

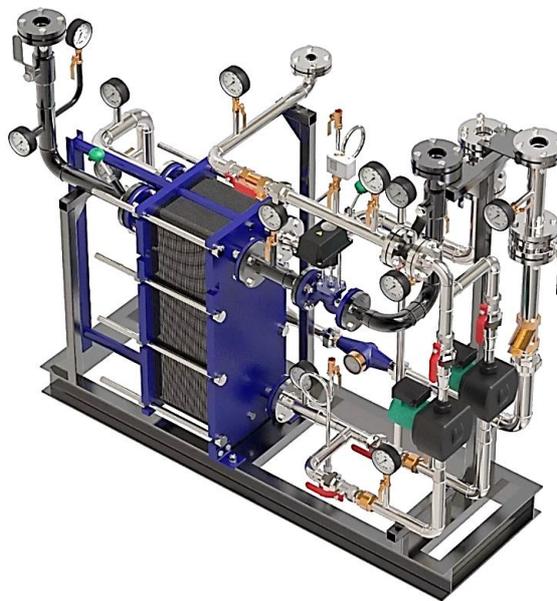
**Владимирский государственный университет**

**А. Н. СТАРИКОВ**

**СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЁТА  
СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

**Раздел «Теплоснабжение»**

**Учебное пособие**



**Владимир 2024**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

А. Н. СТАРИКОВ

# СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЁТА СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Раздел «Теплоснабжение»

Учебное пособие

*Электронное издание*



Владимир 2024

ISBN 978-5-9984-1941-6

© ВлГУ, 2024

© Стариков А. Н., 2024

УДК 24.57  
ББК 662.6

Рецензенты

Доктор технических наук, профессор  
профессор кафедры автоматизации, мехатроники и робототехники  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*О. В. Веселов*

Кандидат технических наук  
генеральный директор ООО «Рарок»  
*А. В. Власов*

**Стариков, А. Н.**

СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЁТА СИСТЕМ ТЕПЛО-  
ГАЗОСНАБЖЕНИЯ. Раздел «Теплоснабжение» [Электронный ресурс ] :  
учеб. пособие / А. Н. Стариков ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Сто-  
летовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2024. – 168 с. – ISBN 978-5-9984-  
1941-6. – Электрон. дан. (6,11 Мб). – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM). –  
Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ;  
дисковод DVD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Изложены основные сведения в области теории систем транспортировки и трансформации тепловой энергии. Даны принципы функционирования систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения зданий жилой застройки и промышленных объектов, основные элементы системы теплоснабжения, принципы регулирования отпуска тепла, классификация и др.

Предназначено для студентов вузов направления подготовки 08.04.01 «Теплогасоснабжение населённых мест и предприятий» всех форм обучения.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 63. Ил. 31. Библиогр.: 39 назв.

ISBN 978-5-9984-1941-6

© ВлГУ, 2024  
© Стариков А. Н., 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
Глава 1. ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ.....	8
1.1. Терминология, основные понятия и определения.....	9
1.2. Центральное теплоснабжение.....	12
1.3. Теплоноситель .....	14
1.4. Водяные системы .....	15
1.5. Присоединение потребителей.....	20
Глава 2. ПОТРЕБИТЕЛИ ТЕПЛОТЫ .....	22
2.1. Определение расхода тепла жилыми и общественными зданиями по видам теплопотребления .....	24
2.2. Часовой и годовой графики потребления теплоты .....	25
2.3. Круглогодовые тепловые нагрузки .....	26
2.4. Годовые графики тепловых нагрузок .....	27
2.5. Присоединение нагрузки.....	28
2.6. Подбор элеватора и смесительных насосов .....	29
2.7. Конструкции теплообменных аппаратов.....	31
Глава 3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГВС.....	37
3.1. Санитарное оборудование систем горячего водоснабжения ...	37
3.2. Системы горячего водоснабжения .....	38
3.3. Расчет местных систем горячего водоснабжения .....	42
3.4. Коррозия и накипеобразование .....	46
3.5. Энергосбережение в системах горячего водоснабжения .....	47
3.6. Аккумуляторы горячей воды .....	48

Глава 4. ЗАДАЧИ И ВИДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	51
4.1. Регулирование отпуска тепла .....	52
4.2. Общее уравнение регулирования .....	57
4.3. Тепловые характеристики теплообменных аппаратов .....	58
4.4. Центральное регулирование однородной тепловой нагрузки .	58
4.5. Центральное регулирование закрытых систем по отопительной нагрузке.....	61
4.6. Центральное качественное регулирование по совместной нагрузке.....	68
Глава 5. ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ .....	73
5.1. Оборудование тепловых пунктов.....	73
5.2. Автоматизация тепловых пунктов .....	76
5.3. Регулирование расхода воды .....	77
5.4. Регулирование воды на обратном трубопроводе .....	77
Глава 6. ГИДРАВЛИКА.....	80
6.1. Гидравлические режимы .....	80
6.2. Расчет гидравлического режима .....	83
6.3. Гидравлическая устойчивость .....	84
6.4. Регулирование давления в тепловых сетях .....	84
6.5. Влияние ГВС на гидравлический режим системы теплоснабжения .....	85
6.6. Гидравлический режим сетей с насосными и дросселирующими подстанциями .....	85
Глава 7. ТРУБЫ И АРМАТУРА .....	87
7.1. Трубы.....	87
7.2. Запорная арматура .....	98
7.3. Опоры .....	105
7.4. Компенсаторы.....	109
7.5. Конструирование трубопровода.....	112

Глава 8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ .....	116
8.1. Трасса и профиль тепловой сети .....	116
8.2. Схемы тепловых сетей и их структура .....	117
8.3. Последовательность расчета тепловых сетей .....	119
8.4. Гидравлический расчет тепловых сетей .....	121
8.5. Методика расчета трубопровода .....	123
8.6. Пьезометрический график .....	124
8.7. Подземные теплопроводы .....	129
8.8. Надземные теплопроводы .....	138
Глава 9. ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ .....	141
9.1. Термическое сопротивление трубопроводов .....	143
9.2. Методика расчета толщины изоляции .....	145
9.3. Основные расчетные зависимости для определения теплозащитных свойств теплоизоляционных конструкций .....	146
9.4. Расчет тепловой изоляции трубопроводов и оборудования ..	150
9.5. Расчет изоляции по заданной температуре ее поверхности...	152
9.6. Приемка, пуск и наладка тепловых сетей .....	154
9.7. Надежность тепловых сетей и потоков отказов .....	159
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	162
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	164

## ВВЕДЕНИЕ

Рассматриваются основные вопросы теории построения и проектирования систем теплоснабжения с применением энергосберегающих и природоохранных решений и технологий, исходя из задач подготовки специалистов по основной образовательной программе «Теплогазоснабжение населённых мест и предприятий» по направлению подготовки магистров «Строительство».

Учебная дисциплина «Современные методы расчёта систем теплогазоснабжения» занимает важное место в структуре подготовки специалистов этого профиля. Комфорт жизни и деятельности человека непосредственно связан с обеспечением теплотой объектов его пребывания, поэтому важно, чтобы специалист был вооружен необходимыми теоретическими знаниями и конкретной методикой реализации знаний на практике.

Раздел «Тепловые сети и системы теплоснабжения» охватывает целый комплекс теоретических и практических вопросов генерации, транспортировки и использования тепловой энергии. Необходимо учитывать, что научно-техническое направление теплоснабжения находится в непрерывном и очень динамичном развитии.

Назначение пособия – создание комплекса знаний и умений, необходимых для формирования компетенций в области проектирования, строительства и эксплуатации систем теплоснабжения. Это даст возможность студентам лучше ориентироваться в условиях динамично меняющихся норм, методов расчета, материалов и оборудования; повысить профессиональный уровень проектирования новых и анализа эффективности работы существующих систем; усовершенствовать и усилить обоснованность расчетов, относящихся к внедрению решений в области теплоснабжения.

Структура учебного пособия сформирована таким образом, чтобы в процессе изучения дисциплины магистрант переходил от более общих и теоретических вопросов, осваивая правильную терминологию, к конкретным задачам по повышению тепло- и энергоэффективности, безопасности и экологичности систем теплоснабжения.

Пособие предусматривает применение ситуационных методов и форм изучения дисциплины и материала учебного пособия с постановкой конкретных задач, характерных для специальности. С точки зрения методических аспектов преподавания предусмотрено применение методов самостоятельного освоения материала по заданной тематике в форме разработки проекта и его публичной защиты, что должно значительно активизировать познавательную деятельность студента. Учитывая насыщенную иллюстративную часть пособия и обилие расчетных формул, при изучении его материалов предусматривается использование технических средств обучения, прежде всего мультимедийных презентаций и практических занятий на оборудовании.

При работе над текстом учебного пособия автор старался сохранить сбалансированное соотношение теоретических основ и информации по их практическому применению для расчетов и проектирования с учетом междисциплинарных связей, лежащих в основе взаимодействия дисциплин.

Изучение комплекса вопросов, связанных с проектированием, монтажом и эксплуатацией систем теплоснабжения, и является объектом рассмотрения пособия.

Работа не является оригинальной и уникальной, а построена на анализе современной научно-методической литературы в области теплоснабжения. Отдельно можно выделить монографию автора А. В. Дегтяренко [6] – чёткость, глубина, сбалансированность и лаконичность изложения материала по праву заслуживают уважения и внимания. Именно монография А. В. Дегтяренко стала осью для создания данного учебного пособия.

## **Глава 1. ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ**

Энергетика является ведущей отраслью современного индустриально развитого народного хозяйства Российской Федерации. Данное понятие охватывает широкий круг установок для производства, транспорта и использования электрической и тепловой энергии, энергии сжатых газов и других энергоносителей.

Основным направлением в развитии энергетики РФ является централизация энергоснабжения промышленности, сельского хозяйства, городов и населенных пунктов.

Носителями энергии являются: электрический ток, теплоносители, сжатые газы, обладающие запасом энергии.

Централизованное энергоснабжение, когда от одного крупного источника энергии снабжаются многочисленные потребители, что позволяет, с одной стороны, рационально использовать имеющиеся топливо энергетические ресурсы, с другой стороны, за счет укрупнения единичной мощности генерирующих установок снизить затраты на производство энергии.

Из всех известных энергоносителей наибольшее распространение получила электрическая энергия в силу своей универсальности и возможности без потерь транспортироваться на большие расстояния.

Ввиду того, что территория России расположена в зоне с преобладающим холодным климатом, наибольшее значение имеет обеспечение потребителей тепловой энергией.

Более 80 % тепловой энергии потребляется крупными населенными пунктами, порядка 20 % приходится на сельскую местность. В городах основными потребителями являются: промышленность, коммунально-бытовые нужды, технологические процессы и т. д.

Происходит также потребление тепла населением: на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.

Система теплоснабжения состоит из следующих основных элементов (инженерных сооружений): источника тепла, тепловых сетей, абонентских вводов и местных систем теплоснабжения.

## 1.1. Терминология, основные понятия и определения

В этом разделе даны пояснения некоторых наиболее важных экономических и энергетических терминов возобновляемой энергетики.

*Зависимая схема подключения теплопотребляющей установки* – схема подключения теплопотребляющей установки к тепловой сети, при которой теплоноситель из тепловой сети поступает непосредственно в теплопотребляющую установку;

*Закрытая водяная система теплоснабжения* – система без отбора горячей воды (теплоносителя) из тепловой сети;

*Измерительный преобразователь (ИП)* – средство измерений, служащее для получения и преобразования информации об измеряемой величине в форму, удобную для обработки, хранения, дальнейших преобразований;

*Индивидуальный тепловой пункт* – комплекс устройств для присоединения теплопотребляющей установки к тепловой сети, преобразования параметров теплоносителя и распределения его по видам тепловой нагрузки для одного здания, строения или сооружения;

*Источник тепловой энергии* – устройство, предназначенное для производства тепловой энергии;

*Источник тепловой энергии* – устройство, предназначенное для производства тепловой энергии;

*Качество теплоснабжения* – совокупность характеристик теплоснабжения, в том числе термодинамических параметров теплоносителя;

*Когеренация* – комбинированная выработка электрической и тепловой энергии;

*Коммерческий учет тепловой энергии* – установление количества и качества тепловой энергии, – производимых, передаваемых или потребляемых за определенный период, с помощью приборов учета тепловой энергии;

*Надежность теплоснабжения* – характеристика состояния системы теплоснабжения, при котором обеспечиваются качество и безопасность теплоснабжения;

*Независимая схема подключения теплопотребляющей установки* – теплоноситель первичного контура теплообменника осуществляет нагрев теплоносителя во вторичном контуре. Жидкость из магистрали

не попадает в домовые системы, нагрев происходит путём теплопередачи;

*Объекты теплоснабжения* – источники тепловой энергии, тепловые сети или их совокупность;

*Открытая водяная система теплоснабжения* – система, предназначенная для теплоснабжения и (или) горячего водоснабжения путем отбора теплоносителя из тепловой сети;

*Первичный измерительный преобразователь (датчик)* – измерительный преобразователь, на который непосредственно воздействует материальный объект или явление, являющееся носителем величины, подлежащей измерению;

*Передача тепловой энергии* – совокупность организационно и технологических действий, соответствующем установленным техническими регламентами, требованиям по доставке и преобразованию тепловой энергии, теплоносителя;

*Потребитель тепловой энергии* – субъект, приобретающий тепловую энергию (мощность), теплоноситель для использования на принадлежащих ему на праве собственности или ином законном основании теплопотребляющих установках либо для оказания коммунальных услуг в части горячего водоснабжения и отопления;

*Расходомер* – прибор, предназначенный для измерения расхода воды, газа, пара;

*Режим потребления тепловой энергии* – процесс потребления тепловой энергии, теплоносителя с соблюдением потребителем тепловой энергии обязательных характеристик этого процесса в соответствии с нормативными правовыми актами, в том числе техническими регламентами, и условиями договора теплоснабжения;

*Система теплоснабжения* – совокупность источников тепловой энергии и теплопотребляющих установок, технологически соединенных тепловыми сетями;

*Тепловая мощность* – количество тепловой энергии, которое может быть произведено и (или) передано по тепловым сетям за единицу времени;

*Тепловая нагрузка* – количество тепловой энергии, которое может быть принято потребителем тепловой энергии за единицу времени;

*Тепловая сеть* – совокупность устройств (включая центральные тепловые пункты, насосные станции), предназначенных для передачи

тепловой энергии, теплоносителя от источников тепловой энергии до теплопотребляющих установок;

*Тепловая энергия* – энергетический ресурс, при потреблении которого изменяются термодинамические параметры теплоносителей (температура, давление);

*Тепло-вычислитель* – элемент теплосчетчика, принимающий сигналы от датчиков и обеспечивающий расчет и накопление данных о количестве тепловой энергии и параметрах теплоносителя;

*Теплоноситель* – пар, вода, которые используются для передачи тепловой энергии. Теплоноситель в виде воды в открытых системах теплоснабжения (горячего водоснабжения) может использоваться для теплоснабжения и для горячего водоснабжения;

*Теплопотребляющая установка* – устройство, предназначенное для использования тепловой энергии, теплоносителя для нужд потребителя тепловой энергии;

*Теплосетевая организация* – организация, оказывающая услуги по передаче тепловой энергии;

*Теплоснабжение* – обеспечение потребителей тепловой энергии тепловой энергией, теплоносителем, в том числе поддержание мощности;

*Теплосчетчик* – совокупность приборов, предназначенных для измерения отдаваемой теплоносителем тепловой энергии, представляющий собой единую конструкцию либо состоящий из составных элементов – расходомеров, датчиков температуры (давления) и вычислителя;

*Центральный тепловой пункт* – комплекс устройств для присоединения теплопотребляющих установок нескольких зданий, строений или сооружений к тепловой сети, а также для преобразования параметров теплоносителя и распределения его по видам тепловой нагрузки;

*Энергосбережение* – реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования.

## 1.2. Центральное теплоснабжение

Централизованное теплоснабжение представляет собой процесс обеспечения тепловой энергией низкого (до 150 °С) и среднего (до 350 °С) потенциала нескольких потребителей от одного или нескольких источников. Источником тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения могут быть теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), районные (РК) и квартальные котельные (КК).

Централизованное теплоснабжение от ТЭЦ и РК по сравнению с местным печным и центральным отоплением от домовых котельных позволяет резко сократить загрязнение воздушного бассейна, снизить капитальные и эксплуатационные затраты.

Различают два способа выработки электрической и тепловой энергии:

- комбинированный на ТЭЦ.
- отдельный на конденсационной электрической станции (КЭС) и в котельной.

На рис. 1.1 показаны принципиальные схемы отдельного и комбинированного процессов выработки тепла и электроэнергии. Централизованное теплоснабжение на базе комбинированной совместной выработки тепловой и электрической энергии называется теплофикацией. Теплофикация является высшей формой централизованного теплоснабжения.

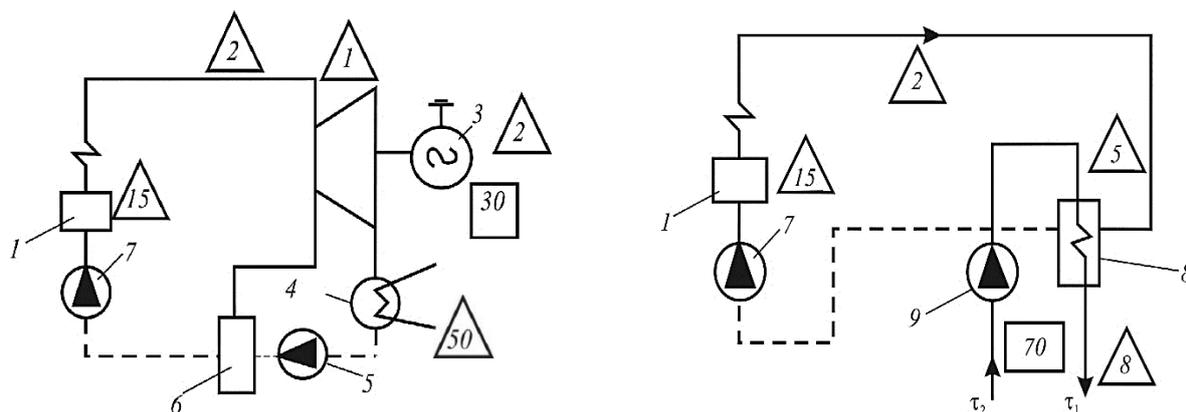


Рис. 1.1. Принципиальные схемы отдельного и комбинированного процессов выработки тепла и электроэнергии (начало)

а)

б)

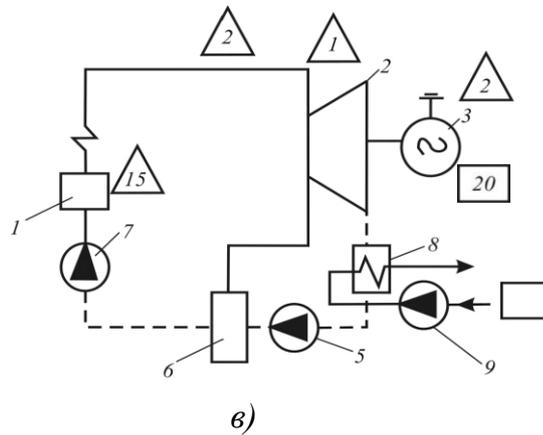


Рис. 1.1. Принципиальные схемы отдельного и комбинированного процессов выработки тепла и электроэнергии (окончание):  
 а – отдельный процесс (КЭС); б – отдельный процесс (РК); в – комбинированный процесс (ТЭЦ); 1 – котел; 2 – турбина; 3 – генератор; 4 – конденсатор; 5 – конденсаторный насос; 6 – регенеративный подогреватель; 7 – питательный насос; 8 – подогреватель сетевой воды; 9 – сетевой насос;  $\tau$  – потери тепла, %;  
 $\Delta$  – полезно используемое тепло, %

В конденсационных турбинах с целью увеличения выработки электрической энергии пар срабатывается до более глубокого вакуума, чем в теплофикационных турбинах. Поэтому электрическая энергия, вырабатываемая за цикл в конденсационной турбине, превосходит выработку электроэнергии, производимой в теплофикационной турбине.

В конденсационном цикле тепло, выделяющееся при конденсации обработанного пара, количественно равно площади II, передается в конденсаторе охлаждающей воде и из-за низкой ее температуры (25-30 °С) не может быть использовано для целей теплоснабжения.

Из теплофикационной турбины частично отработанный пар с более высоким давлением подается технологическому потребителю или поступает в теплофикационные подогреватели на нагрев сетевой воды, т. е. его тепло расходуется полезно. Термический КПД идеального конденсационного цикла, равный отношению полезной работы к затраченному теплу

$$\eta = \frac{F_1}{F_I + F_{II}} \ll 1,$$

в теплофикационном цикле

$$\eta = \frac{F_1 + F_{III}}{F_I + F_{III}} = 1,$$

В реальности КПД КЭС  $\approx 35-40\%$ , а ТЭЦ  $\approx 80\%$ .

При комбинированном способе удельный расход топлива на выработку энергии значительно меньше, чем при раздельном.

### 1.3. Теплоноситель

В зависимости от организации движения теплоносителя системы теплоснабжения могут быть замкнутыми, полужамкнутыми и разомкнутыми (тупиковыми).

В замкнутых системах потребитель использует только часть тепла, содержащегося в теплоносителе, а сам теплоноситель вместе с оставшимся количеством тепла возвращается к источнику, где вновь пополняется теплом (двухтрубные закрытые системы).

В полужамкнутых системах потребителем используется и часть поступающего к нему тепла, и часть самого теплоносителя, а оставшееся количество теплоносителя и тепла возвращается к источнику (двухтрубные открытые системы).

В разомкнутых системах, как сам теплоноситель, так и содержащееся в нем тепло полностью используются у потребителя (однотрубные системы).

В централизованных системах теплоснабжения в качестве теплоносителя используются вода и водяной пар, в связи, с чем различают водяные и паровые системы теплоснабжения.

Вода как теплоноситель имеет ряд преимуществ перед паром:

- возможность транспортирования воды на большие расстояния без существенной потери ее энергетического потенциала;
- возможность центрального (у источника тепла) регулирования отпуска теплоты потребителям путем изменения температуры теплоносителя;
- позволяет обеспечить сохранность на ТЭЦ в чистоте конденсата греющего воду пара без устройства дорогих и сложных паропреобразователей;

- меньшая стоимость присоединений к тепловым сетям местных водяных систем отопления или горячего водоснабжения (открытые системы);
- простота эксплуатации – отсутствие у потребителей неизбежных при паре конденсатоотводчиков и насосных установок по возврату конденсата.

Пар имеет следующие преимущества перед водой:

- большая универсальность, заключающаяся в возможности удовлетворения всех видов теплоснабжения, включая технологические процессы;
- меньший расход энергии на перемещение теплоносителя;
- незначительность создаваемого гидростатического давления вследствие малой удельной плотности пара.

#### **1.4. Водяные системы**

В зависимости от числа теплопроводов в тепловой сети водяные системы теплоснабжения могут быть однотрубными, двухтрубными, трехтрубными, четырехтрубными и комбинированными.

Наиболее экономичные однотрубные (разомкнутые) системы (рис. 2.1, *а*) целесообразны только тогда, когда среднечасовой расход сетевой воды, подаваемой на нужды отопления и вентиляции, совпадает со среднечасовым расходом воды, потребляемой для горячего водоснабжения.

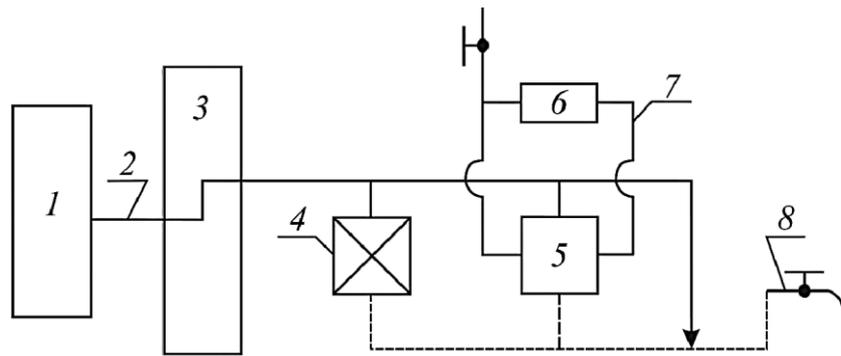
Наибольшее распространение получили двухтрубные системы теплоснабжения: открытые (полузамкнутые) (рис. 2.1, *б*), и закрытые (замкнутые) (рис. 2.1, *в*).

При значительном удалении источника тепла от теплоснабжающего района целесообразно применять комбинированные системы теплоснабжения, представляющие собой сочетание однотрубной системы и полузамкнутой двухтрубной системы (рис. 2.1, *г*).

