text{уч}}((\lambda / d_{\text{в}})l_{\text{уч}} + \Sigma\zeta_{\text{уч}}). \quad (3.10)$$

3.5. Изоляция теплопроводов

При перемещении теплоносителя по трубам, проложенным в неотапливаемых помещениях, может значительно понизиться температура горячей воды и бесполезно сконденсироваться часть пара. Возможна также передача в рабочие помещения шума и вибраций, вызываемых действующими насосами. Шум может также возникнуть при движении теплоносителя с чрезмерно высокой скоростью.

Для уменьшения бесполезных тепловых потерь отопительные трубы в неотапливаемых помещениях покрывают **тепловой изоляцией**. Понятно, что большая экономия тепловой энергии достигается при повышении качества тепловой изоляции. Оптимальную толщину слоя находят путем технико-экономического расчета. Практически толщину слоя изоляции определяют исходя из его термического сопротивления не менее 0,86 °С·м²/Вт для труб $D_{\text{y}} \leq 25$ мм и 1,22 °С·м²/Вт для труб $D_{\text{y}} > 25$ мм.

Качество тепловой изоляции оценивается ее КПД:

$$\eta_{\text{из}} = (Q_{\text{тр}} - Q_{\text{из}}) / Q_{\text{тр}}, \quad (3.11)$$

выражающим отношение тепловой энергии, сэкономленной при наложении изоляции ($Q_{\text{тр}} - Q_{\text{из}}$), к тепловым потерям неизолированной трубой $Q_{\text{тр}}$.

В современных конструкциях тепловой изоляции при использовании материалов теплопроводностью до 0,1 Вт/(м·°С) оптимальная толщина слоя обеспечивает КПД изоляции, близкий к 0,8.

Тепловую изоляцию труб применяют, кроме того, в местах, где возможно замерзание теплоносителя (близ наружных дверей, ворот и других

открываемых проемов), воспламенение и взрыв газов и пыли, ожоги людей, а также в искусственно охлаждаемых помещениях. При скрытой прокладке стояков принимают меры для уменьшения теплопотерь наружу. Между замоноличенным стояком и массивом наружной стены помещают тепловую изоляцию. При замоноличивании во внутреннюю перегородку или стену стояк не менее чем на 300 мм относят от плоскости наружной стены. Стояки в бороздах наружных стен нередко покрывают тепловой изоляцией (в зависимости от местных метеорологических условий и конструкции стен).

Различают следующие конструкции тепловой изоляции:

- мастичную, наносимую на трубу вручную;
- набивную или засыпную под каркас из сетки или в канал;
- оберточную из лент, жгутов и матов;
- сборную из штучных трубоподобных элементов, скорлуп и сегментов;
- литую, наносимую на трубу механизированным способом.

Конструкции изоляции перечислены в порядке, соответствующем уменьшению затрат ручного труда при производстве работ.

Наиболее распространенные в настоящее время оберточная и, особенно, сборная конструкции изоляции. Последняя, чаще всего, производится из специальной губчатой резины или пенопласта и выпускается в соответствии с существующим сортаментом труб со стандартным внутренним диаметром. Для труб большого диаметра, применяемых, например, в системах городского теплоснабжения, часто применяют литую тепловую изоляцию (например, из пенобетона), наносимую на трубы в заводских условиях.

При выборе конструкции предпочтение отдается теплоизоляционным материалам - экономичным, надежным в эксплуатации, позволяющим сокращать затраты труда при монтаже.

Теплоизоляционная конструкция помимо основного изоляционного слоя и крепежных элементов (если они необходимы) имеет покровно-защитный слой, придающий изоляции правильную форму и защищающий ее от внешних

механических повреждений. Защитный слой может быть штукатурным или листовым (из алюминиевой фольги и т.п).

При наличии нескольких изолированных труб в одном помещении на поверхности защитного слоя делаются цветовые обозначения для каждой трубы.