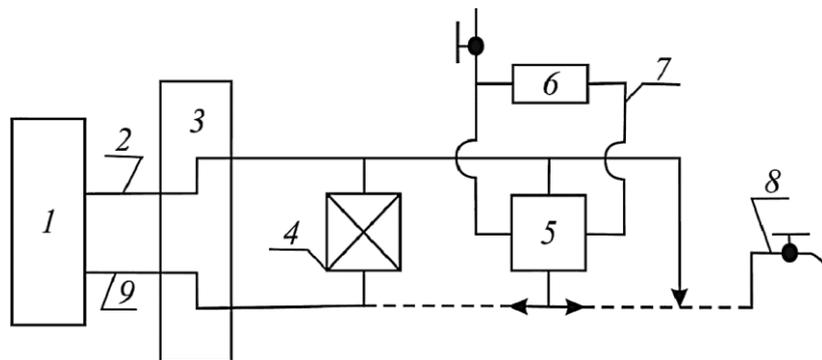
Трехтрубная система применяется в промышленных системах теплоснабжения с постоянным расходом воды, подаваемой на технологические нужды (рис. 2.1, *д*).

Четырехтрубная система из-за большого расхода металла применяется лишь в мелких системах с целью упрощения абонентских вводов. В таких системах вода для местных систем горячего водоснабжения приготавливается непосредственно у источника тепла (в котельных) и по особой трубе подводится к потребителям, поступая в местные системы горячего водоснабжения (рис. 2.1, е).

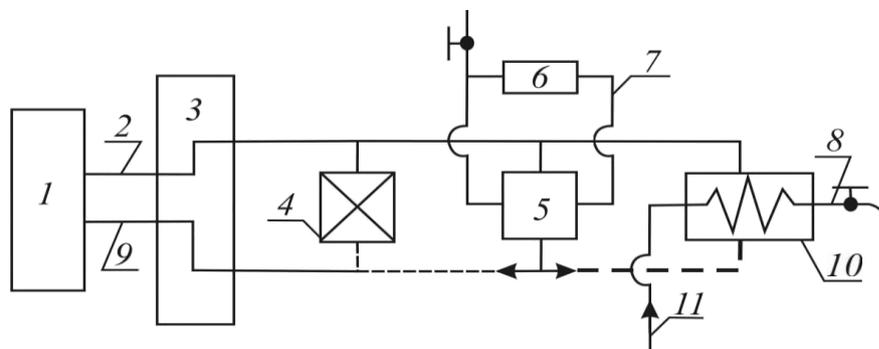
Наиболее распространенные двухтрубные системы теплоснабжения. Они бывают закрытые и открытые. Различаются эти системы технологией приготовления воды для местных систем горячего водоснабжения.



a)

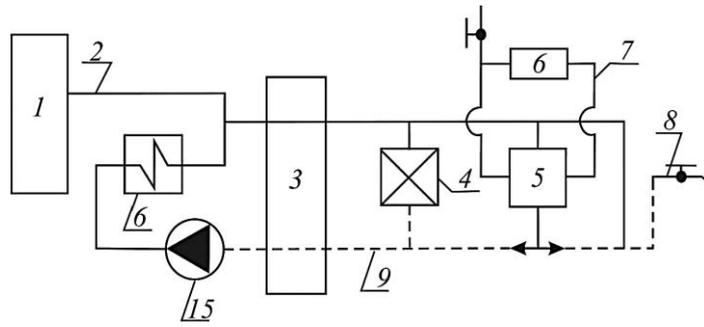


б)

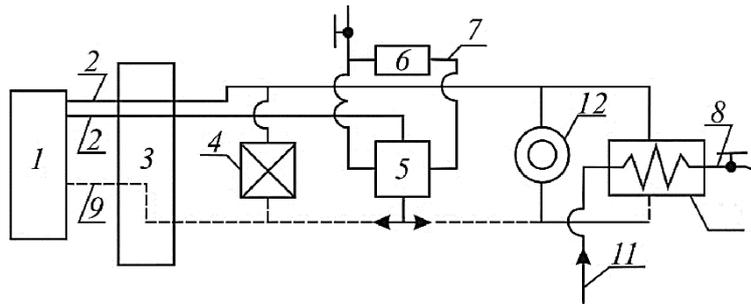


в)

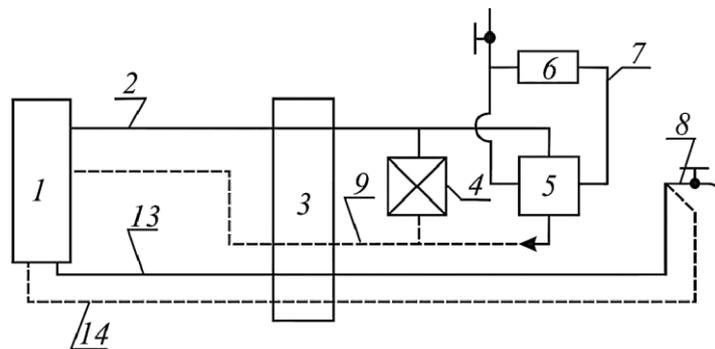
Рис. 2.1. Система теплоснабжения (начало):  
 а – однотрубная разомкнутая система; б – двухтрубная открытая (полузамкнутая) система; в – двухтрубная закрытая (замкнутая) система



г)



д)



е)

Рис. 2.1. Система теплоснабжения (окончание):

г – комбинированная система; д – трехтрубная система; е – четырехтрубная система: 1 – источник тепла; 2 – подающий трубопровод теплосети; 3 – абонентский ввод; 4 – калорифер вентиляции; 5 – абонентский теплообменник отопления; 6 – нагревательный прибор; 7 – трубопроводы местной системы отопления; 8 – местная система горячего водоснабжения; 9 – обратный трубопровод теплосети; 10 – теплообменник горячего водоснабжения; 11 – холодный водопровод; 12 – технологический аппарат; 13 – подающий трубопровод горячего водоснабжения; 14 – рециркуляционный трубопровод горячего водоснабжения; 15 – насос

По сравнению с закрытыми системами, открытые обладают следующими преимуществами:

- простота и дешевизна абонентских вводов;
- используется в больших количествах низкопотенциальное бросовое тепло, которое имеется и на ТЭЦ (тепло конденсаторов турбин), и в ряде отраслей промышленности, что уменьшает расход топлива на приготовление теплоносителя;
- обеспечивается возможность уменьшения расчетной производительности источника тепла путем осреднения расхода тепла на горячее водоснабжение при установке центральных аккумуляторов горячей воды;
- увеличение срока службы местных систем горячего водоснабжения, так как в них из тепловых сетей поступает вода, не содержащая агрессивных газов и солей;
- уменьшают диаметры распределительных сетей холодного водоснабжения (примерно на 16 %), подавая абонентам воду для местных систем горячего водоснабжения по отопительным трубопроводам;
- позволяют перейти к однотрубным системам при совпадении расходов воды на отопление и ГВС.

К недостаткам открытых систем, кроме увеличения затрат, связанных с обработкой большого количества подпиточной воды, можно отнести:

- возможность при недостаточно тщательной обработке воды появления цветности в разбираемой воде, а в случае присоединения радиаторных систем отопления к тепловым сетям через смесительные узлы (элеваторные, насосные) – еще и возможность загрязнения разбираемой воды, и появление в ней запаха вследствие отложения в радиаторах осадков и развития в них бактерий;
- усложнение контроля за плотностью системы, поскольку в открытых системах количество подпиточной воды не характеризует величины утечки воды из системы, как в закрытых системах.

## 1.5. Присоединение потребителей

Эффективность водяных систем теплоснабжения во многом определяется схемой присоединения абонентского ввода, который является связующим звеном между наружными тепловыми сетями и местными потребителями тепла

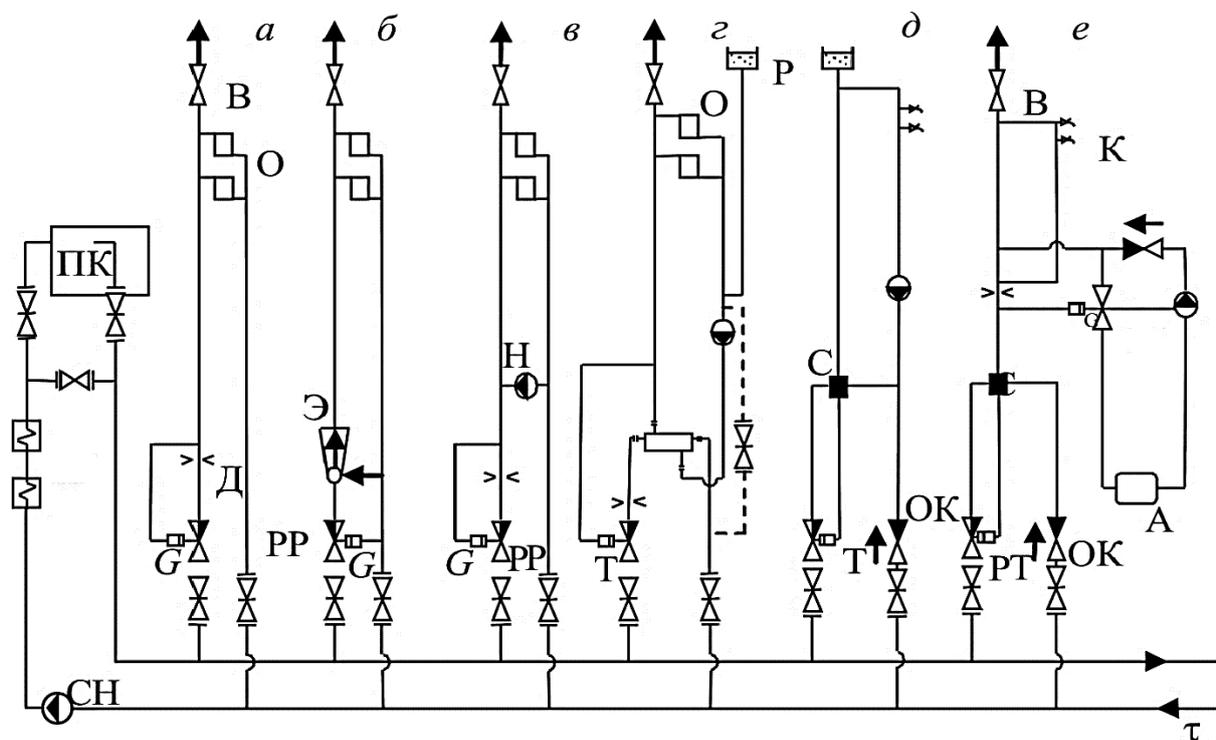


Рис. 2.2. Зависимые схемы отопительных систем:

*а – без смешения; б – с элеваторным смешением; в – с насосным смешением; г – схема систем горячего водоснабжения с теплообменником (независимая схема отопительной системы); д – с верхним баком-аккумулятором; е – с нижним баком-аккумулятором; В – воздушный кран; О – отопительный прибор; Р – расширительный бак; А – аккумулятор; К – водоразборный кран; Д – измерительная диафрагма; Э – элеватор; Н – циркуляционный насос местной системы; С – смеситель; ПК – пиковый котел; ТП – теплофикационный подогреватель; СН, ПН – сетевой и подпиточные насосы; РП, РР, РТ – регуляторы подпитки, расхода и температуры*

Схемы присоединения местных систем отопления по признаку гидравлической связи с тепловыми сетями различаются на зависимые и независимые

В зависимых схемах (рис. 3.1) теплоноситель в отопительные приборы поступает непосредственно из тепловых сетей.

Таким образом, один и тот же теплоноситель циркулирует как в тепловой сети, так и в отопительной системе. Вследствие этого давление в местных системах отопления определяется режимом давления в наружных тепловых сетях.

В независимых схемах присоединения теплоноситель из тепловой сети поступает в подогреватель, в котором его тепло используется для нагревания воды, заполняющей местную систему отопления.

При этом сетевая вода и вода в местной системе отопления разделены поверхностью нагрева, и таким образом сеть и система отопления полностью гидравлически изолированы друг от друга, что используется для защиты местных установок от завышенного или заниженного давления в тепловых сетях, при которых возможно разрушение нагревательных приборов или опорожнение местных систем отопления.

На рис. 2.2 показаны схемы присоединения местных систем отопления и горячего водоснабжения в двухтрубных водяных системах.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Дайте характеристику централизованного энергоснабжения как основного направления развития энергетики.
2. Дайте определение централизованного теплоснабжения.
3. Перечислите основные элементы системы теплоснабжения.
4. Опишите структуру и принцип построения водяных систем.
5. Перечислите виды присоединения местных систем теплопотребления к тепловым сетям в водяных системах теплоснабжения.
6. Дайте характеристику связанного и несвязанного регулирования отпуска тепла на горячее водоснабжение.
7. Перечислите классификации потребителей теплоты и методы определения ее расходов.
8. Перечислите виды определения расхода теплоты жилыми и общественными зданиями по видам теплопотребления.

## Глава 2. ПОТРЕБИТЕЛИ ТЕПЛОТЫ

В настоящее время на долю ГВС жилых, культурно-бытовых и промышленных зданий приходится 20-40 % от общего расхода тепловой энергии, а в районах нового строительства – более 40 %.

Система горячего водоснабжения состоит из источника приготовления горячей воды, трубопроводов, по которым вода от источника поступает к водоразборным приборам потребителей, и приспособлений для регулирования параметров и контроля расхода теплоносителя.

Системы очень разнообразны, классификация производится по многим признакам. По месту расположения источника различаются децентрализованные и централизованные системы ГВС.

Децентрализованные системы обеспечиваются горячей водой от местных источников, размещенных в непосредственной близости от водоразборных приборов.

В централизованных системах горячая вода поступает к большой группе потребителей из внешних тепловых сетей от ТЭЦ и районных котельных или от собственных котельных.

Централизованное горячее водоснабжение от внешних водяных тепловых сетей бывает двух видов: с непосредственным водоразбором в открытых системах теплоснабжения и с нагревом местной водопроводной воды в подогревателях в закрытых системах теплоснабжения.

Централизованное горячее водоснабжение от внешних паровых сетей также может быть двух видов: с нагревом водопроводной воды в пароводяных подогревателях и смешением водопроводной воды с паром.

Если водогрейные установки имеют большую емкость, то горячая вода может подаваться в водоразборные приборы непосредственно. Использование стальных водоразборных котлов большой производительности специально для подогрева воды до 60-75 °С на ГВС технически нерационально из-за повышенной коррозии хвостовых поверхностей нагрева.

Деление по назначению потребителей: жилые, общественные, производственные здания.

Различное гидростатическое давление в стояках горячего водоснабжения многоэтажных зданий требует установки на отводах в квар-

тиры дроссельных шайб или принятия других мероприятий для обеспечения одинаковых избыточных давлений слива воды из водоразборных приборов на разных этажах.

При делении по прокладке труб от местного теплового пункта до водоразборных приборов различают местные системы с верхней и нижней разводкой, тупиковые и с циркуляцией.

Деление по способу циркуляции бывает с естественной и принудительной (насосной) циркуляцией.

При делении по месту аккумулирования горячей воды различают системы с индивидуальным аккумулированием в МТП, групповым аккумулированием в ЦТП или в водогрейных котлах местных котельных, с центральным аккумулированием у источника тепла.

Децентрализованное, или местное, горячее водоснабжение применяется при отсутствии централизованного теплоснабжения или когда возможности централизованного обеспечения горячей водой ограничены. Возможно использование газовых водонагревателей, электрических водонагревателей, водогрейных колонок (уголь, нефть, дрова).

Потребителями тепла системы централизованного теплоснабжения являются:

- теплоиспользующие санитарно-технические системы зданий (системы отопления, вентиляции, кондиционер воздуха, горячего водоснабжения);
- технологические установки, использующие тепло низкого потенциала (до 300-350 °С).

По режиму потребления тепла в течение года различают две группы потребителей:

- сезонные потребители, нуждающиеся в тепле только в холодный период года (зависимость расхода тепла от температуры наружного воздуха);
- круглогодичные потребители.

Потребители, получающие тепло от централизованной системы, называются абонентами этой системы, а расходуемое абонентами тепло – тепловой нагрузкой источника тепла.

Различают три характерные группы абонентов: жилые здания, общественные здания, промышленные здания и сооружения.

Определяющими для проектирования и расчета централизованного теплоснабжения являются максимальные часовые (расчетные) расходы тепла по отдельным видам теплопотребления и суммарные часовые расходы тепла по абоненту в целом с учетом несовпадения часовых максимумов расходов тепла по отдельным видам теплопотребления.

## 2.1. Определение расхода тепла жилыми и общественными зданиями по видам теплопотребления

При проектировании систем теплоснабжения тепловую нагрузку определяют:

- из проектов систем отопления и вентиляции (для существующих зданий);
- тепловых проектов (при перспективном проектировании);
- по укрупненным показателям.

Расчетная тепловая нагрузка системы отопления, Вт, с использованием укрупненных показателей определяется по формуле

$$Q_o = V_n \cdot q_{н.о} (t_b - t_n)$$

где  $V_n$  – объем здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;

$t_b$  – температура внутреннего воздуха, °С;

$t_n$  – температура наружного воздуха, °С;

$q_{н.о}$  – удельные потери тепла через наружные ограждения здания, Вт/м<sup>2</sup>,

$$q_{н.о} \approx 1,1 + \frac{4}{H} + 160 \frac{H}{V_n}$$

где  $H$  – высота здания.

Расход тепла на вентиляцию:

$$Q_v = F_{ж} l_{уд} c (t_{вн} - t_n),$$

где  $F_{ж}$  – жилая площадь, м<sup>2</sup>;

$l_{уд}$  – удельный объем воздуха на 1 м<sup>2</sup> в 1 ч;

$c$  – удельная объемная теплоемкость,  $1,26 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{°C}$ .

Внутренние тепловыделения, к которым относится тепло, выделяемое самими жителями и различными приборами (кухонные плиты, осветительные и электроприборы)

$$Q_{\text{вн}} = F_{\text{ж}} q_{\text{вн}},$$

где  $F_{\text{ж}}$  – жилая площадь помещения, где находится прибор;

$q_{\text{вн}}$  – тепловыделение от нагревательного прибора.

Суммарные теплопотери составят, Вт:

$$Q_{\text{общ}} = Q_0 + Q_{\text{в}} + Q_{\text{вн}}.$$

## 2.2. Часовой и годовой графики потребления теплоты

Продолжительность отопительного периода для жилых и общественных зданий определяется числом дней с температурой наружного воздуха ниже  $+8 \text{ °C}$ .

На рис. 2.1 дан график расхода тепла на отопление и вентиляцию.

Минимальный расход тепла определяют при  $t_{\text{н}} = 8 \text{ °C}$ . Участок прямой соответствует тому случаю, когда максимальный расход тепла на вентиляцию определяется по расчетной температуре наружного воздуха.

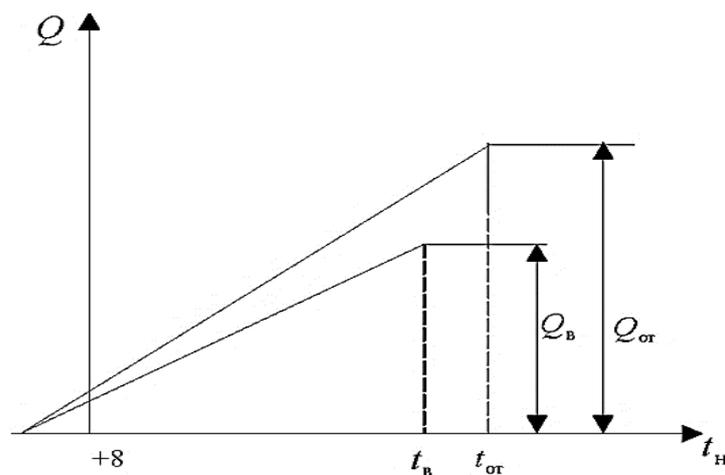


Рис. 2.1. График расхода тепла на отопление и вентиляцию

### 2.3. Круглогодичные тепловые нагрузки

Тепловое потребление для целей горячего водоснабжения в течение года изменяется сравнительно мало, но отличается большой неравномерностью по часам суток (рис. 2.2).

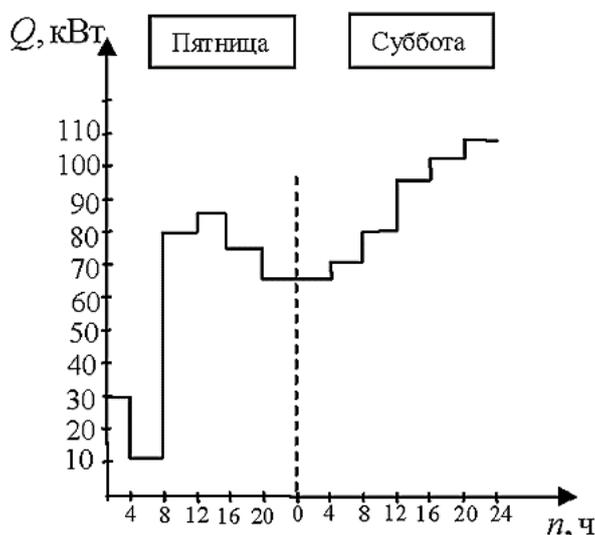


Рис. 2.2. Суточный график расхода тепла на ГВС для жилого района

Летом расход тепла в системах ГВС жилых зданий по сравнению с зимой уменьшается на 30-35 %. Объясняется это тем, что в летнее время температура воды в холодном водопроводе на 10-12 °С выше, чем в зимний период. В выходные дни снижается разбор горячей воды, так как многие выезжают в загородные зоны.

Из графика видно, что тепловые нагрузки на ГВС имеют резкие колебания не только внутри суток, но и в течение недели. Среднюю за отопительный период тепловую нагрузку на ГВС определяют по формуле

$$Q_{\text{ср.ч}} = q_{\text{ч}} m,$$

где  $q_{\text{ч}}$  – среднечасовая тепловая нагрузка на ГВС, приходящаяся на 1 чел., Вт/чел;

$m$  – количество жителей в районе.

## 2.4. Годовые графики тепловых нагрузок

Исследование характера изменения тепловых нагрузок в течение года крайне важно для определения расходов топлива, рационального использования оборудования и проведения технико-экономических расчетов.

Годовой график (рис. 2.3) строится на основе часовых графиков расхода тепла на отопление, вентиляцию и ГВС.

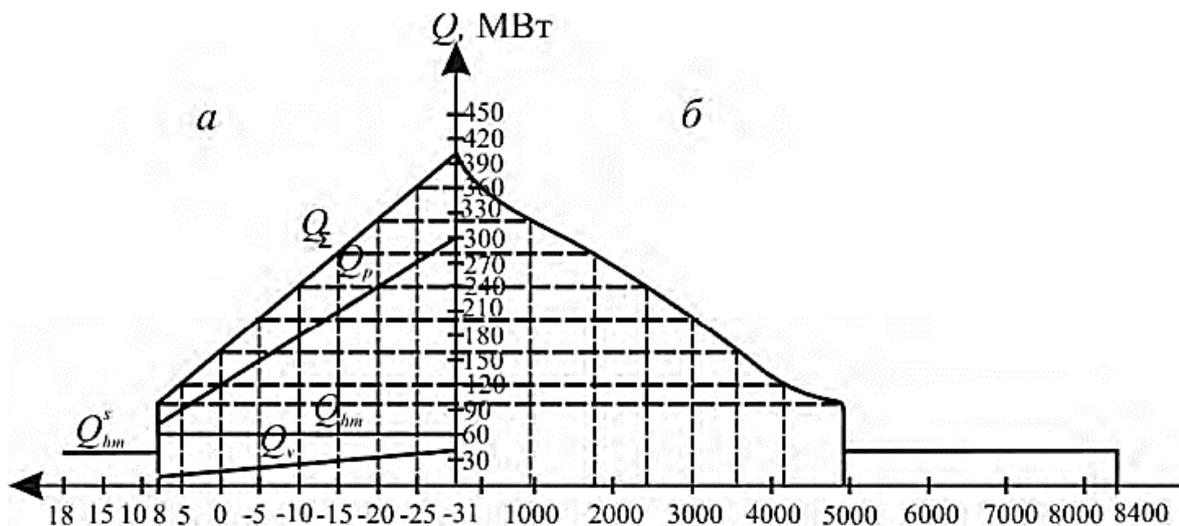


Рис.2.3. Годовой график расхода тепла

Площадь, ограниченная годовым графиком, равна годовому количеству теплоты, необходимому потребителям, если построить равновеликий прямоугольник с основанием, равным продолжительности отопительного сезона, то высота его равна нагрузке в течение отопительного сезона. Если построить равновеликий прямоугольник с высотой максимальной нагрузки, то основание будет равно числу часов минимума тепловой нагрузки.

При известном значении расхода тепла и известном годовом количестве теплоты легко определить потребность в топливе. Важнейшей задачей при определении расчетных расходов тепла промышленными предприятиями является выявление и использование для нужд теплоснабжения отходов технологического тепла. Для определения расходов тепла сельскохозяйственной зоны существуют Нормы технологического проектирования сельского хозяйства.

## 2.5. Присоединение нагрузки

Переход тепла из тепловых сетей в местные системы теплопотребления происходит или без снижения потенциала тепла, или с его снижением.

Без снижения потенциала тепла или с его с незначительным снижением в водяных системах присоединяются калориферы систем вентиляции и систем отопления производственных помещений.

Максимальная температура воды в тепловой сети обычно равна 150 °С, изредка 180-190 °С.

По санитарно-гигиеническим требованиям в системе отопления температура не должна превышать 95-105 °С, в системе ГВС – 75 °С.

Для снижения потенциала тепла применяются теплообменные устройства (теплообменники) смешительного и поверхностного типа.

Смесительные узлы бывают элеваторные и насосные.

Элеваторные объединяют две функции (рис. 2.4): служат смесителем и побудителем циркуляции воды в местной системе отопления (разработчик В.М. Чаплин, 1931).

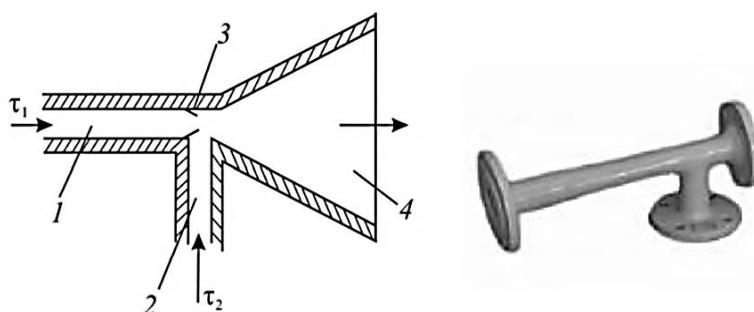


Рис. 2.4. Схема элеватора:

1 – сопло, подача воды,  $\tau_1$ ; 2 – ввод подмешиваемой воды,  $\tau_2$ ;  
3 – камера выравнивания скорости; 4 – диффузор

К недостаткам элеваторных смесительных узлов можно отнести:

- малый КПД, для создания разности давлений возникает необходимость увеличения мощности располагаемого у источника тепла циркуляционного насоса;
- невозможность автономной циркуляции воды при аварийном прекращении циркуляции в тепловой сети;

- жестко связанные гидравлический и температурный режимы. (решается внедрением элеваторов «с регулируемым соплом»).

В качестве смесительного узла также применяют (рис.2.5) подмешивающие насосы либо поверхностные теплообменники отопления:

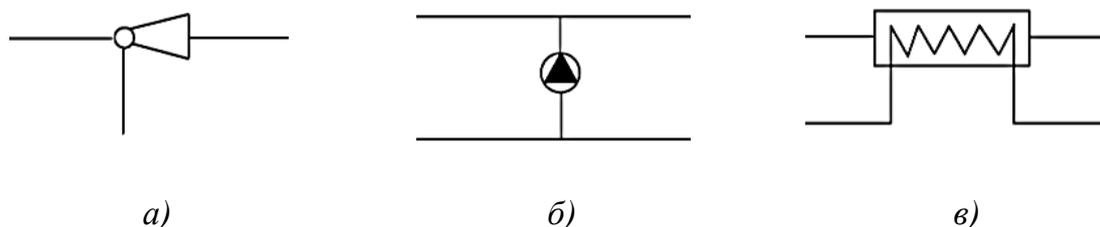


Рис. 2.5. Присоединения со снижением потенциала:  
а – элеваторные; б – насосные; в – теплообменник

Достоинства независимой схемы присоединения:

- возможность применения в тепловых сетях более высокотемпературного теплоносителя (вскипание воды в сопле элеватора, шум);
- возможность изменения расхода и температуры воды в тепловой сети;
- автономность циркуляций воды в системе отопления;
- в открытых системах – меньшая загрязненность воды на ГВС, так как отбор происходит до приборов системы отопления.

## 2.6. Подбор элеватора и смесительных насосов

Элеватор работает следующим образом: высокотемпературная вода с большим запасом кинетической энергии выходит из сопла (рис. 2.4) в виде струи. Активная рабочая струя захватывает пассивные массы окружающей воды, и образовавшийся смешанный поток движется в проточной части аппарата, где происходит выравнивание полей скоростей потока и смешивание. Затем он поступает в диффузор, где тормозится и увеличивается его статическое давление.

Конструкцию элеватора подбирают по диаметру горловины, так как она определяет размеры самого элеватора, но возможна и замена горловины. Подбор элеватора следующий.

Требуемый располагаемый напор для работы элеватора  $H_{эл}$ , м, определяется по формуле

$$H_{эл} = 1,4 \cdot h (U_p + 1)^2,$$

где  $h$  – потери напора в системе отопления, принимаемые 1,5-2 м;

$U_p$  – расчетный коэффициент смешения, определяемой по формуле

$$U_p = \frac{\tau_1 - \tau_3}{\tau_1 - \tau_2}.$$

Расчетный коэффициент смешения для температурного графика 150–70 равен  $U_p = 2,2$ ; для графика 140–70  $U_p = 1,8$ ; для графика 130–70  $U_p = 1,4$ .

Диаметр горловины камеры смешения элеватора  $d_r$ , мм, при известном расходе сетевой воды на отопление  $G$ , т/ч, определяется по формуле

$$d_r = 8,5 \sqrt[4]{\frac{G^2 (1 + U_p)^2}{h}}.$$

Диаметр сопла элеватора  $d_c$ , мм, при известном расходе сетевой воды на отопление  $G$ , т/ч, и располагаемом напоре для элеватора  $H$ , м, определяется по формуле

$$d_c = 9,6 \sqrt{\frac{G}{\sqrt{H}}}.$$

Величина напора  $H$ , м, гасимого соплом элеватора не может, во избежание возникновения кавитационных режимов, превышать 40 м. Для определения диаметра сопла элеватора, его номера, требуемого напора могут быть использованы номограммы, приведённые в справочной литературе [5].

Насосная схема смешения позволяет более точно, чем элеваторная, поддерживать необходимую температуру воздуха в отапливаемых помещениях. Смесительные насосы подбирают по заводским характеристикам, насос должен обеспечивать заданную подачу и напор.

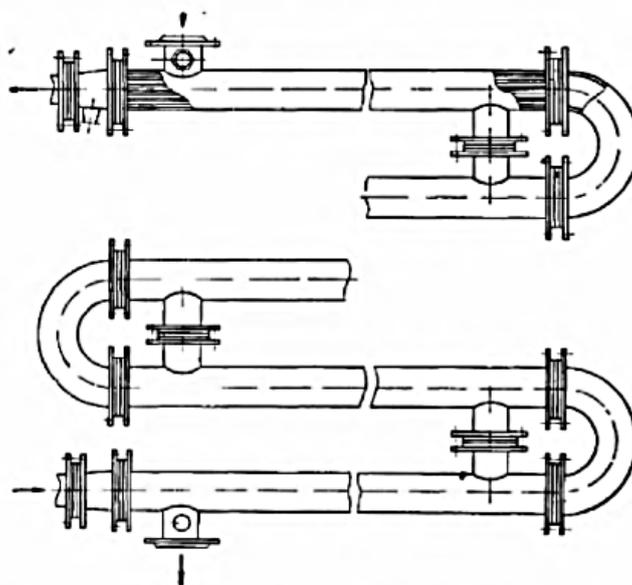
Для циркуляции устанавливают по два одинаковых насоса с системой автоматики для включения резервного. Для снижения шума и вибрации предусматривают специальные опоры и вставки.

## 2.7. Конструкции теплообменных аппаратов

В тепловых пунктах устанавливают водоподогреватели различных типов и конструкций. В зависимости от вида (среды) делят на водяные и пароводяные. Нагреваемой средой является вода.

По конструктивным признакам водоподогреватели подразделяются на кожухотрубные и пластинчатые.

В кожухотрубных основным конструктивным элементом является цилиндрический корпус и пучок гладких труб – такие водоподогреватели называются скоростными (рис. 2.6).



*Рис. 2.6. Водно-водяной скоростной секционный подогреватель*

Водно-водяные подогреватели, у которых потоки греющей и нагреваемой воды движутся навстречу, – противоточные (они более эффективны прямоточных).

По ориентации оси корпуса делятся на горизонтальные и вертикальные. Используется в большинстве случаев горизонтальные.

Если пучок труб погружён в ёмкость, заполненную водой, то такой теплообменник называется ёмкостным.

Пластинчатые водоподогреватели состоят из пластин, расположенных параллельно друг другу (рис. 2.6).

Между поверхностями двух смежных пластин создаются зазоры щелевидной формы, по которым движутся потоки греющей и нагреваемой сред.

Разборная конструкция подогревателей (рис. 2.8) позволяет достаточно легко и быстро производить чистку поверхностей пластин от слоя накипи. Группа пластилин (рис. 2.9), образующих систему каналов, в которых рабочая среда движется только в одном направлении, составляет пакет.

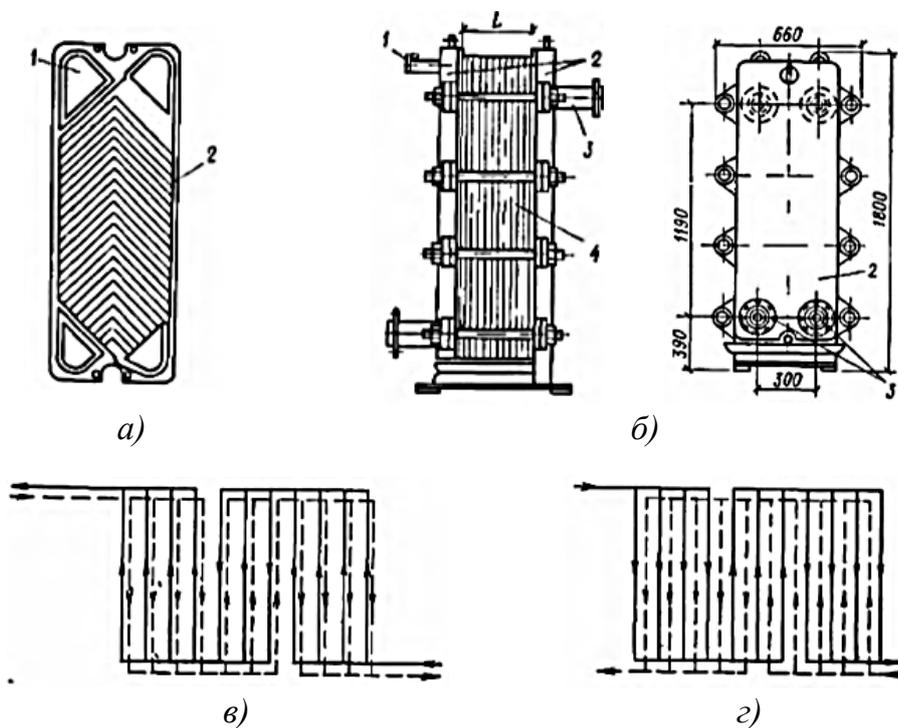


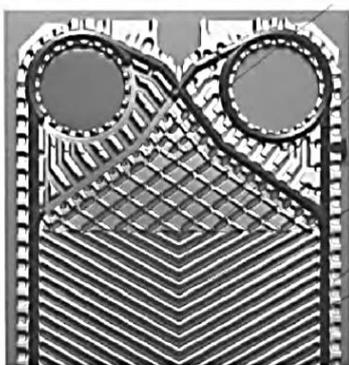
Рис. 2.7. Пластинчатый водоподогреватель:

*а* – пластина с гофрами в «елку»: 1 – отверстие для входа и выхода воды; 2 – резиновая прокладка; *б* – подогреватель в сборе: 1 – штанга; 2 – передняя и задняя стойки; 3 – штуцера, пластины; 4 – пластины; *в* – симметричная схема компоновки пластин; *г* – несимметричная схема компоновки пластин; передняя и задняя стойки

Исходя из теплового расчета, определяется необходимая площадь поверхности нагрева при заданной тепловой производительности.



*Рис. 2.8. Пластинчатый водоподогреватель в сборе*



*Рис. 2.9. Пластина водонагревателя*

Для определения потери давления используется расчёт. Потери напора в подогревателе

$$H_{\text{пд}} = n t \omega_{\text{тр}}^2 n_{\text{п}} ,$$

где  $n$  – безмерный коэффициент, учитывающий увеличение потерь напора за счёт зарастания труб (принимается равным 4);

$t$  – коэффициент гидравлического сопротивления одной секции скоростного подогревателя ГВС (принимается равным 0,75 при длине секции 4 м);

$n_{\text{п}}$  – число секций подогревателя;

$\omega_{\text{тр}}$  – скорость движения воды в трубах подогревателя без учета их зарастания.

Подогреватели должны обеспечивать заданную теплопроизводительность при любых температурных режимах сетевой воды. Наиболее

неблагоприятный режим соответствует точке излома температурного графика регулирования. Расчетные расходы нагреваемой холодной водопроводной воды для горячего водоснабжения  $G_{хв} = G_{ч}$  и греющей сетевой воды  $G_{гр.в} = G_{ГВ}^{макс}$ . Задавая скорость воды в межтрубном пространстве подогревателя 1 м/с, найдём ориентировочно площадь сечения межтрубного пространства, м<sup>2</sup> (при  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>).

$$f_{MT} = \frac{G_{гр.в}}{3600 \omega_{MT} \rho'}$$

где  $G_{гр.в}$  – расчётный расход сетевой воды на ГВС, кг/ч.

По табл. 2.1 выбираем подогреватель так, чтобы расчётное значение  $f_{MT}$  было ближайшим к табличному значению и несколько превышало его.

Для выбранного типоразмера подогревателя определяют скорость воды, м/с, в трубках и межтрубном пространстве

$$\omega_{тр} = \frac{G_{хв}}{3600 f_{тр} \rho'}$$

$$\omega_{MT} = \frac{G_{гр.в}}{3600 f_{MT} \rho'}$$

**Таблица 2.1**

*Технические характеристики водо-водяных секционных подогревателей по ГОСТ 27590-88 (длина секции 4000 мм)*

Наружный диаметр корпуса, мм	Тепловой поток, кВт	Поверхность нагрева секции $F_c$ , м <sup>2</sup>	Площадь проходного сечения $d$ , м <sup>2</sup>		Эквивалентный диаметр межтрубного пространства, $d_3$ , м
			трубок, $f_{тр}$	межтрубного прост-ва, $f_{MT}$	
57	17,6	0,75	0,00062	0,00116	0,0129
76	28,3	1,32	0,00108	0,00233	0,0164
89	4,1	1,88	0,00154	0,00327	0,0172
114	35,7	3,58	0,00293	0,00500	0,0155
168	147,5	6,98	0,00570	0,01220	0,0190

Средние значения температуры нагреваемой и греющей воды, °С, в подогревателе определяются

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_x + t_r),$$

$$\tau_{\text{ср}} = 0,5(\tau_1''' + \tau_{2r}''').$$

Коэффициенты теплоотдачи от греющей воды к поверхности стенок трубок  $\alpha_{\text{MT}}$  и от внутренних стенок трубок к нагреваемой холодной воде  $\alpha_{\text{TP}}$ , Вт/(м<sup>2</sup> · °С), определяются по формулам

$$\alpha_{\text{MT}} = (1630 + 21 \cdot \tau_{\text{ср}} - 0,041 \cdot \tau_{\text{ср}}^2) \frac{\omega_{\text{MT}}^{0,8}}{d_{\text{вн}}^{0,2}},$$

$$\alpha_{\text{TP}} = (1630 + 21 \cdot t_{\text{ср}} - 0,041 \cdot t_{\text{ср}}^2) \frac{\omega_{\text{TP}}^{0,8}}{d_{\text{вн}}^{0,2}},$$

где  $d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр трубок,  $d_{\text{вн}} = 14$  мм.

Коэффициент теплопередачи  $k_{\text{п}}$ , Вт/(м<sup>2</sup> · °С), с учетом коэффициента загрязнения поверхности

$$k_{\text{п}} = \frac{\beta_3}{\frac{1}{\alpha_{\text{MT}}} + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{TP}}}},$$

где  $\delta_{\text{СТ}}$  – толщина стенки, 0,001м;

$\lambda_{\text{СТ}}$  – теплопроводность материала стенки, 110 Вт/(м · °С);

$\beta_3$  – коэффициент загрязнения, принимаемый равным 0,85.

Необходимая площадь поверхности нагрева, м<sup>2</sup>, определяется по формуле

$$F = \frac{Q_{\text{гр.в}}}{k_{\text{п}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}^{\text{лог}}}.$$

Средне логарифмический температурный напор в подогревателе, °С

$$\Delta t_{\text{ср}}^{\text{лог}} = \frac{(\tau_{2r}''' - t_x) - (\tau_1''' - t_r)}{\ln \frac{\tau_{2r}''' - t_x}{\tau_1''' - t_r}}.$$

Количество секций в подогревателе

$$n_{\text{п}} = \frac{F}{F_{\text{с}}}$$

Полученное значение  $n_{\text{п}}$  округляется до целого числа в большую сторону.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Приведите пример часового и годового графика потребления тепла.
2. Охарактеризуйте круглогодичные тепловые нагрузки.
3. Дайте характеристику годового графика тепловых нагрузок.
4. Опишите тип элеваторного присоединения.
5. Дайте характеристику достоинств независимой схемы присоединения.
6. Как осуществляется подбор элеватора и смесительных насосов.
7. Опишите конструкции теплообменных аппаратов.
8. Перечислите основные требования к качеству горячей воды.
9. Назовите санитарное оборудование систем горячего водоснабжения.

### **Глава 3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГВС**

Горячая вода, подаваемая потребителям, должна соответствовать ГОСТ Р 51232–98 «Вода питьевая».

Температура воды обуславливается санитарно-гигиеническими нормами. За нижний предел принимается «температуры пастеризации», равная 60 °С (погибает большинство болезнетворных бактерий). Верхний предел ограничивается 75 °С во избежание получения ожогов. СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» пп. 7.6 регламентирует (температура в точке водоразбора):

- не ниже 50 °С для систем ГВС, присоединяемым к закрытым системам теплоснабжения;
- не ниже 60 °С – к открытым системам.

Вопрос о необходимости предварительной обработки воды во избежание образования в подогревателях и местных системах ГВС коррозии и накипи возникает только при закрытых системах, так как при открытых – вода поступает из тепловых сетей, прошедшая необходимую обработку у источника тепла. Существуют требования: кислород  $\leq 0,1$  мг/л, взвеси  $\leq 5$  мг/л; карбонат  $\leq 1,5$  мг/л.

#### **3.1. Санитарное оборудование систем горячего водоснабжения**

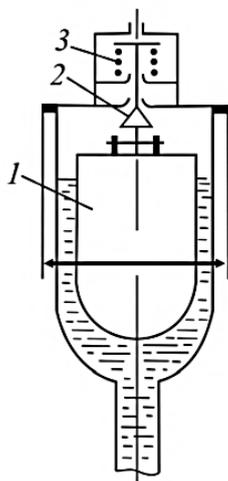
Система ГВС монтируется из стальных оцинкованных труб, если  $d > 150$  мм из обычных электросварных труб по ГОСТ 10704-91. Допускается применение пластиковых труб.

Стальные трубы соединяют сваркой или на резьбе, резьбовые – с помощью соединительных фитингов. Соединение уплотняют льняной прядью, пропитанной свинцовым суриком, разведённым натуральной олифой.

Арматуру, используемую в системах ГВС, разделяют на трубопроводную и водоразборную.

К трубопроводной относят задвижки, вентили, клапаны, которые изготавливаются из стали, серого и ковкого чугуна, бронзы и термостойких пластмасс. Для удаления воздуха из верхних точек системы применяют воздухоотводчики или различные воздухоотводчики (рис. 3.1).

Водоразборная арматура – разнообразных конструкций. Смесители для ванн имеют дополнительную душевую сетку, присоединённую к верхней части корпуса. Ваннные и душевые оборудуются керамическими умывальниками, ваннами, душевыми поддонами.



*Рис. 3.1. Воздухоотводчик:*

*1 – поплавок; 2 – клапан; 3 – пружина*

Полотенцесушители собираются из латунных или водопроводных труб наружным диаметром до 38 мм.

### **3.2. Системы горячего водоснабжения**

Наиболее простыми и дешевыми являются бес циркуляционные (тупиковые) системы, состоящие только из подающих трубопроводов (рис. 3.2, а).

Основным недостатком является остывание воды в трубопроводах при перерывах или малом водоразборе. Происходят бесполезная потеря воды, тепла и перегрузка канализации. Рекомендуются устанавливать в прачечных, банях, технологических установках для небольших потребителей. В остальных случаях используют циркуляционную схему (рис. 3.2, б).

Для малоэтажных, непротяжённых зданий возможно использование системы без насоса.

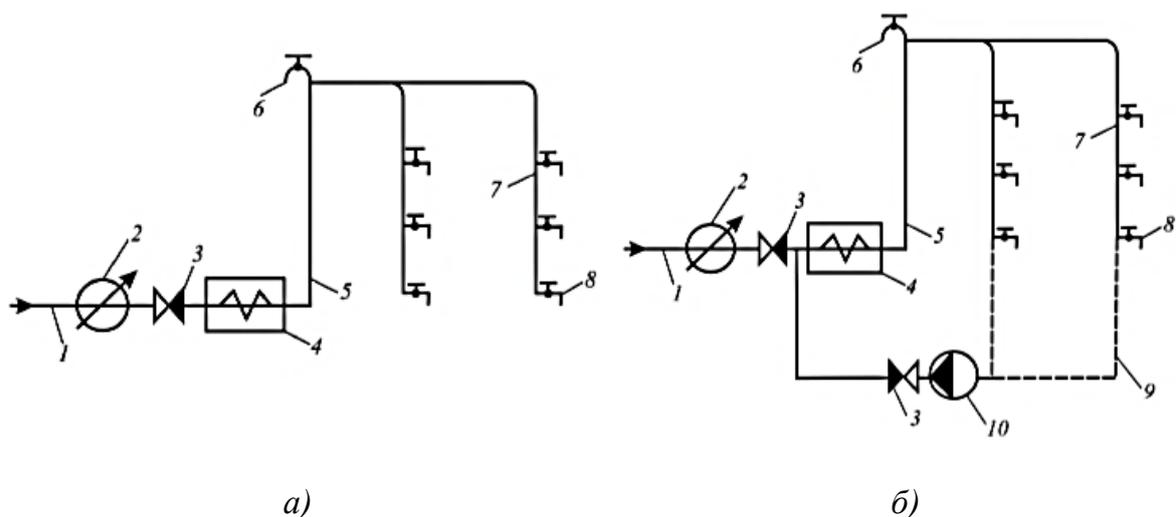


Рис. 3.2. Схема систем горячего водоснабжения:

*а* – схема тупиковой системы ГВС; *б* – схема циркуляционной системы ГВС: 1 – водопровод; 2 – счетчик; 3 – обратный клапан; 4 – теплообменник; 5 – основной стояк; 6 – воздухохоборник; 7 – водоразборный стояк; 8 – водоразборные краны; 9 – циркуляционные трубопроводы; 10 – циркуляционный насос

По расположению подающей (разводящей) магистрали внутри здания различают системы с верхней и нижней разводкой.

Верхнюю разводку наиболее часто применяют при установке открытых (верхних) баков-аккумуляторов и при наличии в здании верхнего технического этажа или чердака. Циркуляционную магистраль прокладывают в подвалах или подпольных котлах.

При наличии подвала предпочтительней нижняя разводка как более удобная при эксплуатации (рис. 3.3).

В зданиях высотой более 50 м ( $\approx$  16 этажей) систему ГВС делят по вертикали на зоны с самостоятельными разводками и отдельными стояками для каждой зоны.

Согласно СНиП II-34-76 для ряда помещений должны устанавливаться полотенцесушители (рис. 3.4).

Подающий стояк с ответвлениями в сочетании с полотенцесушителями и подводками в квартиру – водоразборный узел. Для зданий повышенной этажности применяют узел из двух закольцованных стояков (рис. 3.5, 3.6). Оба стояка унифицированы, собраны из труб одного диаметра, что облегчает и удешевляет монтаж, но увеличивает расход, что является негативной стороной.

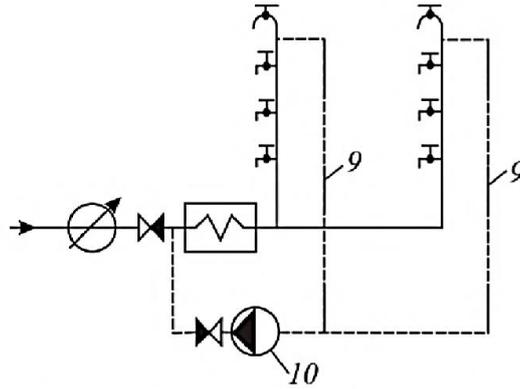


Рис. 3.3. Система с нижней разводкой

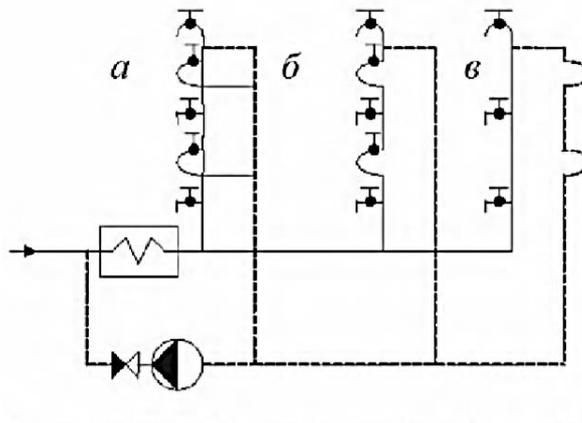


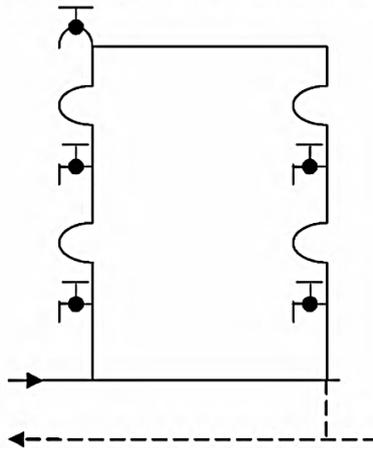
Рис. 3.4. Схема водоразборных узлов с различным присоединением полотенцесушителей к стоякам:

*а* – параллельное; *б* – последовательное с установкой на подаче;  
*в* – последовательное с установкой на циркуляционном стояке

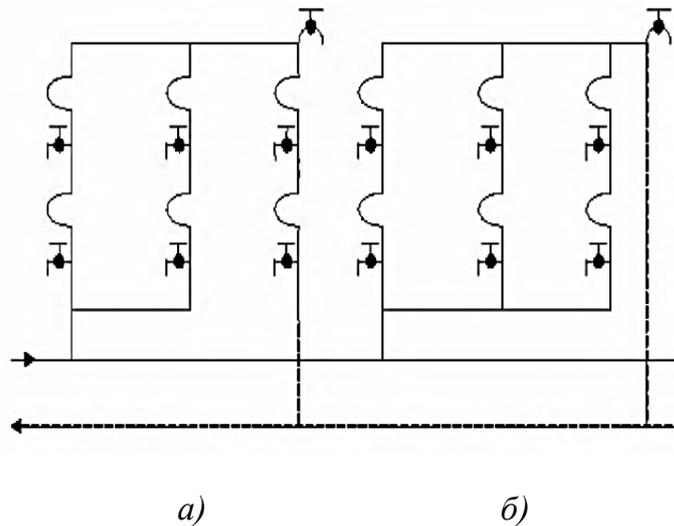
Различают системы ГВС ещё и по наличию или отсутствию баков-аккумуляторов горячей воды.

Аккумуляторы позволяют уменьшить расчетный расход тепла, что удешевляет не только источник тепла, но и тепловые сети.

В закрытых системах теплоснабжения аккумуляторы устанавливаются в ЦТП или ИТП, в открытых системах – у источника тепла и абонентов в ИТП.



*Рис. 3.5. Водоразборный узел с парно закольцованными стояками*



*Рис. 3.6. Потенциальные закольцованные стояки:  
а – с водоразборным циркуляционным стояком;  
б – с дополнительным циркуляционным стояком*

В местных системах ГВС аккумуляторы могут располагаться в верхней или нижней точке системы. По принципу аккумуляции тепла делятся на аккумуляторы с постоянной температурой и переменным объемом и с переменной температурой и постоянным объемом.

Делят также на открытые, сообщающиеся с атмосферой, и закрытые, находящиеся под давлением (рис. 3.7, 3.8).

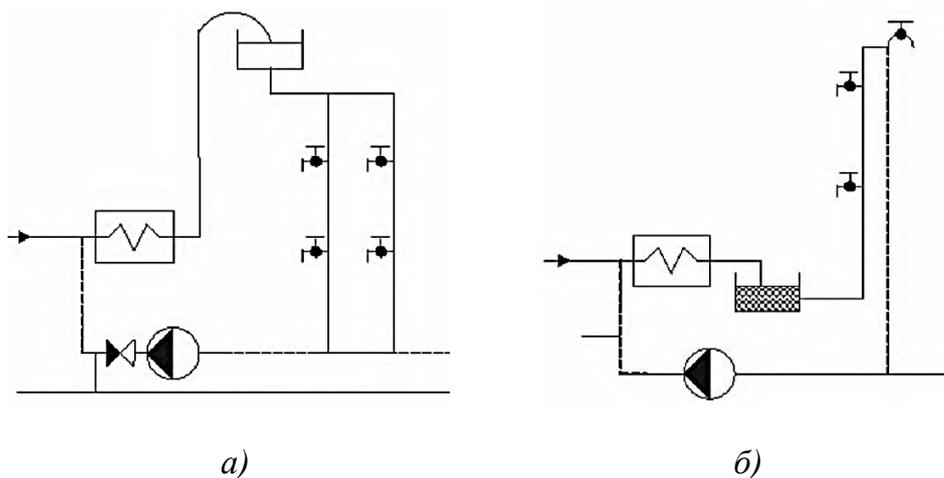


Рис. 3.7. Схема включения открытых баков-аккумуляторов:  
а – верхний; б – нижний

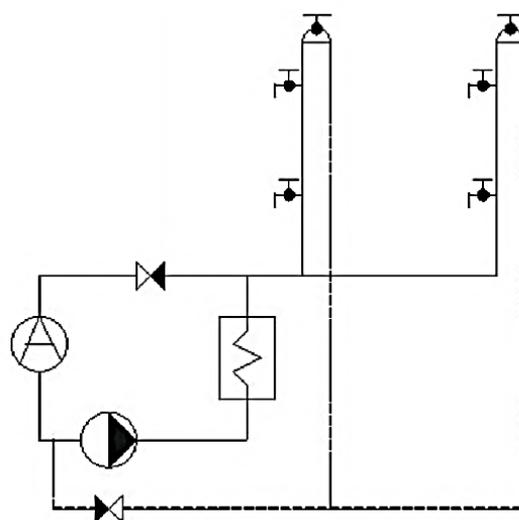


Рис. 3.8. Схема включения закрытого бака-аккумулятора

В небольших тупиковых системах применяют аккумуляторы продавливания (душевые на промышленных предприятиях). Они бывают со встроенным подогревателем и с выносным подогревателем.

### 3.3. Расчет местных систем горячего водоснабжения

По исходным данным о типе, числе и расположении в здании водоразборных приборов и на основании принятых по проектируемой системе ГВС решений составляют расчётную аксонометрическую схему трубопроводов системы.

Гидравлический расчёт выполняют с целью определения диаметров, необходимого давления и исходных данных для подвода циркуляционного насоса.

Для определения диаметров производят нумерацию отдельных участков с указанием их длин.

Расчетный секундный расход определяется по СНиП II-34-76, зависит он от числа одновременно работающих приборов и их технических характеристик.

При известном расходе диаметр на участке подбирают по допускаемой (шумо образование) скорости, в разводящих трубах – не более 1,5 м/с, в подводах к приборам  $\leq 2,5$  м/с. Учитывают также корректирующий коэффициент на образование накипи.

Потери давления на отдельных участках сети  $\Delta p$ , Па, определяют по формуле

$$\Delta p = R \cdot L(1 + K_T),$$

где  $R$  – удельные потери на 1 м длины трубопровода, Па/м;

$L$  – длина участка, м;

$K_T$  – коэффициент дополнительных сопротивлений по (СНиП II-34-76).

Гидравлический расчет системы ведут сначала по наиболее длинной ветви системы с наиболее высокорасположенным прибором. затем рассчитывают ответвления, исходя из давления в точке их присоединения к магистрали.

Невязка потерь давления по ответвлениям и соответствующим частям ветви не должна превышать 10%. Если невязка не соответствует 10%, то необходимо либо ставит дросселирующую шайбу, либо увеличивать диаметр труб.

Необходимо также учитывать циркуляционный расход для предотвращения остывания горячей воды в трубопроводах при незначительном водоразборе.

Диаметры трубопроводов системы ГВС, по которым вода подаётся к водоразборным приборам, следует принимать, исходя из условия обеспечения подачи необходимого количества горячей воды с требуемой температурой в наиболее удалённые и высоко расположенные точки водоразбора с максимальным использованием располагаемого напора в системе.

В гидравлическом расчёте потери напора, м, на расчетных участках определяются по формуле

$$\Delta H = i l_p = i (l + l_э) 10^{-3},$$

где  $i$  – удельные потери напора на трение при расчетном расходе воды с учетом зарастания труб, мм/м, принимается по номограмме (СНиП 41-02-2003);

$l_p$  – расчетная длина участка трубопровода, м;

$l$  – фактическая длина участка трубопровода, м;

$l_э$  – эквивалентная длина участка трубопровода, м;

$$l_э = \psi l,$$

где  $\psi$  – коэффициент местных потерь напора, принимается для подающих трубопроводов и циркуляционных стояков – 0,2, для водоразборных стояков с полотенцесушителями – 0,5.

Расчёт начинают с главного циркуляционного контура (расчётной магистрали), который начинается от подогревателя ГВС и проходит через наиболее удалённый стояк. Далее рассчитываются ответвления от главного циркуляционного контура к другим присоединенным стоякам. При выполнении гидравлического расчета необходимо следить, чтобы потери напора в наиболее удалённой стояке не превышали величины 2-4 м. Суммарные потери напора в системе ГВС не должны превышать величины располагаемого напора. В противном случае необходимо устанавливать повышающий насос.

Располагаемый напор в точке присоединения системы горячего водоснабжения к трубопроводу, подающему холодную воду, следует определять по формуле

$$H_p = H_B - H_{\text{геом}} - \sum H_{\text{нап}} - H_{\text{св}},$$

где  $H_B$  – напор воды на вводе в здание, м;

$H_{\text{геом}}$  – геометрическая высота подачи воды от оси трубопровода, подающего холодную воду, до оси наиболее высоко расположенного прибора, м;

$\sum H_{\text{нап}}$  – сумма потерь напора в системе ГВС здания, которая складывается из потерь в тепловом узле здания и системе трубопроводов, м;

$H_{св}$  – свободный напор, м, у санитарно-гигиенического прибора принимается равным 2 м для раковин, моек, смесителей умывальников и 3 м – для смесителей ванн и душевых кабинок.

При выполнении гидравлического расчета необходимо обеспечивать увязку потерь напора в других системах. Суммарные потери напора в следующей расчетной паре стояков должны быть равны располагаемому напору в точке их присоединения к подающей и циркуляционной магистралям. Это достигается соответствующим подбором диаметров циркуляционных стояков и увеличением циркуляционного расхода горячей воды в них, но не более чем на 30 %. В итоге потери напора в обоих стояках по абсолютному значению не должны отличаться более чем на 10 % от располагаемых напоров в точке их присоединения.

При невозможности увязки потерь напора в стояках путем подбора диаметров на циркуляционных стояках должны устанавливаться дроссельные диафрагмы с диаметром отверстия не менее 10 мм. Если расчетный диаметр отверстия диафрагмы менее 10 мм, то вместо диафрагм на циркуляционном стояке устанавливаются регулирующие краны.

Необходимый диаметр, мм, диафрагмы определяется по формуле

$$d_d = 20 \sqrt{\frac{G_{ц}}{0,0316 \sqrt{H_{изб}} + 350 \cdot G_{ц}/d^2}},$$

где  $G_{ц}$  – циркуляционный расход, л/с;

$H_{изб}$  – избыточный напор, который необходимо погасить диафрагмой м;

$d$  – внутренний диаметр трубопровода, мм.

Если напор воды на вводе в здание недостаточен, то устанавливаются повысительные насосы, которые подбираются по суммарному расходу воды:

$$G_{пв} = G_c + G_{ц}$$

и суммарной потере напора

$$H_{пн} = H_{геом} + \sum H_{нап} + H_{св} - H_{в}.$$

Устанавливается не менее двух насосов, один из которых резервный.

После определения диаметров трубопроводов проверяется правильность расчета теплотерь, циркуляционных расходов и делаются необходимые исправления. Неточность в определении циркуляционных расходов приводит обычно только к увеличению диаметров начальных участков циркуляционной сети.

### **3.4. Коррозия и накипеобразование**

В системах теплоснабжения внутренняя коррозия трубопроводов и оборудования приводит к сокращению срока их службы, авариям. С одной стороны, соли и шлам ухудшают работу системы, с другой – препятствуют проникновению кислорода к металлу и, следовательно, защищают его от коррозии. Поэтому в тепловых сетях нецелесообразно применять воду, полностью очищенную от солей.

Основными направлениями борьбы с коррозией являются: 1) снижение коррозионной активности воды за счет уменьшения содержания в ней агрессивных компонентов; 2) повышение антикоррозионной стойкости за счет покрытия поверхности специальными пленками; 3) изготовление элементов теплоснабжения из материалов, устойчивых против коррозии.

Для снижения коррозионной активности воды применяются два способа: физический – удаление агрессивных газов путем деаэрации и химический – связывание агрессивных компонентов химическими реагентами. Деаэрация наиболее распространена, в зависимости от параметров греющей среды применяют термические деаэраторы атмосферного и вакуумного типов.

Для связывания агрессивной углекислоты применяется щелочная обработка воды известью, содой, а для связывания избыточного кислорода воду обрабатывают сульфатом натрия, гидразином.

Для защиты на внутреннюю поверхность наносят защитный слой из некорродирующих веществ – защитные пленки из карбоната кальция, окиси силиция либо цинковое и эмалевое покрытия.

Срок службы оцинкованных труб в 2–3 раза дольше, чем стальных.

Предотвращение образования шлама и накипи в системах теплоснабжения производится вследствие подпитки тепловых сетей умягченной водой или водой со стабильной жесткостью.

Подготовка умягченной воды производится следующим образом: обработка воды в катионитовых фильтрах, щелочная обработка известью и содой, магнитная обработка.

Стабилизированная жесткость производится при обработке серной или соляной кислотами или путем удаления  $\text{CO}_2$  аэрацией на вентиляционной градирне (декарбонизаторе).

Монтаж и эксплуатацию систем ГВС необходимо производить по СНиП 3.05.01-85, СН 478-80, СНиП 3.01.01-85, СНиП Ш-4-80, СНиП Ш-3-81.

### **3.5. Энергосбережение в системах горячего водоснабжения**

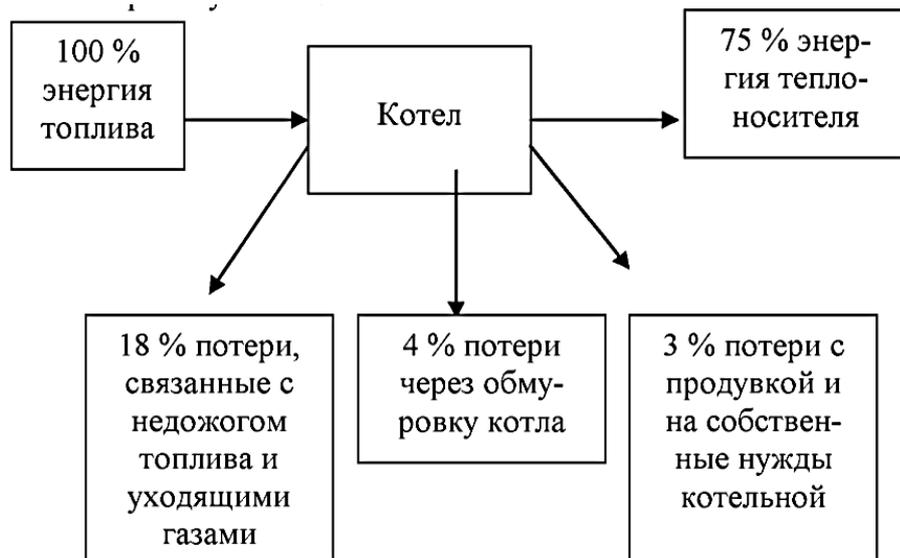
Любую тепловую систему можно разбить на следующие участки: 1) производства тепла; 2) транспортировки тепловой энергии; 3) потребления.

Неявные дополнительные потери могут достигать 25 %. Для снижения этих потерь необходимо использовать алгоритм повышения экономичности работы.

Потери на третьем участке: из-за отсутствия рециркуляции горячей воды – до 25 %; из-за неработоспособности регуляторов – до 15 %; утечки и загрязнения – 10-15 %.

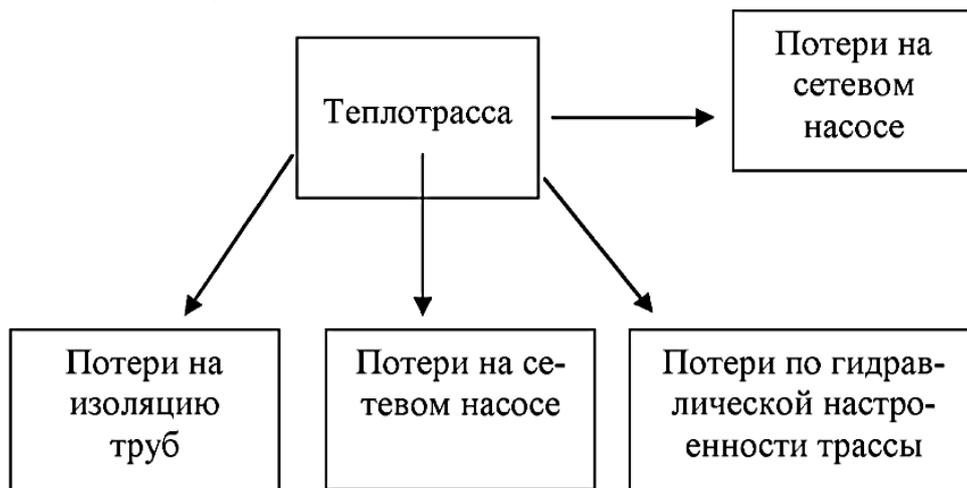
Решение данной проблемы: приборы учета тепловой энергии, автоматизация по погодному регулированию, установка высокоэффективных пластинчатых теплообменников, рециркуляция в ГВС, установка и работоспособность регуляторов, установка надежной и современной запорно-регулирующей арматуры.

*Первый участок:*



Потери при разумно спроектированной и налаженной теплотрассе порядка – 5-7 %. Фактически они достигают 25 % и выше.

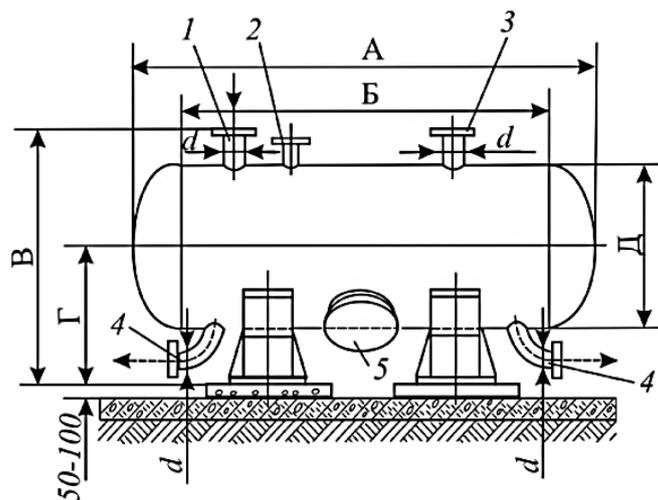
*Второй участок:*



Существенно снижает затраты использование новых материалов и технологий монтажа.

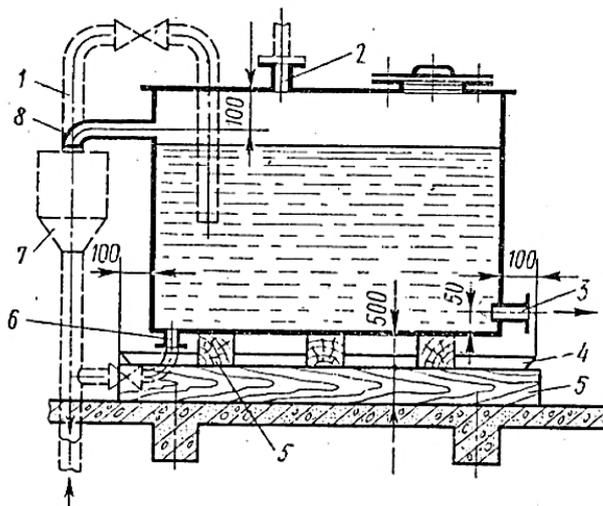
### **3.6. Аккумуляторы горячей воды**

Баки аккумуляторы предназначены для ГВС с периодическим водоразбором.



*Рис. 3.9. Установка цилиндрического аккумулятора теплосети по полу:*

*1 – вход воды; 2 – патрубок для воздушника; 3 – патрубок для предохранительного клапана; 4 – выход воды; 5 – люк  $d$  500 мм*



*Рис. 3.10. Установка прямоугольного аккумулятора на чердаке:*

*1 – слив горячей воды; 2 – паропроводящий патрубок;  
3 – отвод горячей воды; 4 – поддон; 5 – деревянный брус;  
6 – дренажный штуцер; 7 – сливная воронка; 8 – переливная труба*

Они бывают цилиндрической (рис. 3.9) и прямоугольной (рис. 3.10) формы, должны иметь лазы с закрывающимися крышками, а при высоте более 1,5 м – внутренние лестницы.

Изнутри – антикоррозийная защита, снаружи – теплоизоляция и защита.

Прямоугольные – допускается использовать только в верхнем размещении (на чердаке), так как они не рассчитаны на избыточное давление.

При нижнем расположении используют цилиндрические с рассчитанным давлением не менее 0,6 МПа обязательно с предохранительным клапаном. Количество не менее двух, каждый по 50 % рабочего объема.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Дайте характеристику систем горячего водоснабжения.
2. Как производится расчет местных систем горячего водоснабжения?
3. Что такое коррозия и накипеобразование?
4. Как осуществляется энергосбережение в системах горячего водоснабжения?
5. Что такое аккумуляторы горячей воды?
6. Перечислите задачи и виды регулирования.
7. Приведите общее уравнение регулирования.
8. Приведите тепловые характеристики теплообменных аппаратов.

## Глава 4. ЗАДАЧИ И ВИДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Вырабатываемое и передаваемое системой теплоснабжения тепло используется для получения и поддержания необходимой температуры различных сред (воздух помещения, горячее водоснабжение).

Совокупность мероприятий по изменению теплоотдачи приборов в соответствии с изменением потребности в тепле нагреваемых ими сред – регулирование отпуска тепла. Различают следующие виды регулирования:

*Качественное* – когда изменяют температуру греющей среды при постоянном значении расхода и продолжительности работы прибора.

*Количественное* – когда изменяют расход греющей среды, оставляя постоянными значение температуры и продолжительность работы прибора.

*Качественно-количественное* – одновременно изменяется температура и расход греющей среды, значение продолжительности работы прибора постоянно.

*Прерывистое (регулирование пропусками)* – периодически включают и выключают прибор с неизменной температурой и расходом.

По числу одновременно регулируемых приборов различают регулирование:

- *приборное (индивидуальное)* – когда регулированию подвергается единичный прибор;
- *групповое* – когда из одной точки одновременно регулируется несколько отопительных приборов одного назначения;
- *центральное* – если теплоотдача приборов отопления регулируется из одного центра (источник тепла);
- *комбинированное* – когда центральное регулирование сочетается с местным регулированием расхода теплоносителя в отдельных группах приборов.

Если температура нагреваемой среды не оказывает влияния на количество поступающего в эту среду тепла – это *пассивное* регулирование.

Если количество отдаваемого прибором тепла регулируется по заданной температуре среды, то это регулирование *активное*.

## 4.1. Регулирование отпуска тепла

На абонентских вводах, обслуживающих местные системы горячего водоснабжения и отопления, при отсутствии в системе горячего водоснабжения баков-аккумуляторов находят применение два способа подачи тепла в систему отопления – нормальная и связанная подача.

При нормальной подаче система отопления получает тепло независимо от системы горячего водоснабжения, и любые изменения в расходе тепла на ГВС не отражаются на количестве тепла, получаемого системой отопления.

При связанной подаче количество тепла, получаемого системой отопления, зависит от расхода тепла в системе горячего водоснабжения. Это достигается лимитированием (ограничением) общего количества тепла, поступающего на ввод из расчета часового расхода тепла на отопление и среднечасового расхода тепла на ГВС.

На рис. 4.1 показаны схемы абонентских вводов, иллюстрирующие сам принцип осуществления связанной подачи тепла в систему отопления.

На рис. 4.1, а подогреватель горячего водоснабжения 5 установлен на сетевой воде до теплообменника отопления 8 и имеет отводной трубопровод 6. Перераспределение сетевой воды между подогревателем и отводным трубопроводом осуществляется трехходовым регулятором температуры 3, получающим импульс от температуры воды, поступающей в местную систему горячего водоснабжения 4. При отсутствии водоразбора регулятор температуры 3 перекрывает поступление сетевой воды к теплообменнику горячего водоснабжения, и вся сетевая вода проходит по отводной трубе 6 и с наибольшей температурой, равной температуре воды в сети, поступает в теплообменник отопления 8.

Отапливаемые помещения в эти часы получают повышенное количество тепла, а днем, в часы максимального водоразбора, регулятор температуры перекрывает отводной трубопровод, и вся сетевая вода проходит через теплообменник горячего водоснабжения. В эти часы в теплообменник отопления поступает сетевая вода с наиболее низкой температурой, и отапливаемые помещения недополучают тепло.

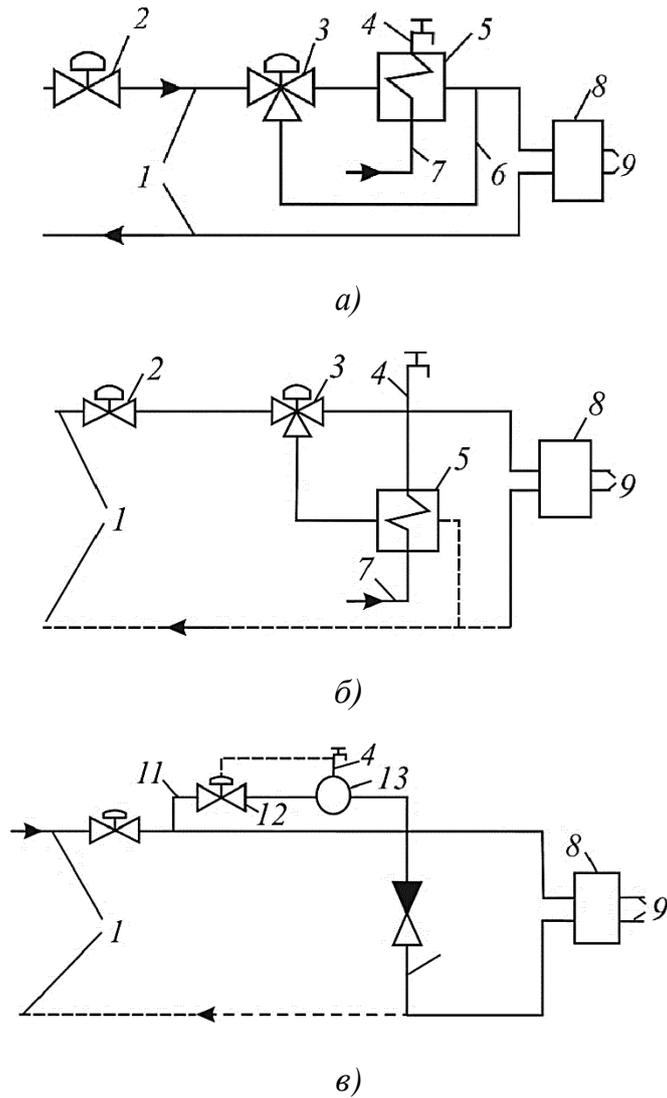


Рис. 4.1 Схемы абонентских вводов связанной подачи тепла в систему отопления:

а – ввод закрытой системы теплоснабжения с влиянием горячего водоснабжения на температуру греющей воды теплообменника отопления; б – ввод закрытой системы теплоснабжения с влиянием горячего водоснабжения на расход греющей воды теплообменника отопления; в – ввод открытой системы теплоснабжения; 1 – тепловая сеть; 2 – ограничитель расхода сетевой воды; 3 – трехходовой регулятор температуры; 4 – местная система горячего водоснабжения; 5 – подогреватель системы горячего водоснабжения; 6 – обводной трубопровод; 7 – водопровод; 8 – теплообменник отопления; 9 – местная система отопления; 10,11 – отбор воды из подающего и обратного трубопроводов тепловой сети; 12 – двухходовой регулятор температуры; 13 – смеситель

По рис. 4.1, б подогреватель горячего водоснабжения включен по сетевой воде с теплообменником отопления. В зависимости от водоразбора трехходовой регулятор температуры 3 перераспределяет сетевую воду между теплообменниками горячего водоснабжения и отопления. В ночные часы при отсутствии водоразбора теплообменник отопления получает максимальное количество сетевой воды, а в часы максимального водоразбора – минимальное. Общее количество поступающей на ввод сетевой воды как при схеме а, так и б лимитируется автоматом 2.

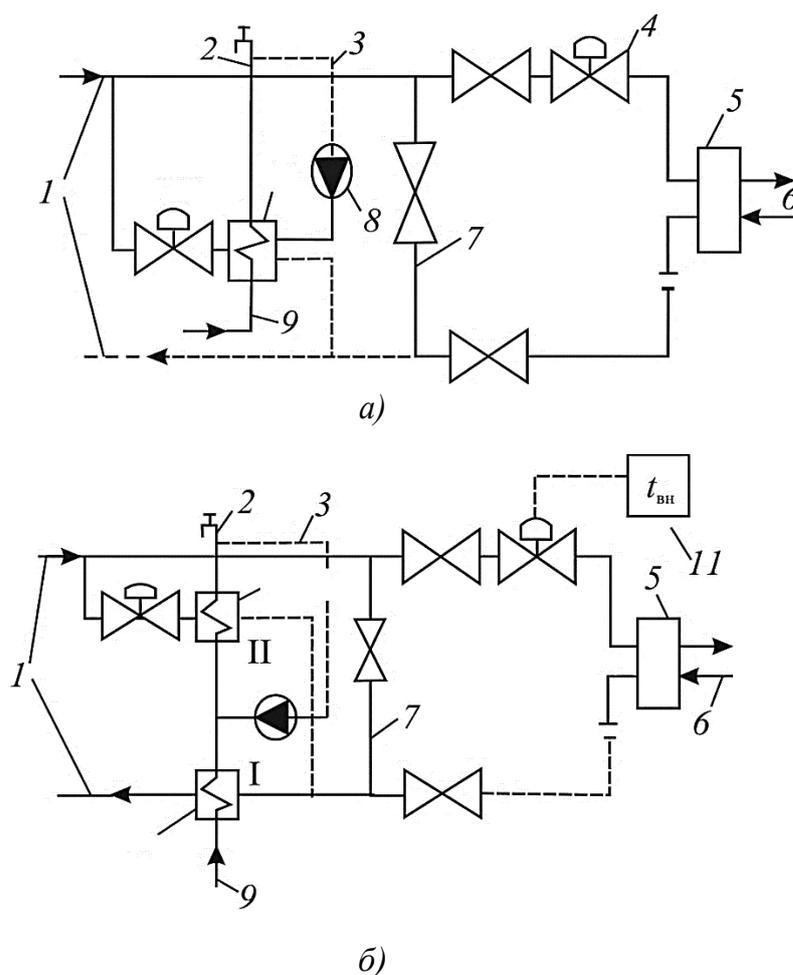


Рис. 4.2. Схемы абонентских вводов с нормальной подачей тепла в систему отопления:

а – параллельная; б – смешанная; 1 – тепловая сеть; 2 – местная система горячего водоснабжения; 3 – рециркуляционный трубопровод; 4 – регулятор расхода воды на отопление; 5 – теплообменник отопления; 6 – местная система отопления; 7 – перемычка; 8 – циркуляционный насос; 9 – водопровод; 10 – подогреватель системы горячего водоснабжения; 10<sub>I</sub> и 10<sub>II</sub> – то же I и II ступени; 11 – датчик внутренней температуры

При открытых системах теплоснабжение на подачу тепла в систему отопления осуществляется только путем изменения количества сетевой воды, поступающей в теплообменник отопления (рис. 4.1, в). По этой схеме к смесителю 13 поступает вода из подающего 11 и обратного 10 трубопроводов тепловой сети. Количество воды, отбираемой из подающей трубы, давление в которой всегда больше давления в обратной трубе, регулируется двухходовым регулятором температуры 12. Чем больше общий отбор воды и чем ниже температура воды в тепловой сети  $t_c$ , тем больше количество воды, отбираемой из подающего трубопровода, и тем меньше сетевой воды поступает к теплообменнику отопления.

В закрытых системах при наличии у объектов местных систем отопления и горячего водоснабжения нормальная подача тепла в системы отопления обычно осуществляется по параллельной или смешанной схемам абонентского ввода (рис. 4.2). При параллельной схеме ввода (рис. 4.2, а) происходит одноступенчатый нагрев водопроводной воды в подогревателе горячего водоснабжения 10, который включен параллельно по ходу греющей сетевой воды с теплообменником отопления 5.

При смешанной схеме ввода (рис. 4.2, б) происходит двухступенчатый нагрев водопроводной воды в подогревателях I ( $10_I$ ) и II ( $10_{II}$ ) ступени с утилизацией тепла обратной воды теплообменника отопления.

В подогревателе II ступени греющей водой является часть поступающей на ввод сетевой воды, а в подогревателе I ступени – смесь вод, покидающих теплообменник отопления и подогреватель II ступени.

Характерной особенностью любой схемы ввода с нормальной подачей тепла на отопление, в том числе и параллельной и смешанной схем, является наличие автомата 4 на трубопроводе, подводящем сетевую воду к теплообменнику отопления. Данный автомат обеспечивает независимость поступления сетевой воды в теплообменник отопления от расхода воды через теплообменник горячего водоснабжения, т. е. независимость поступления тепла в отапливаемые помещения от расхода тепла в системе горячего водоснабжения. В параллельной и смешанной схеме температура воды, поступающей в систему горячего водоснабжения, поддерживается постоянным регулятором температуры

(РТ), установленным перед теплообменником горячего водоснабжения. Автомат РТ изменяет количество сетевой воды, проходящей через теплообменник горячего водоснабжения, в зависимости от водоразбора, т.е. в зависимости от количества нагреваемой водопроводной воды.

Для получения наибольшей разности температур, греющей и нагреваемой в теплообменниках горячего водоснабжения воды рециркуляционный трубопровод системы ГВС целесообразно присоединять к той точке, где температура нагреваемой водопроводной воды становится равной температуре рециркуляционной воды. При присоединении систем отопления к сети через элеваторные узлы на индивидуальных абонентских вводах закрытых систем теплоснабжения независимо от конкретной схемы ввода устанавливается еще дополнительно насос, предназначенный для увеличения подмешивания воды из обратного трубопровода в подающий перед элеваторным узлом и для осуществления автономной циркуляции воды в местной системе отопления при прекращении циркуляции воды в тепловой сети. При групповом абонентском вводе дополнительный насос устанавливается в ЦТП.

Сравнение параллельной и смешанной схем показывает, что при одинаковой поверхности нагрева подогревателей горячего водоснабжения смешанная схема позволяет уменьшить суммарный расчетный расход воды по вводу на 4-6 %, а среднюю за отопительный сезон температуру воды возвращает к источнику тепла на 2-3 °С выше. Основное же преимущество связанной подачи тепла в систему отопления перед нормальной подачей состоит в меньших расчетных расходах сетевой воды, что снижает затраты на сооружение тепловых сетей и перемещение теплоносителя.

К недостаткам связанной подачи тепла в систему отопления относятся:

- наличие внутрисуточных колебаний температуры воздуха в отапливаемых помещениях;
- сложность обеспечения отапливаемых помещений нормальным суточным количеством тепла

Связанная подача тепла наиболее эффективна в крупных системах теплоснабжения при максимальном расходе тепла на ГВС более 10 % расчетного расхода тепла на отопление. В небольших системах

теплоснабжения, в которых уменьшение диаметров теплопроводов мало изменяет общую стоимость тепловых сетей, в ряде случаев более целесообразна нормальная подача тепла в систему отопления при наиболее простой схеме абонентского ввода

## 4.2. Общее уравнение регулирования

Расчет режимов регулирования основан на уравнениях теплового баланса:

$$Q = G_{\text{п}} c(\tau_1 - \tau_2) = G_{\text{в}} c(t_1 - t_2) = k F \Delta t,$$

где  $Q$  – текущая тепловая нагрузка;

$G_{\text{п}}$  – первичный расход (греющего) теплоносителя;

$G_{\text{в}}$  – вторичный расход (нагреваемой) среды;

$\tau_1, \tau_2$  – температура первичного теплоносителя на входе и выходе из теплообменника;

$t_1, t_2$  – температура нагреваемой среды на выходе и входе в теплообменник соответственно.

Уравнение теплового баланса можно представить в виде

$$Q = W_{\delta} \delta t_{\text{т}} = W_{\text{т}} \delta t_{\delta} = k F \Delta t,$$

где  $W_{\delta}, W_{\text{т}}$  – большее и меньшее значения водяных эквивалентов тепло обменивающихся сред;

$W = G c$  – эквивалент расхода воды;

$\delta t_{\text{т}}, \delta t_{\delta}$  – меньший и больший перепады температур теплоносителей.

В общем виде:  $\delta t = t_1 - t_2$ ,  $\bar{Q} = \bar{W}_{\delta} \delta t_{\text{т}} = \bar{W}_{\text{т}} \delta t_{\delta} = \bar{k} \Delta t$ ,  $\bar{W} = W/W'$ ,  $\bar{\delta t} = \delta t/\delta t'$ ,  $\bar{k} = k/k'$  – относительные величины, представляющие долю от расчетного значения.

Зависимость расхода от тепловой нагрузки можно описать уравнением

$$\bar{W} = \bar{Q}^m,$$

где  $m$  – показатель степени, зависящий от метода регулирования

( $m = 0$ ,  $\bar{W} = 1$  – качественное;  $0 < m < 1$  – качественно-количественное).

### 4.3. Тепловые характеристики теплообменных аппаратов

Регулирование тепловой нагрузки приводит к изменению расхода и температуры теплоносителя в теплообменных аппаратах. Незвестное значение температуры воды приходится определять методом последовательных приближений.

Уравнение характеристики теплообменного аппарата выводится из общего уравнения регулирования при замене разности температур линейной зависимостью вида

$$\Delta t = \nu - \alpha \Delta t_m - \beta \Delta t_6,$$

где  $\nu = \tau_1 - \tau_2$  – максимальная разность температур греющей и нагреваемой среды на входе в теплообменник;

$\alpha$  и  $\beta$  – постоянные коэффициенты, зависящие от схемы движения теплоносителя в теплообменном аппарате (прямоток  $\alpha = \beta = 0,65$ , противоточное движение  $\alpha = 0,35$ ,  $\beta = 0,65$ );

$\Delta t_m$ ,  $\Delta t_6$  – наименьший и наибольший перепады температур греющей и нагреваемой среды.

Расчетный расход греющей сетевой воды в подогревателе ГВС:

$$W_{\text{ГВС}} = \frac{Q_{\text{ГВС}}^{\max}}{\tau_1 - \tau_2},$$

где  $Q_{\text{ГВС}}^{\max}$  – максимальная тепловая нагрузка на ГВС.

Основной задачей расчета переменных режимов подогревателей является определение расхода через них сетевой воды с более высокой температурой, чем в расчетном режиме. Дополнительно определяются неизвестные температуры теплообменивающихся сред в различных точках системы.

### 4.4. Центральное регулирование однородной тепловой нагрузки

Центральное регулирование отопительной нагрузки применяют в системах теплоснабжения с децентрализованным горячим водоснабжением. В таких системах отопление является основной тепловой нагрузкой. Центральное регулирование осуществляется в соответствии с потребностью тепла для отопления здания при различных наружных

температурах воздуха. При качественном регулировании задача расчета состоит в определении температуры воды в зависимости от тепловой нагрузки. Расход воды остается постоянным в течение всего отопительного сезона.

Общее уравнение регулирования отопительной нагрузки:

$$Q_0 = \frac{Q_0}{Q'_0} = \frac{k \Delta t_0}{k' \Delta t'_0},$$

где  $Q_0$  – расход тепла на отопление при текущей температуре наружного воздуха  $t_H$  ;

$k$  – коэффициент теплопередачи;

$\Delta t_0$  – температурный напор в нагревательном приборе;

$k, \Delta t_0$  – те же величины при расчетной температуре наружного воздуха:

$$\Delta t_0 = 0,5(\tau_3 + \tau_2) - t_B;$$

$$\tau_3 = \frac{\tau_1 + u \cdot \tau_2}{1 + u},$$

где  $\tau_1, \tau_2$  – температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах;

$\tau_3$  – температура в подающем трубопроводе после смешительного устройства;

$u$  – коэффициент смешения,

$$u = \frac{G_1}{G_2}$$

где  $G_2, G_1$  – расход воды из обратного трубопровода и подающего.

Расчетный расход воды на отопление:

$$G_0 = \frac{Q_0}{c(\tau_1 - \tau_2)} \cdot 3600 .$$

Постоянный расход воды при центральном качественном регулировании улучшает эксплуатацию системы, поэтому этот метод регулирования нашел применение в существующих системах теплоснабжения.

При количественном регулировании температура сетевой воды в подающем трубопроводе постоянна. Регулирование тепловой нагрузки осуществляется изменением расхода воды. Задачей расчета является определение расхода и температуры обратной воды в зависимости от величины отопительной нагрузки.

Относительный расход и температуру обратной воды определяют из выражения:

$$G_0 = \frac{G_0}{G'_0} = \frac{Q'_0}{1 + \frac{\Delta t'_0}{\Delta \tau'_0 - 0,5 \cdot \theta'} (1 - Q_0^{0,8})},$$

где  $\theta$  – расчетный перепад температуры в отопительной системе;

$$\tau_2 = \tau'_1 - \Delta \tau'_0 \frac{Q}{G_0},$$

где  $\Delta \tau'_0$  – расчетная разность температур сетевой воды.

При уменьшении тепловой нагрузки и снижении расхода воды температура обратной воды достигнет температуры воздуха в помещении.

Основным достоинством количественного регулирования является сокращение расходов электроэнергии на перекачку теплоносителя. Это используется в магистральных трубопроводах двухступенчатых сетей, к которым абоненты присоединены по независимым схемам или с помощью смесительных насосных подстанций.

При снижении расхода в магистральных сетях насосы увеличивают подачу из обратной магистрали.

В системах отопления сохраняется необходимый расход воды, и тем самым устраняется недостаток количественного регулирования – разрегулировка отопительной системы.

При качественно-количественном регулировании осуществляется изменение расхода и температуры сетевой воды в зависимости от величины отопительной нагрузки.

Изменение расхода должно производиться по зависимости:

$$G_0 = (Q_0)^m,$$

где для двухтрубных систем отопления  $m = 0,33$ , для однетрубных  $m = 0,2-0,25$ .

Температуры воды находят по зависимостям:

$$\tau_1 = t_B + \Delta t'_0 \cdot Q_0^{0,8} + (\Delta \tau'_0 - 0,5 \cdot \theta') \frac{Q_0}{G_0},$$

$$\tau_2 = t_B + \Delta t'_0 \cdot Q_0^{0,8} - 0,5 \cdot \theta' \frac{Q_0}{G_0}.$$

Применение качественно-количественного регулирования снижает расход электроэнергии на перекачку теплоносителя.

#### 4.5. Центральное регулирование закрытых систем по отопительной нагрузке

В зависимости от соотношения нагрузок ГВС и отопления центральное регулирование разнородной нагрузки производится по отопительной нагрузке или по совместной нагрузке отопления и ГВС.

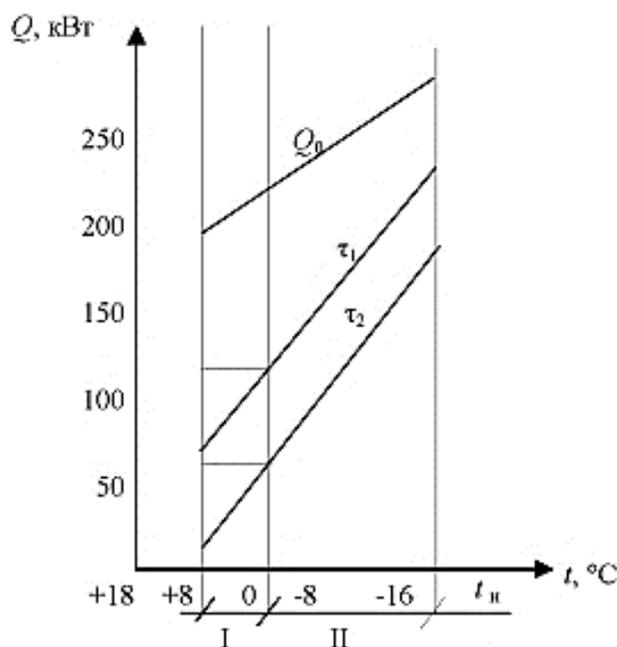


Рис. 4.3. График температур, расходов тепла и сетевой воды при комбинированном регулировании отопительной нагрузки:

I – в интервале наружных температур  $t_n = 8^\circ\text{C}$  ;

II – в интервале температур  $t_n - t_{p.o.}$ .

Центральное качественное регулирование по отопительной нагрузке принимается в системах теплоснабжения со среднечасовой

нагрузкой горячего водоснабжения, не превышающей 15 % от расчетного расхода тепла на отопление. Точка излома температурного графика делит отопительный период на два диапазона (рис. 4.3).

При наличии у абонентов горячего водоснабжения нормально-отопительный график температур воды в тепловой сети нуждается в корректировке. Согласно СНиП 11-34-76, в закрытых системах теплоснабжения минимальная температура воды в водоразборных точках местных систем горячего водоснабжения должна быть равна 50 °С. Учитывая остывание воды на пути от подогревателя до наиболее удаленной водоразборной точки, температуру водопроводной воды на выходе из подогревателя увеличивают примерно до 60 °С, а температуру греющей сетевой воды принимают не ниже 70 °С.

При нормально-отопительном графике температура воды в сети в конце (или начале) отопительного периода (при  $t_H = -8$  °С) оказывается значительно ниже. В связи с этим, как только температура воды в подающем трубопроводе сети понизится (из-за повышения наружной температуры) до минимального значения, необходимого для горячего водоснабжения, дальнейшего понижения ее не допускают и оставляют ее постоянной. Получающийся при этом график температур подаваемой сетевой воды, имеющий точку излома при наружной температуре, называют отопительно-бытовым графиком температур.

Режим работы местной системы отопления в диапазоне постоянной температуры сетевой воды зависит от принятого на этом отрезке времени способа абонентского регулирования отпуска тепла на отопление. Здесь возможны три случая:

- 1) отсутствие специального регулирования и сохранение постоянства расхода сетевой воды через отопительный теплообменник;
- 2) уменьшение расхода сетевой воды через отопительный теплообменник (количественное регулирование);
- 3) регулирование подачи сетевой воды в отопительный теплообменник пропусками (прерывистое регулирование).

Регулирование расхода сетевой воды через отопительные теплообменники позволяет устранить перерасход тепла на отопление в диапазоне постоянной температуры воды в сети. При этом у абонентов с насосными смесительными узлами или с поверхностными отопительными теплообменниками обычно сохраняют постоянство расхода

воды в местной системе отопления, т. е. сохраняют качественное регулирование отпуска тепла в этих системах. При элеваторных узлах у абонентов уменьшение расхода сетевой воды через элеватор приводит к пропорциональному уменьшению расхода воды в местной системе отопления, что может вызвать ее разрегулировку. В связи с этим при переходе на регулирование расхода сетевой воды элеваторное смешение заменяют или дополняют насосным путем включения в работу специального насоса, который устанавливается у абонентов с элеваторными узлами не только для указанной цели, но и для обеспечения автономной циркуляции воды в местной системе отопления при аварии в тепловой сети.

При прерывистом регулировании у абонентов с поверхностными отопительными теплообменниками или насосными смесительными узлами прекращение поступления сетевой воды в теплообменники не прекращает циркуляции воды в местных системах отопления; она продолжается с постепенным остыванием циркулирующей воды и постепенным понижением температуры воздуха в отапливаемых помещениях.

При отопительно-бытовом графике температур воды в сети и нормальной подаче тепла в системы отопления (не связанной с горячим водоснабжением) площадь поверхности нагрева подогревателей горячего водоснабжения и максимальный суммарный расход сетевой воды на горячее водоснабжение и отопление определяют при наружной температуре, соответствующей точке излома температурного графика сетевой воды.

При параллельной схеме ввода и расчетном режиме подогревателя горячего водоснабжения известны температура греющей воды, начальная температура водопроводной воды, расчетная теплообменная способность подогревателя, которая при отсутствии специальных баков-аккумуляторов в горячем водоснабжении равна максимальному часовому расходу тепла. Температурой сетевой воды на выходе из подогревателя задаются. Чем ниже эта температура, тем меньше расход сетевой воды на нужды горячего водоснабжения, но тем больше поверхность нагрева подогревателя. По технико-экономическим исследованиям, проведенным ВТИ им. Ф.Э. Дзержинского, оптимальное значение в теплофикационных системах колеблется от 15 до 25 °С. СНиП П-36-73 рекомендуют принимать 30 °С.

Основной и общей задачей расчета переменных (нерасчетных) режимов подогревателей горячего водоснабжения при параллельной или смешанной схемах ввода является определение расхода через них сетевой воды с более высокой температурой, чем в расчетном режиме. Дополнительной задачей является определение в нерасчетных режимах подогревателей неизвестных температур теплообмениваемых сред в различных точках схем. В летний период при отключении отопления смешанная схема превращается в параллельную с одинаковыми расходами греющей и нагреваемой воды, проходящей через подогреватели горячего водоснабжения II и I ступени, и равной общей площади поверхностей нагрева.

Граница диапазона находится в точке пересечения кривой  $\tau_1$  с горизонтальной линией  $\tau_1 = 70^\circ\text{C}$ . I – местное регулирование, II – центральное качественное регулирование.

Данный график носит название «отопительно-бытовой».

При центральном качественном регулировании по отопительной нагрузке расход воды остается постоянным в течение всего отопительного сезона.

Требуемый расход сетевой воды на ГВС, вентиляцию устанавливается соответствующими местными регуляторами.

#### *График температур на отопление*

На рис. 10.1 в диапазоне I при постоянной температуре воды в подающем трубопроводе регулирование отопительной нагрузки осуществляется обычно местными пропусками. Число часов ежесуточной работы системы определяют из уравнения

$$n = 24 \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t'_{\text{н}}}$$

Регулирование местными пропусками, осуществляемое вручную, приводит к значительным колебаниям температуры воздуха в помещениях и к перерасходу тепла. Целесообразно применение автоматизации. В диапазоне II осуществляется центральное качественное регулирование.

#### *График температур и расходов тепла на вентиляцию*

По характеру изменения температуры воды и расхода тепла на вентиляцию отопительный период делится на три диапазона (рис. 4.4).

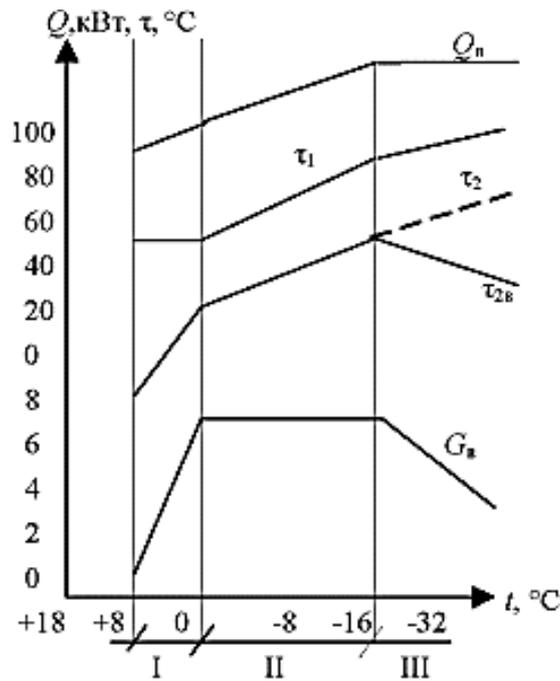


Рис. 4.4 График температур, расходов тепла и сетевой воды при регулировании вентиляционной нагрузки расходом сетевой воды

В диапазоне I (от  $t_n = -8^\circ\text{C}$  до  $t'_n$ ) при переменной вентиляционной нагрузке температура в подающей линии постоянна. В диапазоне II по мере увеличения вентиляционной нагрузки возрастает и температура воды. В диапазоне III при постоянном расходе тепла на вентиляцию температура воды в подающей линии переменна.

Центральное качественное регулирование вентиляционной нагрузки возможно лишь в диапазоне II, где характер изменения температуры воды соответствует изменению нагрузки. В диапазонах I и III осуществляется местное количественное регулирование изменением расхода сетевой воды или расхода нагреваемого воздуха.

Возможно регулирование расходом сетевой воды и регулирование расходом воздуха (при постоянном расходе сетевой воды).

*График температур и расходов тепла и сетевой воды на горячее водоснабжение*

Тепловая нагрузка ГВС отличается большой суточной неравномерностью. При наличии бака-аккумулятора расчет производится по среднечасовой нагрузке ГВС. При отсутствии – графики рассчитывают исходя из максимального часового расхода тепла.

В случае постоянного расхода тепла на ГВС отопительный период делится на два диапазона (рис. 4.5).

В диапазоне I при постоянной нагрузке ГВС и постоянной температуре воды расход сетевой воды тоже остается неизменным. В диапазоне II постоянный расход тепла на ГВС при переменной температуре сетевой воды обеспечивается местным количественным регулированием.

В двухступенчатой смешанной схеме предварительный подогрев водопроводной воды в подогревателе нижней ступени за счет использования тепла обратной воды снижает расход сетевой воды на горячее водоснабжение.

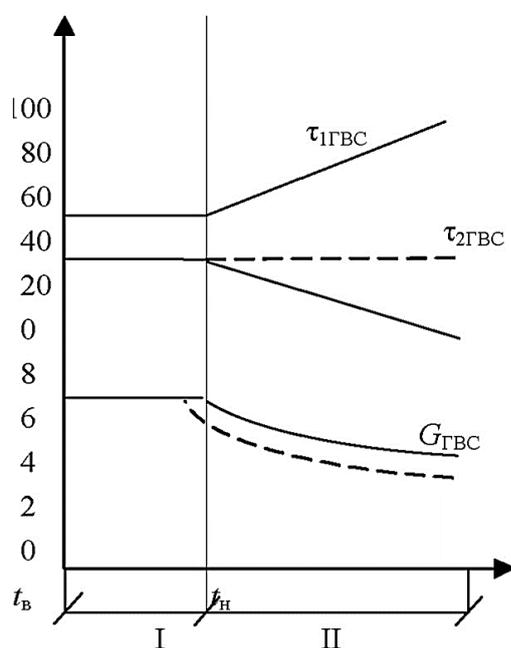


Рис. 4.5. График температур, расходов тепла и сетевой воды на ГВС при параллельной схеме включения подогревателей

#### *Центральное регулирование закрытых систем по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения*

Добавление нагрузки на ГВС увеличивает расход сетевой воды и диаметр труб, а следовательно, и стоимость тепловых сетей. Сокращение расходов воды достигается при центральном качественном регулировании. В системе поддерживается постоянный расход сетевой воды.

Данное регулирование принимается при суммарном среднечасовом расходе тепла на ГВС более 15 % от суммарного максимального часового расхода на отопление,  $\frac{Q_{\text{ср.ч}}}{Q'_0} > 15$ .

Присоединение подогревателей ГВС не менее чем у 75% абонентов должно быть выполнено по двухступенчатой последовательной схеме.

В часы максимального водопотребления снижается температура воды, поступающей в систему отопления, что приводит к уменьшению отдачи тепла. Небаланс компенсируется в часы минимального водопотребления, вода в систему поступает с более высокой температурой, чем требуется по отопительному графику.

Суточный баланс тепла на отопление обеспечивается при расчете температурного графика по «балансовой» нагрузке ГВС, несколько превышающей среднечасовой расход тепла на ГВС.

График температур, построенный с помощью определенных перепадов температур сетевой воды в подогревателях нижней и верхней ступени, называется повышенным (рис. 4.6)

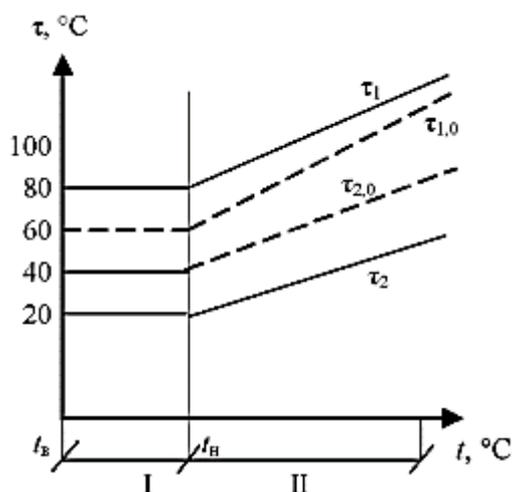


Рис. 4.6 Повышенный температурный график:  
 $\tau_{1,0}$ ,  $\tau_{2,0}$  – отопительно-бытовой график;  
 $\tau_1$ ,  $\tau_2$  – повышенный график

По мере понижения температуры наружного воздуха и роста температуры воды после отопления, соответственно, возрастает нагрузка подогревателя нижней ступени и увеличивается значение  $\Delta$ . Перепад температур сетевой воды в подогревателе верхней ступени пропорционально уменьшается.

Расчет графиков центрального регулирования производят по режиму теплотребления «теплового» абонента, для которого отложение средней часовой нагрузки ГВС к расчетной тепловой отопительной

нагрузке такое же, как в целом по району. Предусматривают групповое и местное регулирование. При разнородной тепловой нагрузке абонентов целесообразно сочетание центрального качественного регулирования по совместной нагрузке с местным количественным.

Это возможно при замене регуляторов расхода (РР) регуляторами отопления (РО), осуществляющими местное регулирование по импульсу от температуры воздуха в отапливаемом помещении или от устройства, моделирующего внутренний тепловой режим помещения.

#### *Регулирование открытых систем теплоснабжения*

В открытых системах теплоснабжения разбор воды на ГВС осуществляется в зависимости от температуры воды в сети. При температуре воды, равной 60°C, водоразбор ведется из подающей линии, при повышении температуры водоразбор осуществляется одновременно из обоих трубопроводов. Обязательно предусматривается установка терморегуляторов.

Изменение места и величины водоразбора существенно влияет на гидравлический и тепловой режимы системы теплоснабжения.

Выбор метода центрального регулирования производится в зависимости от соотношения тепловых нагрузок ГВС и отопления и схемы абонентского ввода.

Регулирование производится по совместной нагрузке отопления на ГВС качественным или количественным методами.

### **4.6. Центральное качественное регулирование по совместной нагрузке**

Скорректированный температурный график применяют при соотношении тепловых нагрузок в пределах

$$0,15 \leq \frac{Q_{\text{ср.ч}}}{Q_0} \leq 0,3.$$

Регуляторы расхода устанавливают перед ответвлением на ГВС, поддерживается постоянный расход на отопление. Водоразбор из подающей линии уменьшает поступление сетевой воды в систему отопления. Небаланс тепла на отопление компенсируется некоторым повы-

шением температуры в подаче по сравнению с отопительным графиком. Для сохранения суточного баланса тепла на отопление основной расчет проводится по балансовой нагрузке ГВС:

$$Q_0^\delta = x^\delta Q_{\text{ср.ч}}$$

с балансовым коэффициентом  $x^\delta = 1,1$ .

При температуре обратной воды  $60^\circ\text{C}$  водоразбор осуществляется только из обратной магистрали.

На этом диапазоне в систему отопления поступает расчетный расход воды  $G_0 = 1$ , вследствие чего скорректированный график соответствует отопительному.

#### *Качественно-количественное регулирование по смещенной нагрузке*

Данное регулирование осуществляется двумя методами: искусственным изменением давления; свободно располагаемым давлением на коллекторах ТЭЦ

Регулирование изменением давления применяется редко, так как существуют ограничения по давлению ГВС. Качественно-количественное регулирование при свободном располагаемом давлении на станциях применяется при отношении тепловых нагрузок у типового абонента в пределах  $0,3 > \frac{Q_{\text{ср.ч}}}{Q'_0} > 0,1$ .

Диафрагма на подающем и обратном трубопроводах устанавливается при начальной регулировке сети, при выключенной нагрузке ГВС.

Подбором соответствующих диаметров диафрагм обеспечиваются одинаковые давления в подающей и обратной линиях во всех абонентских вводах.

При водоразборе из обратной магистрали расход воды на отопление превышает относительный эквивалент расхода сетевой воды. Для сохранения баланса тепла на отопление температуры сетевой воды в подающем трубопроводе на этом диапазоне регулирования несколько ниже отопительного графика. Водоразбор из подающей магистрали сокращает поступление воды в отопительную систему, в связи с чем температура в подающем трубопроводе должна быть выше, чем при регулировании по отопительному графику.

### График суммарного расхода воды

В закрытых системах расход воды в подающем и обратном трубопроводах одинаков.

Взаимосвязь расходов теплоносителя и возможности регулирования систем приведены на рис. 4.7 – 4.9.

При регулировании по отопительной нагрузке общий расход сетевой воды определяется суммой расходов для всех видов теплопотребления.

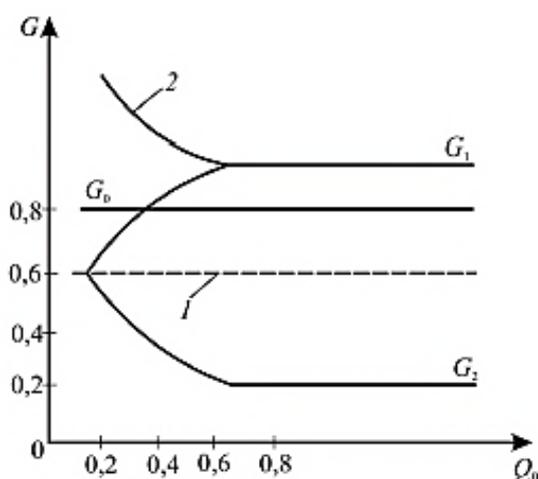


Рис. 4.7. График центрального качественно-количественного регулирования открытых систем теплоснабжения по суммарной отоплению и ГВС при свободно располагаемом давлении на станции:

1 – качественное регулирование;

2 качественно-количественное регулирование

Максимальный расчетный расход имеет место при температуре наружного воздуха  $t_B$  в точке излома температурного графика.

$$G_p = G'_{\text{отоп}} + G'_{\text{вент}} + G'_{\text{ГВС}}.$$

Расход меняется из-за местного количественного регулирования, изменяются и гидравлические режимы системы. Применение двухступенчатых схем включения водоподогревателя позволяет снизить расчетный расход воды, благодаря более полному использованию обратки.

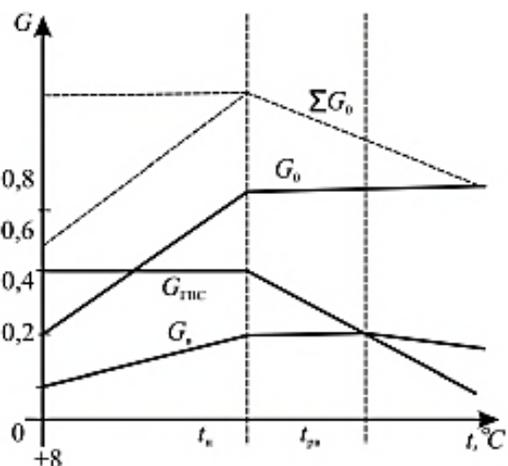


Рис. 4.8. График суммарного расхода сетевой воды в закрытых водяных системах

Общий расход в подающем трубопроводе равен

$$\sum G_n = G_0 + G_{\text{вент}} + \beta G_{\text{ГВС}}.$$

Расход в обратной магистрали меньше расхода в подающей линии на величину водоразбора

$$\sum G_{\text{об}} = G_0 + G_{\text{вент}} - (1 - \beta) G_{\text{ч}}.$$

Максимальный расход, как и в закрытой системе, имеет место при  $t_n$ , соответствующей точке излома температурного графика.

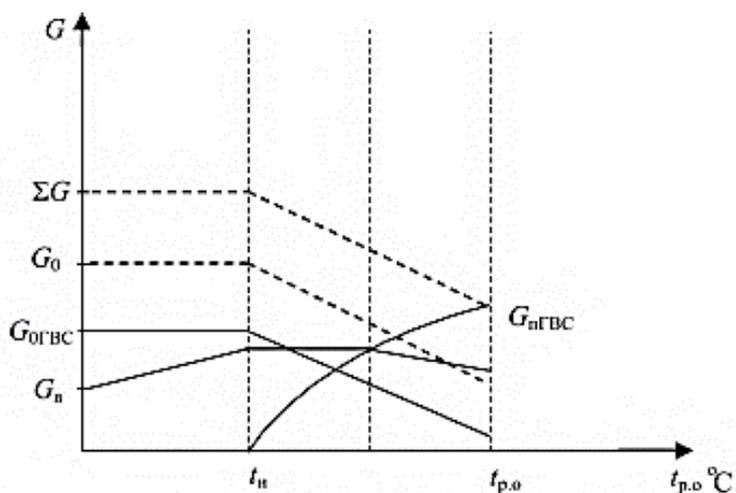


Рис. 4.9. График суммарного расхода сетевой воды в открытых водяных системах

С понижением температуры наружного воздуха расход воды уменьшается за счет роста водоразбора из обратной магистрали и местного количественного регулирования вентиляционной нагрузки.

Водоразбор из подающей магистрали увеличивает расход воды в трубопроводах, в то время как при водоразборе из обратной линии расход в сети уменьшается.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Как осуществляется центральное регулирование однородной! тепловой нагрузки?

2. Как осуществляется центральное регулирование закрытых систем по отопительной нагрузке?

3. Постройте график температур на отопление.

4. Постройте график температур и расходов тепла на вентиляцию.

5. Постройте график температур и расходов тепла и сетевой воды на горячее водоснабжение.

6. Дайте характеристику центрального регулирования закрытых систем по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.!

7. Перечислите виды регулирования открытых систем теплоснабжения.

8. Дайте характеристику центрального качественного регулирования по совместной нагрузке.

## Глава 5. ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ

### 5.1. Оборудование тепловых пунктов

Тепловые пункты представляют собой узлы подключения потребителей тепловой энергии к тепловым сетям и предназначены для подготовки теплоносителя, регулирования его параметров перед подачей в местные системы, а также для учета потребления тепла (рис. 5.1, 5.2).

Выбор схемы и оборудования тепловых пунктов является важнейшим этапом проектирования. Тепловые пункты делятся на местные и центральные.

Местные тепловые пункты (МТП) сооружаются для отдельных зданий. Схема МТП зависит от присоединения тепловой нагрузки. Тепловая схема МТП имеет несколько разновидностей в зависимости от частных условий. При недостаточном напоре на вводе применяют насосы на перемычке или на подающей линии.

Схемы МТП с централизованным ГВС имеют дополнительные элементы – подогреватели горячей воды и циркуляционные насосы.

Сооружение ЦТП – центральных тепловых пунктов – позволило объединить установки ГВС, что дало возможность снизить давление в тепловых сетях, освободить число обслуживающего персонала, вынести тепловые узлы в отдельно стоящее здание. В ЦТП устанавливают насосы, обеспечивающие циркуляцию воды в местных системах отопления (рис. 11.5). Для защиты труб от коррозии устанавливают магнитные фильтры.

ЦТП открытых систем теплоснабжения (с температурой более 105 °С) оборудуются подмешивающими насосами.

В ЦТП производится учет водоразбора, на обратных линиях устанавливаются термометры, гидравлический режим обеспечивается настройкой регулятора давления и обратными клапанами. Все регламентирует СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов.

Устройство ИТП (индивидуальных тепловых пунктов) обязательно для каждого здания независимо от наличия ЦТП при этом в ИТП предусматривают только те функции, которые необходимы для присоединения систем потребления теплоты данного здания и не предусмотрены в ЦТП.

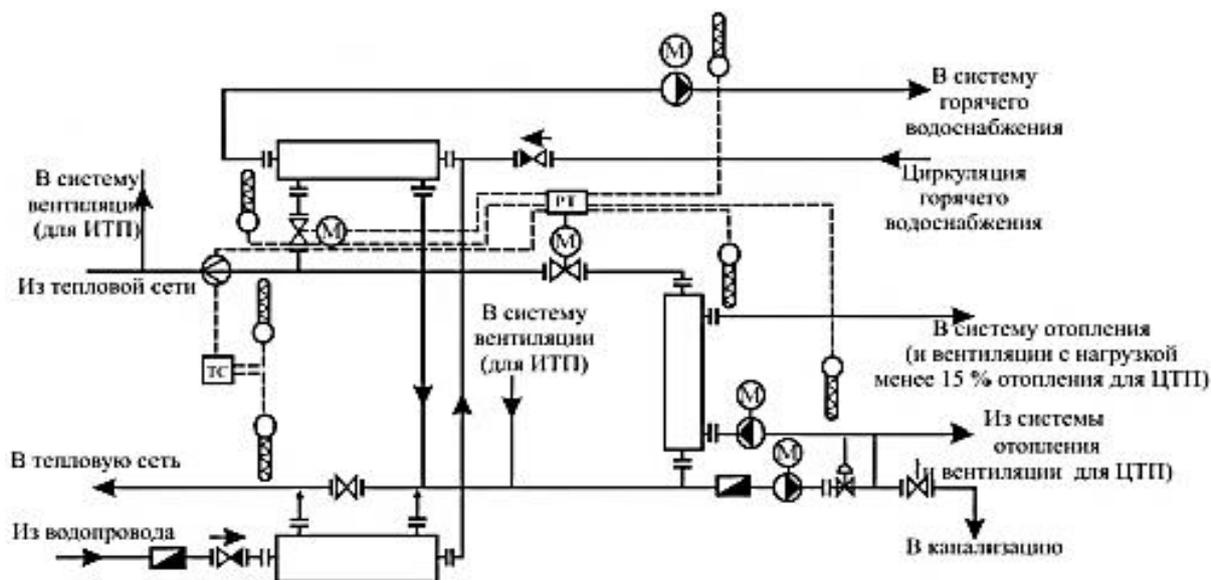


Рис. 5.1. Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения в ИТП с водоструйным элеватором и автоматическим регулированием расхода теплоты на отопление

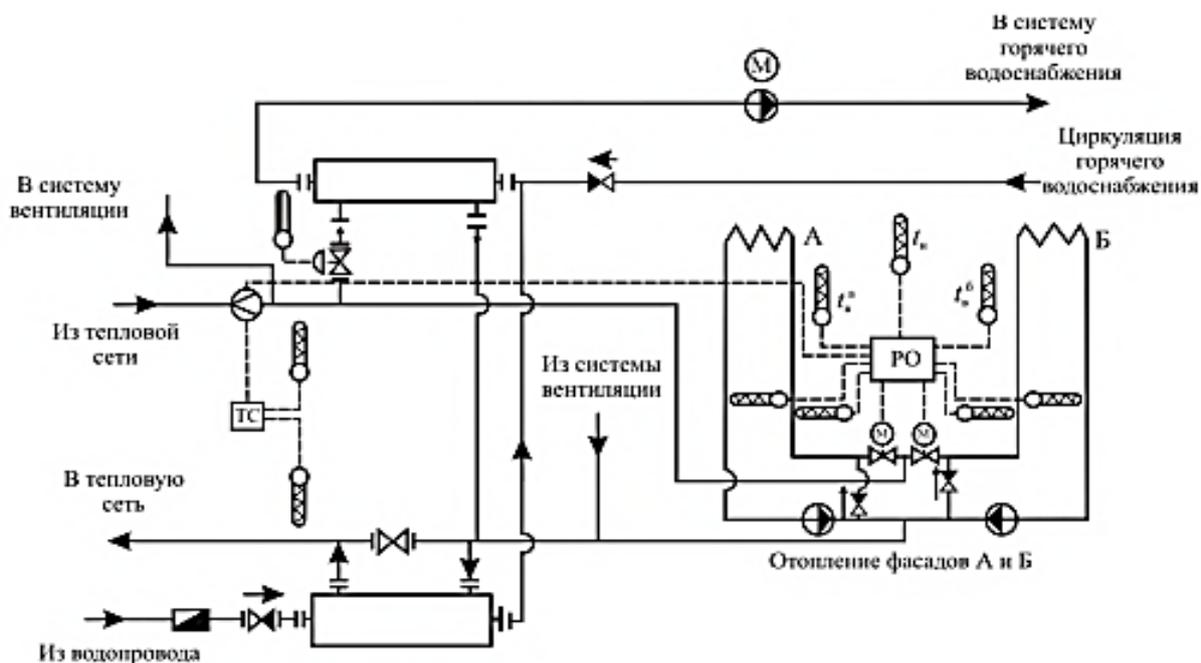


Рис. 5.2. Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения с зависимым присоединением систем отопления при отсутствии регуляторов расхода теплоты на отопление в ЦТП и ИТП

Объемно-планировочные и конструктивные решения тепловых пунктов следует принимать по СНиП 2.09.02–85\*

Перечень оборудования, установленного в тепловом пункте, зависит от схем подключения систем отопления и ГВС, параметров теплоносителя, режимов потребления тепла. Перечень используемого оборудования приведен в СП 41-101-95. Сюда входят подогреватели горизонтальные секционные кожухотрубные, пластинчатые, паровые многоходовые. Рекомендуется применять противоточную схему потоков теплоносителя.

Насосы устанавливаются по расходу и напору в зависимости от расчетного давления. Они устанавливаются для подпитки либо циркуляции, корректировки (смещения). Устанавливают диафрагмы и элеваторы, перед элеватором на подающем трубопроводе рекомендуется устанавливать прямую вставку длиной 0,25 м на фланцах с диаметром, равным диаметру трубопровода.

Баки-аккумуляторы выполняются в соответствии со СНиП 2.04.01–85. Грязевики (рис. 5.3) предусматривают на подаче при вводе в тепловой пункт непосредственно после первой запорной арматуры и на обратном трубопроводе перед регулирующими устройствами – насосами, приборами учета расхода воды и тепла. Перед механическими водосчетчиками и пластинчатыми водоподогревателями по ходу воды следует устанавливать ферромагнитные фильтры.

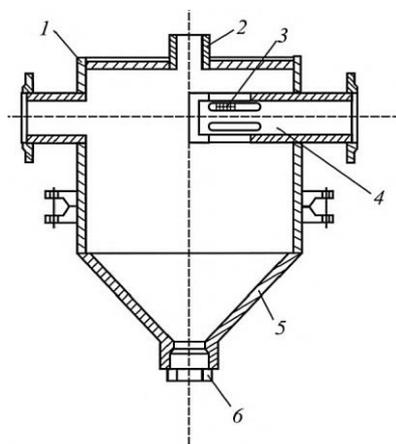


Рис. 5.3. Грязевик

1 – корпус; 2 – штуцер для манометра; 3 – сетка;  
4 – фильтр; 5 – разъемное днище; 6 – болт

Грязевики изготавливают из стальных труб диаметром в 2,5–3 раза больше диаметра входного патрубка. В выходном патрубке вырезаны отверстия сечением в 3–4 раза больше сечения патрубка, закрытые сеткой с ячейками 1–2 мм.

Трубопроводы в пределах тепловых пунктов должны быть из стальных труб, для ГВС и ХВС – из оцинкованных труб.

Запорная арматура предусматривается: на всех подающих и обратных трубопроводах тепловых сетей на вводе и выводе из тепловых пунктов; на всасывающем и нагнетательном патрубках каждого насоса; на отводящих и подводящих трубопроводах каждого водоподогревателя.

В остальных случаях в соответствии с проектом. Должна предусматриваться тепловая изоляция, обеспечивающая температуру на поверхности 100–45 °С, в соответствии со СНиП 2.04.14-88

## **5.2. Автоматизация тепловых пунктов**

Средства автоматизации и контроля должны обеспечивать работу тепловых пунктов без постоянного обслуживающего персонала.

К функциям автоматизации относятся:

- поддерживать температуру воды в системе ГВС;
- регулировать подачу тепла в систему отопления в зависимости от изменения параметров наружного воздуха;
- ограничивать и регулировать расход воды;
- поддерживать перепад давления;
- включать и выключать подпитывающие устройства;
- обеспечить защиту системы от повышенных давлений;
- обеспечить защиту системы от опорожнения;
- обеспечить защиту от перелива и опорожнения баков-аккумуляторов.

Для учета расхода тепловых потоков и расхода воды потребителями должны предусматриваться приборы учета тепловой энергии. Кроме расходомеров и водомеров предусматриваются манометры и термометры, соответственно, для их установки предусматриваются штуцеры.

Управление режимами теплопотребления осуществляется регуляторами различного назначения и принципа действия. На водяных сетях применяют гидравлические авторегуляторы, на паровых – пневматические.

### 5.3. Регулирование расхода воды

В небольших тепловых пунктах постоянство расхода воды обеспечивается регулятором расхода прямого действия (рис. 5.4). В данном регуляторе эффективная площадь сильфона примерно равна площади клапана, вследствие чего регулятор разгружается от давления, действующего на клапан.

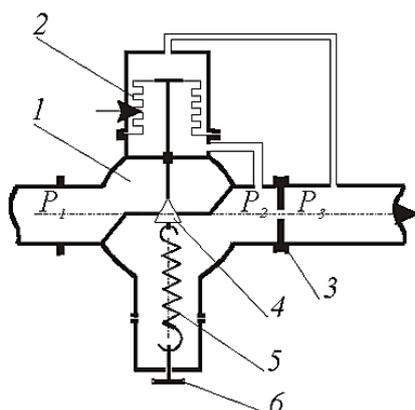


Рис. 5.4. Схема регулятора расхода (РР) прямого действия  
1 – корпус; 2 – сильфон; 3 – диафрагма; 4 – односедельный клапан; 5 – пружина; 6 – натяжной винт

Постоянство заданного расхода создается разностью давлений ( $P_2 - P_3$ ) действующего сильфона и натяжением пружины. При увеличении давления  $P_1$  расход воды через клапан и диафрагму возрастает, соответственно, увеличивается перепад давления ( $P_2 - P_3$ ). В результате этого сильфон увеличит натяжение пружины, а клапан займет новое положение, при котором расход воды останется прежним, но при более высоком давлении  $P_1$ .

### 5.4. Регулирование воды на обратном трубопроводе

Падение давления на обратном трубопроводе ниже статического давления системы и связано с возможным опорожнением системы, недопустимым даже на непродолжительное время.

Для защиты местной системы от опорожнения в небольших тепловых пунктах применяются регуляторы давления прямого действия (рис. 5.5). Отличается он закреплением клапана.

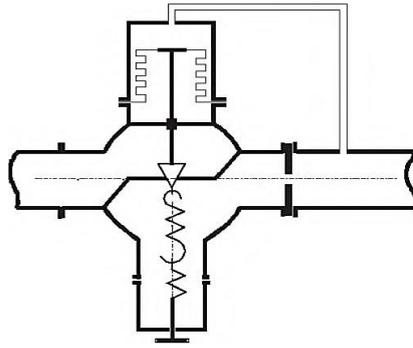


Рис. 5.5. Схема регулятора давления «до себя»

Равенство площадей сильфона и клапана разгружает регулятор от давления за ним, поэтому подъему клапана под давлением воды противодействует лишь натяжение пружины. Регулируя натяжение пружины, можно создать любое давление (под клапан).

В настоящее время наиболее эффективно и целесообразно используется схема автоматизации теплового пункта с элеватором и насосом (рис. 5.6), которая учитывает как погодный фактор, так и тепловые характеристики самого здания. Институт «Челябинскгражданпроект» разработал унифицированный бесконтактный электронный управляющий прибор, исполнительный механизм и поворотную регулируемую заслонку.

Данный блок может быть использован для стабилизации температуры воды, поступающей в систему ГВС, для управления работой caloriferных установок и регулирования расхода тепла на отопление.

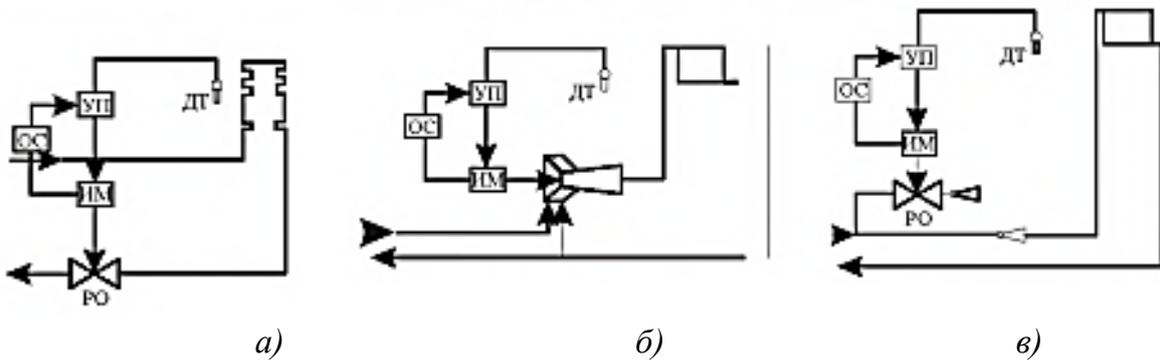


Рис. 5.6. Основные схемы автоматического регулирования отпуска тепла на отопление по внутренней температуре (начало)

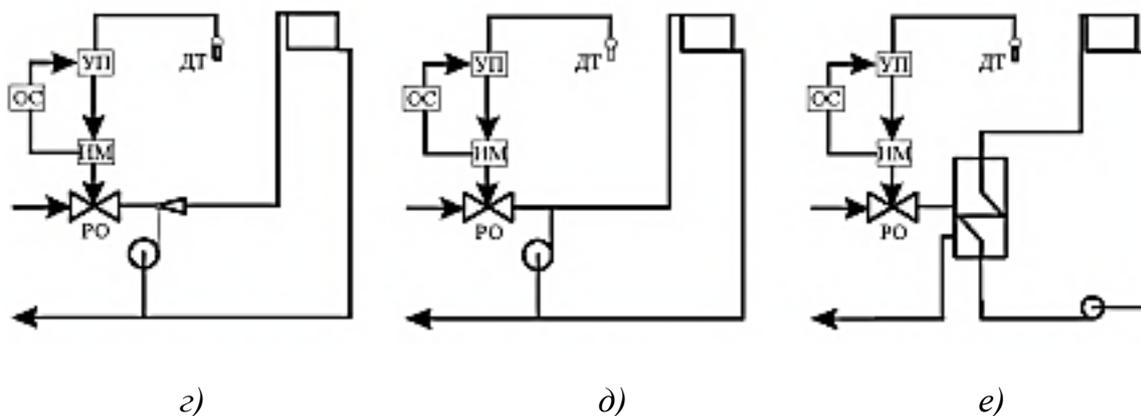


Рис. 5.6. Основные схемы автоматического регулирования отпуска тепла на отопление по внутренней температуре (окончание):

а - панельно-пофасадная бифилярная система отопления; б - элеваторная схема присоединения с регулируемым сечением сопла, в - двух элеваторная схема присоединения; г - схема присоединения с совместной работой элеватора и насоса; д - схема присоединения с насосным смешением; е - независимая схема присоединения; ДТ - датчик температуры воздуха помещения; УП - управляющий прибор; ИМ - исполнительный механизм; РО - регулирующий орган; ОС - обратная связь

### Вопросы для самоконтроля

1. Опишите качественно-количественное регулирование по смешенной нагрузке.
2. Постройте график суммарного расхода воды.
3. Дайте характеристику тепловым пунктам.
4. Перечислите оборудование тепловых пунктов.
5. Объясните автоматизацию тепловых пунктов.
6. Как осуществляется регулирование расхода воды?
7. Как осуществляется регулирование воды на обратном трубопроводе?
8. Дайте характеристику схем тепловых сетей и их структур.
9. Приведите пример гидравлического расчета тепловых сетей.

## Глава 6. ГИДРАВЛИКА

### 6.1. Гидравлические режимы

Гидравлический режим определяется взаимосвязью между расходом теплоносителя и давлением в различных точках системы в определенный момент времени.

Расчет гидравлического режима дает возможность определить перераспределение расходов и давлений в сети и определить пределы изменения допустимой нагрузки – обеспечить безаварийную эксплуатацию системы.

При разработке гидравлического режима часто используют линейную единицу давления – напор. Графическое отображение потерь расхода от напора является характеристикой сети и представляет собой квадратичную параболу (рис. 6.1)

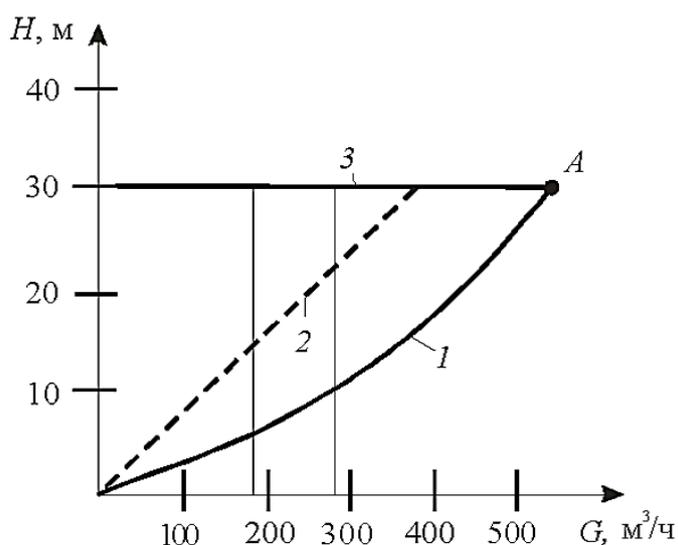


Рис. 6.1. Характеристики тепловой сети с насосами:

1 – расчетная характеристика; 2 – характеристика сети после отключения абонента; 3 – характеристика насоса

Пересечение характеристик с характеристикой насоса (точка А) определяет режим работы насоса на подающую сеть.

Напор сетевых насосов  $H_{с.н.}$  следует определять для отопительного и неотопительного периодов и принимать равным сумме потерь напора в установках на источнике теплоты  $\Delta H_{ист}$ , в подающем  $\Delta H_{под}$  и обратном  $\Delta H_{обр}$  трубопроводах, а также в местной системе теплопотребления  $\Delta H_{аб}$ .

$$H_{с.н.} = \Delta H_{ист} + \Delta H_{под} + \Delta H_{обр} + \Delta H_{аб}.$$

Потери напора в коммуникациях источника, при отсутствии более точных данных, могут быть приняты равными 30 м. Потери напора в местной системе теплоснабжения (в данном случае располагаемый напор перед квартальной системой теплоснабжения) следует принимать не менее 40 м. Потери напора в подающем и обратном трубопроводах для отопительного периода принимают по результатам гидравлического расчета при пропуске суммарных расчетных расходов воды. Для неотапительного периода потери напора в подающих трубопроводах  $\Delta H_{под}^8$  могут быть определены по следующей формуле:

$$\Delta H_{под}^S = \Delta H_{под} \left( \frac{G_{hmax}^S}{G_d} \right)^2$$

Потери напора в обратном трубопроводе открытых систем теплоснабжения в неотапительный период  $\Delta H_{обр}^8$  могут быть определены по формуле:

$$\Delta H_{под}^S = \Delta H_{под} \left( \frac{0,1 \cdot G_{hmax}^S}{G_d} \right)$$

где  $G_d$  – суммарный расход сетевой воды на головном участке системы теплоснабжения в отопительный период;

$G_{hmax}^S$  – максимальный расход сетевой воды на горячее водоснабжение в неотапительный период.

Подачу (производительность) рабочих насосов следует принимать:

а) сетевых насосов для закрытых систем теплоснабжения в отопительный период – по суммарному расчетному расходу воды;

б) сетевых насосов для открытых систем теплоснабжения в отопительный период – по суммарному расчетному расходу воды, определяемому при  $K_4 = 1,4$  по формуле

$$G_d = G_{o max} + G_{v max} + K_4 \cdot G_{h max}$$

в) сетевых насосов для закрытых и открытых систем теплоснабжения в неотапительный период – по максимальному расходу воды на горячее водоснабжение в неотапительный период.

Число сетевых насосов следует принимать не менее двух, один из которых – резервный; при пяти рабочих сетевых насосах, соединённых параллельно в одной группе, допускается резервный насос не устанавливать. Напор подпиточных насосов  $H_{п.н.}$  должен определяться из условий поддержания в водяных тепловых сетях статического напора  $H_{ст}$  и преодоления потерь напора в подпиточной линии  $\Delta H_{п.л.}$ , величина которых, при отсутствии более точных данных, принимается равной 10–20 м.

$$H_{п.н.} = H_{ст} + \Delta H_{п.л.} - z ,$$

где  $z$  – разность отметок уровня воды в подпиточном баке и оси подпиточных насосов.

Подачу подпиточных насосов  $G_{п.н.}$  в закрытых системах теплоснабжения следует принимать равной расчетному расходу воды на компенсацию утечки из тепловой сети  $G_{ут.}$ , а в открытых системах – равной сумме максимального расхода воды на горячее водоснабжение  $G_{h max}$  и расчетного расхода воды на компенсацию утечки  $G_{ут.}$ .

$$G_{п.н.} = G_{ут.}; \quad G_{п.н.} = G_{ут.} + G_{h max}.$$

Расчетный расход воды на компенсацию утечки  $G_{ут.}$  принимается в размере 0,75 % от объема воды в системе теплоснабжения, аварийный расход на компенсацию утечки принимается в размере 2 % от объема воды в системе теплоснабжения. Объем воды в системе теплоснабжения допускается принимать равным 65 м<sup>3</sup> на 1 МВт расчетного теплового потока при закрытой системе теплоснабжения и 70 м<sup>3</sup> на 1 МВт – при открытой системе теплоснабжения.

Число параллельно включенных подпиточных насосов следует принимать: в закрытых системах теплоснабжения не менее двух, один из которых является резервным; в открытых системах не менее трех, один из которых также является резервным. Технические данные насосов для систем теплоснабжения приведены в литературе [5, 6, 8]. При подборе насосов следует учитывать требования по максимальной температуре воды, по величине допускаемых напоров на всасывающем патрубке насоса. Из условий экономии потребления электроэнергии величина КПД насоса  $\eta$  не должна быть менее 90 % от величины максимального КПД  $\eta_{max}$ .

## 6.2. Расчет гидравлического режима

Расчет гидравлического режима дает возможность определить расходы воды и соответствующие потери давления. Исходными данными служат схемы сети, расчетный пьезометрический график и показание давления ТЭЦ.

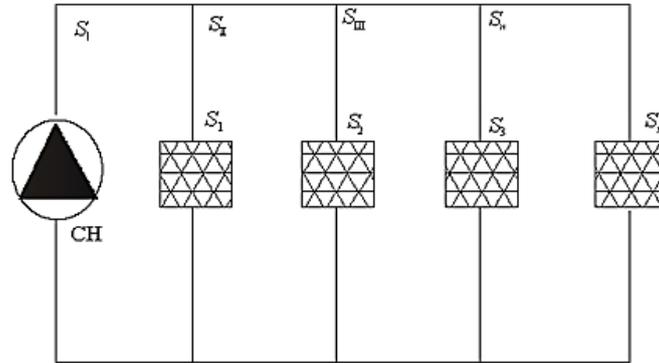


Рис. 6.2 Схема тепловой сети

Рассмотрим схему тепловой сети, имеющую n абонентов (рис. 6.2). Характеристики сопротивлений различных участков обозначим как  $S_I, S_{II}, S_N$ , а характеристики сопротивлений абонентов с учетом ответвлений  $S_{I-n}, S_{II-n}, S_{N-n}$ . Суммарный расход воды  $v$ ; расход через каждого абонента  $v_1, v_2, \dots, v_n$ . Запишем условие равенства потерь давления в параллельных участках сети

$$\Delta P_1 = S_I \cdot v_1^2 = S_{I-n} \cdot v^2 - \text{для первого абонента.}$$

$$\Delta P_2 = S_{II} \cdot v_2^2 = S_{II-n} (v - v_1)^2 - \text{для второго абонента.}$$

Из совместного решения данных уравнений можно найти относительный расход у второго абонента:

$$V = \frac{V_2}{V} = \sqrt{\frac{S_{I-n}}{S_2}} \cdot \sqrt{\frac{S_{II-n}}{S_{I-n}}}$$

Таким образом, если известен суммарный расход и характеристики отдельных участков сети, то можно найти расход воды через любого абонента. На основе расчета гидравлического режима решаются:

– возможность присоединения новых абонентов;

- аварийное резервирование системы;
- проверка работы системы.

### 6.3. Гидравлическая устойчивость

Гидравлическая устойчивость – способность системы сохранять постоянный расход теплоносителя. Гидравлическая устойчивость количественно оценивается коэффициентом  $У$  и определяется по формуле:

$$У = \frac{V'}{V_{max}},$$

где  $V'$  и  $V_{max}$  – расчетный и максимальный расход сетевой воды на абонентском вводе.

$У = 1$  может быть достигнут установкой на вводах регуляторов расхода, обеспечивающих постоянство расхода. Реально у Отклонение фактического расхода от расчетного приводит к гидравлической разрегулировке абонентов системы.

Гидравлическая устойчивость системы повышается с уменьшением потерь давления в сетях и увеличением гидравлического сопротивления абонентских установок. Целесообразны уменьшение диаметров ввода, установка дросселирующих шайб, задвижек и т. д.

### 6.4. Регулирование давления в тепловых сетях

Для обеспечения надежности работы тепловой сети и абонентских установок необходимо ограничить изменение давления допустимыми пределами. При этом особое значение имеет режим подпитки изменения давления в обратной магистрали. Повышение давления в обратном трубопроводе может вызвать недопустимый рост давления в системах теплогенерирующих установок, а также в отопительных системах, присоединенных по зависимым схемам (нарушение циркуляции).

Для ограничения колебаний давления в одной, а при сложном рельефе в нескольких точках сети, изменяют давление в зависимости от режимов работы системы. Такими точками называют «точки регули-

емого давления». Если давление в таких точках статическое, т. е. неизменяемое, то они называются нейтральными. Постоянное давление в нейтральных точках поддерживается автоматически подпитывающим устройством. Регулирование в таких точках осуществляется с помощью регулировочных вентилей.

### **6.5. Влияние ГВС на гидравлический режим системы теплоснабжения**

При отсутствии регуляторов расхода переменная нагрузка ГВС вызывает изменение расходов воды как в тепловой сети, так и в отопительных системах, особенно на конечных участках.

Центральное регулирование в таких случаях возможно лишь при обеспечении одинаковой степени изменения расхода на отопление у всех потребителей. Требуется соблюдать следующие требования:

- отношение расчетных расходов воды на ГВС и отопление должно быть одинаковым у всех абонентов;
- при начальной регулировке устанавливается одинаковое полное давление в подающей линии и обратном трубопроводе.

В связи с этим перепад давления на вводах становится одинаковым у всех абонентов.

При постоянном давлении сетевого насоса расход воды на отопление растет по мере сокращения расхода на ГВС. Это изменение тем больше, чем ниже гидравлическая устойчивость сети. Наибольшие колебания – при параллельной схеме присоединения подогревателей ГВС.

### **6.6. Гидравлический режим сетей с насосными и дросселирующими подстанциями**

Работа крупных тепловых сетей при сложном рельефе местности практически невозможна без подстанций. Они делятся на подкачивающие и смесительные.

Смесительные подстанции устанавливают на транзитных магистралях, насосы размещают на перемычках. Служат для подачи воды к

клапанам смешения, используются для автономного теплоснабжения рабочих районов (промышленных предприятий).

Дросселирующие подстанции используются для снижения давления теплоносителя к группам потребителей. Применяют с целью присоединения отопительных приборов по наиболее простой зависимой схеме.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Опишите методику расчета трубопровода.
2. Дайте последовательность расчета тепловых сетей.
3. Дайте характеристику построения пьезометрического графика.
4. Охарактеризуйте основные гидравлические режимы течения жидкости и газа.
5. Приведите пример расчета гидравлического режима.
6. Дайте определение гидравлической устойчивости.
7. Как осуществляется регулирование давления в тепловых сетях?
8. Опишите влияние ГВС на гидравлический режим системы теплоснабжения.

## Глава 7. ТРУБЫ И АРМАТУРА

### 7.1. Трубы

Трубы – наиболее ответственный элемент тепловых сетей, к ним предъявляется ряд эксплуатационных требований:

- высокая прочность и герметичность;
- малый коэффициент линейных удлинений;
- антикоррозийная стойкость;
- высокое термическое сопротивление стенок трубы;
- неизменность свойств материалов труб;
- небольшая стоимость;
- простота монтажа и надежность соединений.

В тепловых сетях основное применение нашли бесшовные горячекатаные и электросварные трубы (ГОСТ 8732–78, ГОСТ 10706-76, ГОСТ 8696-74, ГОСТ 10704-91).

Трубопровод – сооружение из труб, деталей трубопровода, арматуры, плотно соединенных между собой, предназначенное для транспортирования газообразных и жидких продуктов. Технологическими называют трубопроводы промышленных предприятий, по которым транспортируют сырье, полуфабрикаты, готовые продукты, пар, воду, топливо, реагенты и другие материалы, обеспечивающие выполнение технологического процесса и эксплуатацию оборудования, отработанные реагенты, газы, различные промежуточные продукты, полученные или используемые в технологическом процессе, отходы производства.

Соединение фланцевое – неподвижное разъемное соединение трубопровода, герметичность которого обеспечивается путем сжатия уплотнительных поверхностей непосредственно друг с другом или через посредство расположенных между ними прокладок из более мягкого материала, сжатых крепежными деталями.

Соединение сварное – неподвижное соединение трубопровода, герметичность которого обеспечивается за счет применения сварки.

Отвод – фасонная деталь трубопровода, обеспечивающая изменение направления потока транспортируемого вещества.

Тройник – фасонная деталь трубопровода для слияния или деления потоков транспортируемого вещества под углом 90° .

Штуцер – деталь, предназначенная для присоединения к трубопроводу арматуры, контрольно-измерительных приборов ит. п.

Переход – фасонная деталь трубопровода, предназначенная для расширения или сужения потока транспортируемого вещества.

Участок трубопровода – часть технологического трубопровода из одного материала, по которому транспортируется вещество при постоянном давлении и температуре.

Трубопроводная арматура – устройства, устанавливаемые на трубопроводах и обеспечивающие управление потоками рабочих сред.

Условный проход  $D_y$  – номинальный внутренний диаметр трубопровода.

Условное давление  $P_y$  – наибольшее избыточное давление при температуре вещества или окружающей среды  $20^{\circ}\text{C}$ , при котором допустима длительная работа арматуры и деталей трубопровода, обоснованная расчетом на прочность, при выбранных материалах и характеристиках их прочности, соответствующих этой температуре.

Рабочее давление  $P_p$  – наибольшее безопасное избыточное давление, при котором обеспечивается заданный режим эксплуатации арматуры и деталей трубопроводов.

Пробное давление  $P_{пр}$  – избыточное давление, при котором должно проводиться гидравлическое испытание арматуры и деталей трубопроводов на прочность и плотность водой при температуре не менее  $+5^{\circ}\text{C}$  и не более  $+40^{\circ}\text{C}$ .

В зависимости от транспортируемой среды применяются названия водопровод, паропровод, воздухопровод, маслопровод, газопровод, нефтепровод, продуктопровод и т. д.

Стальные трубы соединяются электрической или газовой сваркой. В процессе монтажа стыки должны быть подвержены механическому и кристаллографическому контролю по техническим условиям. В местах соединений возникают следующие напряжения:

- внутреннее давление теплоносителя;
- изгибающие напряжения;
- температурные деформации;
- скручивающие напряжения;
- напряжение от нагрузок (снег, транспорт, грунт).

Расчет надежности ведется по РД 10-400-01 «Нормы расчета на прочность трубопроводов тепловых сетей».

Условный проход  $D_y$  – номинальный внутренний диаметр трубопровода (мм). Труба при одном и том же наружном диаметре, в зависимости от толщины стенки, может иметь различные внутренние диаметры.

Для сокращения количества видов и типоразмеров входящих в состав трубопроводов соединительных деталей и арматуры используют единый унифицированный ряд условных проходов  $D_y$ . Для технологических трубопроводов наиболее часто применяют условные проходы, мм: 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600. Этот ряд условных проходов введен для ограничения числа применяемых при проектировании и сооружении трубопроводов и, как следствие, сокращения числа типоразмеров входящих в их состав труб, соединительных деталей и арматуры.

При выборе трубы для трубопровода под условным проходом понимают ее расчетный округленный внутренний диаметр. Например, для труб наружным диаметром 219 мм и толщиной стенки 6 и 16 мм, внутренний диаметр которых соответственно равен 207 и 187 мм, в обоих случаях принимают ближайший условный диаметр трубы, т. е.  $D_y = 200$  мм.

Для выбора материала и расчета конструкции трубопровода в зависимости от давления и температуры транспортируемого по трубопроводу продукта введено понятие «условное давление».

Условное давление  $P_y$  – это наибольшее избыточное рабочее давление (при температуре среды 20°C), при котором обеспечивается длительная работа арматуры и соединительных частей трубопроводов. Унифицированный ряд условных давлений установлен ГОСТ 356-80 для сокращения числа типоразмеров арматуры и деталей трубопроводов, МПа: 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 160; 250.

Все технологические трубопроводы с давлением до 100 кгс/см<sup>2</sup> включительно в зависимости от класса опасности транспортируемого вещества (взрывопожароопасность и вредность) подразделяются на группы (А, Б, В) и в зависимости от рабочих параметров среды (давление и температура) на пять категорий (I, II, III, IV).

По методу прокладки труб трубопроводы или их участки подразделяют на:

- подземные – трубы прокладывают в траншее под землей;
- наземные – трубы прокладывают на земле;
- надземные – трубы прокладывают над землей на стойках, опорах или с использованием в качестве несущей конструкции самой трубы;
- подводные – сооружают на переходах через водные препятствия (реки, озера и т. п.), а также при разработке морских месторождений.

Расположение трубопроводов должно обеспечивать:

- безопасность и надежность эксплуатации в пределах нормативного срока;
- возможность непосредственного контроля за техническим состоянием;
- возможность выполнения всех видов работ по контролю, термической обработке сварных швов и испытанию;
- изоляцию и защиту трубопроводов от коррозии, вторичных проявлений молний и статического электричества;
- предотвращение образования ледяных и других пробок в трубопроводе;
- исключение провисания и образования застойных зон;
- возможность беспрепятственного проезда специальных транспортных средств (грузоподъемные машины, пожарные машины и т. п.).

При изготовлении и монтаже стальных технологических трубопроводов используют приварные соединительные детали следующего назначения: отводы для изменения направления потоков транспортируемого продукта, переходы для изменения диаметра трубопровода, тройники, тройниковые соединения, крестовины для устройства ответвлений, заглушки для закрытия свободных концов трубопроводов.

Отводы по конструкции и способу изготовления подразделяются на бесшовные крутоизогнутые, гнутые, сварные и штампосварные (секционные) (рис. 7.1–7.3)

Отводы бесшовные крутоизогнутые имеют малый радиус изгиба ( $1-1,5 D_y$ ), одинаковую толщину стенки на выпуклой и вогнутой образующей, небольшие габариты. Их применение обеспечивает компактное расположение трубопроводов и оборудования и, как следствие, экономию производственной площади. Такие отводы изготавливают из бесшовных труб без прямых участков на концах способом горячей протяжки на специализированных гидравлических прессах или штамповкой.

Крутоизогнутые отводы можно устанавливать на трубопроводах всех категорий.

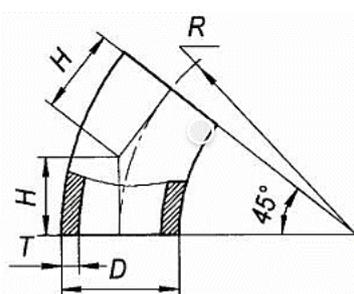


Рис. 7.1. Отвод крутоизогнутый, угол  $45^\circ$

Отводы гнутые изготавливают из бесшовных и сварных труб гибкой на трубогибочных станках в холодном и горячем состоянии. Для уменьшения утоньшения стенок в процессе гибки такие отводы изготавливают с радиусом изгиба не менее  $2D_y$ .

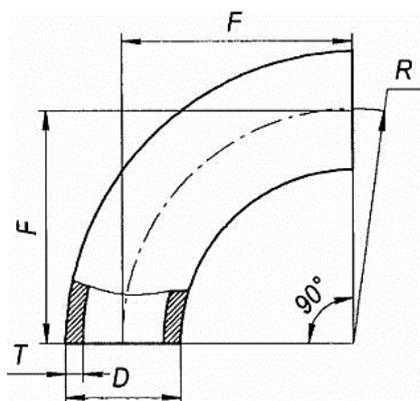
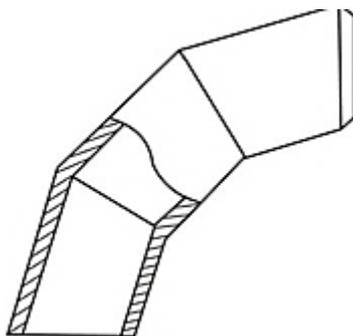


Рис. 7.2. Отвод крутоизогнутый, угол  $90^\circ$

Гнутые отводы имеют на концах прямые участки, это вызвано технологией гибки. Гнутые бесшовные отводы можно устанавливать на технологических трубопроводах всех категорий.

Поскольку изготовление гнутых отводов более трудоемко, чем крутоизогнутых, их рекомендуется применять на трубопроводах, для которых отсутствуют крутоизогнутые (для трубопроводов из легированных сталей, трубопроводов специального назначения), а также когда по проекту требуется большой радиус изгиба.

Отводы сварные (секционные) изготавливают из бесшовных и электросварных труб путем вырезки отдельных секций и их последующей сборки, и сварки. Радиус сварных отводов обычно небольшой –  $1-1,5D_y$ .



*Рис. 7.3. Отвод сварной, угол 90°*

Такие отводы рекомендуется применять в трубопроводах с условным давлением до 6,4 МПа, и только в тех случаях, когда отсутствуют крутоизогнутые или гнутые отводы.

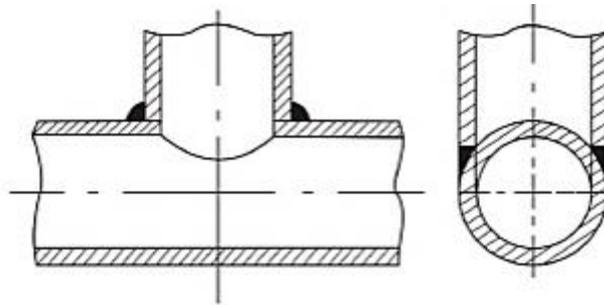
Для трубопроводов пара и горячей воды, подконтрольных Госгортехнадзору России, сварные отводы допускается применять только для трубопроводов III и IV категорий.

Отводы штамповарные изготавливают из листовой стали путем штамповки полуотводов на прессах с последующей сборкой и сваркой двух продольных швов. Такие отводы применяют для трубопроводов с  $D_y = 600$  мм и более вместо сварных секционных.

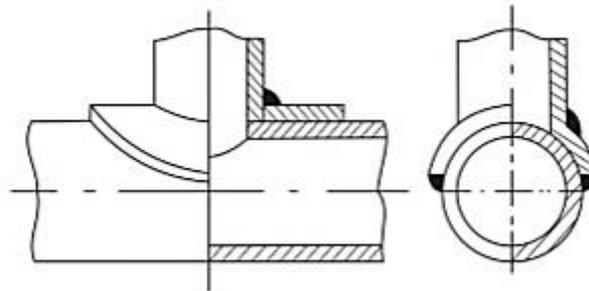
Тройники и ответвления по конструкции подразделяют на равнопроходные без уменьшения диаметра ответвления и переходные – с уменьшением диаметра ответвления.

Разнообразие конструкций ответвлений и тройников вызвано тем, что прочность участка трубопровода в местах образования отверстия резко снижается.

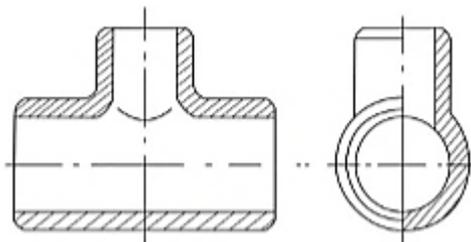
Наибольшее снижение прочности трубопроводов происходит в равнопроходных сварных ответвлениях, получаемых путем врезки без укрепляющих элементов (рис. 7.4).



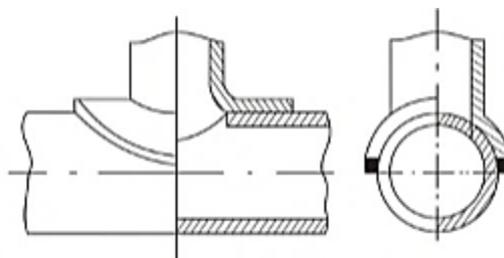
*Рис. 7.4. Врезки без укрепляющих элементов*



*Рис. 7.5 Врезка с накладным воротником*



*Рис. 7.6. Штампованный тройник*



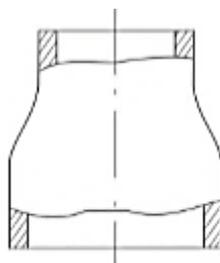
*Рис. 7.7. Накладные седловины*

Такие соединения применяют обычно на  $P_y$  до 2,5 МПа, а для более высоких давлений соединения врезкой можно применять только для переходных ответвлений или с укрепляющими элементами, например с накладным воротником (рис. 7.5).

Часто необходимая прочность и надежность соединения обеспечивается за счет бесшовного сопряжения горловины ответвления.

Конструкции таких соединений получают с помощью штампованных тройников (рис. 7.6), врезных или накладных седловин (рис. 7.7). Штампованные бесшовные тройники наиболее целесообразно применять при соотношении диаметра основного трубопровода (магистрала) и ответвления 1–0,7.

Переходы по конструкции подразделяют на концентрические (рис. 7.8) и эксцентрические (рис. 7.9).



*Рис. 7.8. Бесшовный концентрический переход трубопроводов*

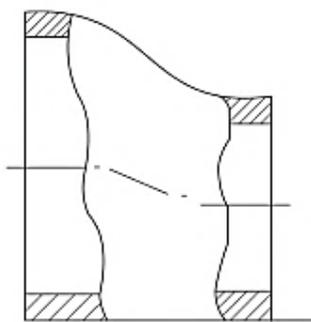
Концентрические переходы применяют преимущественно для линий трубопроводов, расположенных вертикально, а эксцентрические – для трубопроводов, расположенных горизонтально. Применение эксцентрических переходов позволяет избежать образования так называемых мешков в трубопроводе, облегчает удаление продуктов из трубопровода при его отключении

Заглушки по конструкции подразделяют на сферические, плоские и плоские ребристые.

При строительстве, эксплуатации и ремонте трубопроводов соединения труб между собой, а также с арматурой, технологическим оборудованием, контрольно-измерительными приборами бывают разъемными и неразъемными. К неразъемным соединениям относятся соединения, получаемые путем сварки или пайки. К разъемным –

фланцевые, резьбовые (штуцерные, муфтовые, дюритовые), бугельные и др.

Выбор соединения зависит от материала соединяемых деталей, давления, температуры и физико-химических свойств (агрессивности, токсичности, способности к застыванию или выпадению осадка) транспортируемой среды, условий эксплуатации (герметичности, необходимости частых разборок, огне и взрывоопасности производства).



*Рис. 7.9. Бесшовный эксцентрический переход трубопроводов*

Наиболее широко распространен способ получения неразъемных соединений технологических трубопроводов путем электродуговой сварки, которая обеспечивает высокую прочность, надежность и плотность соединений.

При эксплуатации трубопроводов, техобслуживании и ремонте часто возникает необходимость в разъеме (разъединении) отдельных частей трубопроводов, снятии для замены или ремонта предохранительной и регулирующей арматуры и контрольно-измерительных приборов. Для этих целей используются разъемные соединения: фланцевые, резьбовые и др.

Фланцы являются наиболее распространенным видом разъемного соединения трубопроводов. Они имеют простую конструкцию, легко собираются и разбираются.

Недостатком фланцевых соединений по сравнению со сварными является более высокая трудоемкость и стоимость изготовления, и меньшая надежность в эксплуатации, так как при колебаниях температуры или давления транспортируемого продукта возможна их разгерметизация и возникновение утечки. В связи с этим использование фланцевых соединений в трубопроводах ограничивают и применяют

их только для присоединения к фланцевой арматуре, к штуцерам оборудования, для трубопроводов, требующих периодической разборки для очистки внутренней полости или замены участков повышенной агрессивности, а также временных, периодически демонтируемых.

С целью обеспечения взаимозаменяемости фланцев всех типов их присоединительные размеры (наружный диаметр, диаметр болтовой окружности, число и диаметры болтовых отверстий) стандартизованы и установлены одинаковыми для одних и тех же условных давлений, и проходов независимо от конструкции и материала фланца.

Крепежные детали (болты, шпильки, гайки и шайбы) предназначены для сборки фланцевых соединений, арматуры и крепления трубопровода на опорах и опорных конструкциях.

Шпильки имеют преимущества перед болтами, так как у шпилек при их затяжке напряжения распределяются более равномерно, а у болтов в местах перехода стержня в головку происходит концентрация напряжений. Кроме того, шпильки можно устанавливать в труднодоступных местах.

Прокладочные материалы подразделяются на неметаллические и металлические. Металлические прокладки используются для ответственных объектов и тяжелых условий работы арматуры (высокой температуры, высокого давления и т.д.), но они требуют значительно больших усилий затяжки соединений, чем мягкие прокладки.

Резина является наиболее пригодным материалом для уплотнения разъемных соединений. Она эластична, требует небольших усилий затяжки уплотнений, практически непроницаема для жидкостей и газов. Резина применяется до температуры +50 °С, а теплостойкая резина до + 140 °С.

Прокладки из целлюлозного прокладочного картона используются в арматуре для пара и воды при рабочей температуре до 120 °С и рабочем давлении  $P_p$  до 6 кгс/см<sup>2</sup>, для масла  $t_p < 80$  °С и до 4 кгс/см<sup>2</sup>. Применяется картон водонепроницаемый и прокладочный (пропитанный), последний используется и для нефтепродуктов при  $t < 85$  °С и  $P_p < 6$  кгс/см<sup>2</sup>.

Для высоких температур целлюлозный картон непригоден. Фибра листовая (ФЛАК) представляет собой бумагу или целлюлозу, обработанную цинком и затем каландрированную. Применяется для

прокладок в арматуре при температуре до 100 ос. Используется при работе на керосине, бензине, смазочном масле, кислороде и углекислоте. Асбест в качестве прокладочного материала используется в арматуре при повышенных и высоких температурах. Материал минерального происхождения.

Асбестовый непропитанный картон имеет рыхлое строение, низкую прочность, но высокую жаростойкость, используется для арматуры, работающей при температуре до 600 °С, для арматуры, не работающей на жидкости. Пропитанный натуральной олифой асбестовый картон может быть использован для нефтепродуктов при давлении до 6 кгс/см<sup>2</sup> и температуре до 180 °С, однако замена его при смене прокладок или ремонте арматуры затруднена, так как он прилипает к металлическим поверхностям.

Листовой паронит изготавливается из смеси асбестовых волокон (60–70 %), растворителя, каучука (12–15 %), минеральных наполнителей (15–18 %) и серы (1,5–2,0 %) путем вулканизации под большим давлением. Паронит является универсальным прокладочным материалом и используется в арматуре трубопроводов насыщенного и перегретого пара, растворов щелочей и слабых растворов кислот, аммиака, масел и нефтепродуктов при температуре до 450°С.

Чтобы улучшить плотность и увеличить сопротивление распору прокладки средой, на уплотняющих поверхностях соединения обычно создают две-три узкие канавки треугольного сечения, в котором паронит вдавливается под действием усилия затяжки. Такие канавки делаются и при использовании других неметаллических прокладок.

Согласно ГОСТ 481–80 паронит листовой выпускается четырех марок: ПОН (паронит общего назначения), ПМБ (паронит маслобензостойкий), ПА (паронит, армированный сеткой), ПЭ (паронит электролизный). Листы паронита имеют толщину листов от 0,4 до 7,5 мм.

Металлические прокладки изготавливаются в виде плоских колец прямоугольного сечения из листового материала или в виде колец фасонного сечения из труб или поволоков. Помимо этого, изготавливаются комбинированные прокладки, состоящие из мягкой сердцевины (асбеста или паронита), облицованной листовым материалом из алюминия, малоуглеродистой стали или коррозионностойкой стали.

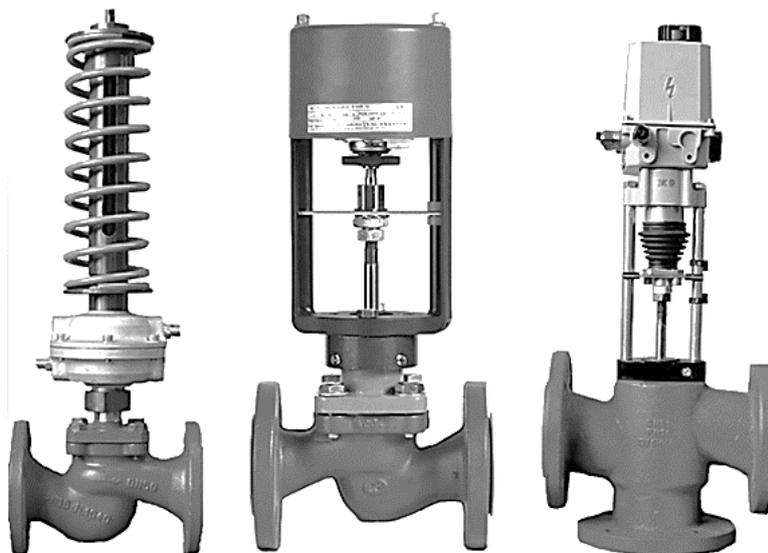
Достоинства металлических прокладок: достаточная плотность при высоких давлениях и температурах среды, коэффициент линейного расширения близок к коэффициенту линейного расширения материала фланца и шпилек, они могут быть использованы несколько раз после ремонта. К недостаткам следует отнести: необходимость создания больших усилий для обеспечения плотности соединения, относительно низкие упругие свойства.

В зависимости от конструкции присоединительных патрубков арматура подразделяется на фланцевую, муфтовую, цапковую и приварную. Муфтовая и цапковая чугунная арматура рекомендуется только для трубопроводов с условным проходом не более 50 мм, транспортирующих негорючие нейтральные среды. Муфтовая и цапковая стальная арматура может применяться на трубопроводах для всех сред при условном проходе не более 40 мм. Фланцевая и приварная арматура допускается к применению для всех категорий трубопроводов.

## 7.2. Запорная арматура

По характеру выполняемых функций арматуру подразделяют на *регулирующую, предохранительную, запорную*.

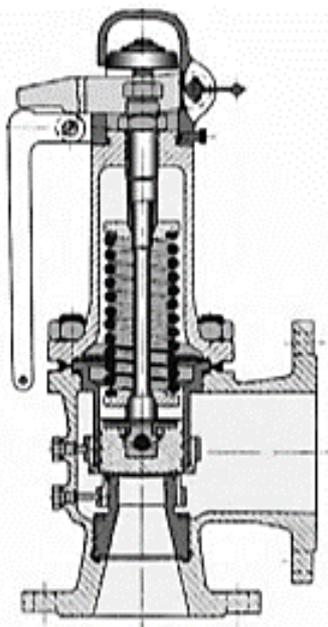
Регулирующая арматура предназначена для регулирования параметров продукта изменением его расхода (рис. 7.10) (регулирующие вентили и клапаны, регуляторы прямого действия).



7 10 Регулирующая арматура

Предохранительная арматура предназначена для предохранения аппаратов и трубопроводов от недопустимого повышения давления (предохранительные, перепускные и обратные клапаны). Эта конструкция получила широкое распространение благодаря возможности регулирования давления подъема и посадки тарелки клапана. Пружинные клапаны регулируются путем завинчивания затяжной гайки пружины с определенным усилием, обеспечивающим срабатывание клапана при возрастании давления выше установленного предела (рис. 7.11).

Между котлом и предохранительным клапаном установка каких бы то ни было запорных устройств запрещается. Так как при длительном пребывании в закрытом положении уплотняющие кольца тарелки и корпуса могут «прикипеть», необходимо производить периодическую проверку работоспособности клапана. С этой целью предохранительные клапаны снабжаются устройством, позволяющим производить пробное срабатывание («подрыв») клапана. С этой целью предохранительные клапаны снабжаются устройством, позволяющим производить пробное срабатывание («подрыв») клапана.

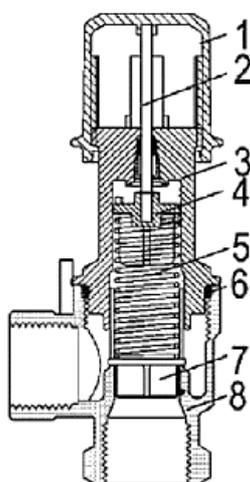


*Рис.76.11. Пружинный клапан*

Перепускные клапаны по своему назначению близки к предохранительным. Они предназначены не для ликвидации аварийных условий, а являются элементом системы, в которой возможно повышение

давления, но оно нежелательно. Поэтому перепускные клапаны срабатывают значительно чаще, чем предохранительные, и служат для перепуска продуктов из трубопровода с высоким давлением в трубопровод с низким давлением (рис. 7.12).

Перепускное устройство состоит из двух предохранительных клапанов: перепускного клапана  $Dy = 200$  мм и импульсного клапана  $Dy = 50$  мм. При повышении давления открывается импульсный клапан, и среда поступает в перепускной клапан. Поршень движется вверх, сжимая тарельчатые пружины, поднимает шток и открывает перепускной клапан; при этом среда из трубопровода высокого давления сбрасывается в трубопровод низкого давления.



*Рис. 7.11. Перепускной клапан*

- 1 – регулировочная рукоятка; 2 – шток настройки клапана;  
3 – крышка; 4 – направляющая пружины;  
5 – пружина; 6 – уплотнительное кольцо;  
7 – затвор клапана; 8 – корпус*

Обратные клапаны служат для предотвращения обратного потока среды в трубопроводе, например при остановке насоса в системе и т. д. Обратные клапаны подразделяются на подъемные и поворотные.

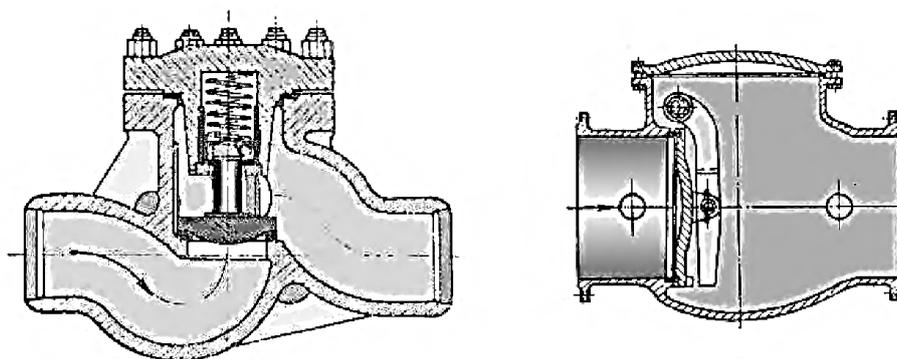
В подъемном обратном клапане при прохождении среды в заданном направлении тарелка поднимается над седлом, открывая проход.

Поворотные обратные клапаны большого диаметра оборудуются обводом, регулируемым задвижкой. Обвод необходим для предотвращения гидравлического удара в системе при срабатывании клапана. С этой же целью обратные поворотные клапаны в некоторых случаях

снабжаются гидравлическим демпфером, связанным с поворотной осью тарелки.

Запорная арматура предназначена для отключения потока транспортируемого продукта (краны, вентили, задвижки).

Краны применяются главным образом для трубопроводов малых диаметров. Положительными качествами крана являются: простота конструкции, компактность, малое гидравлическое сопротивление, сравнительно небольшие размеры по высоте, возможность предохранения уплотняющих поверхностей корпуса и пробки от воздействия протекающей среды при открытом положении крана и возможность применения смазки уплотняющих поверхностей, так как уплотняющие поверхности корпуса и пробки соприкасаются постоянно. Вместе с тем краны имеют недостатки: сравнительно быстрый износ и потеря плотности корпусного соединения в связи с большим трением соприкасающихся поверхностей при повороте пробки, относительная сложность процесса притирки пробки и корпуса крана. Краны изготавливаются из латуни, бронзы, чугуна, стали и других материалов.



*Рис. 7.13. Пружинный клапан*

Краны подразделяются на две большие группы: сальниковые и натяжные.

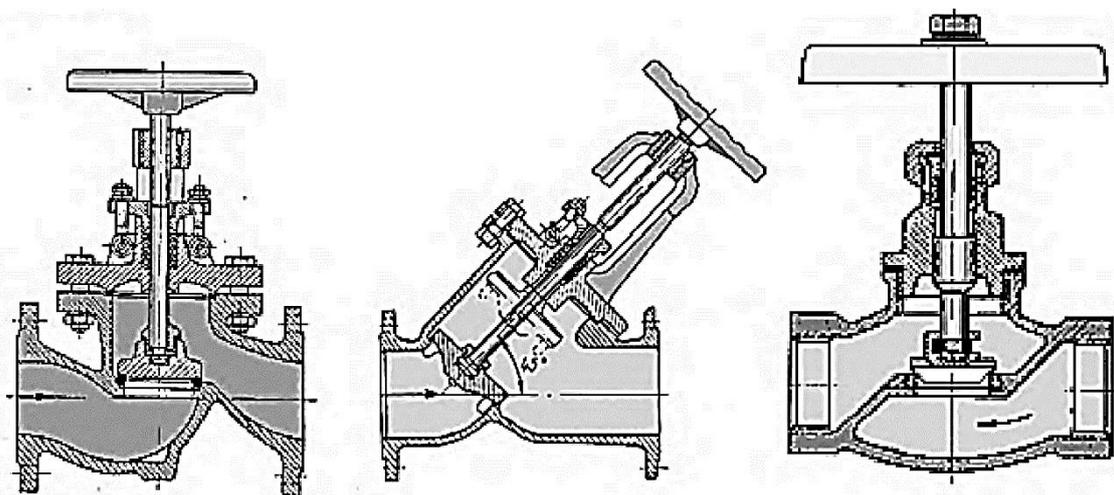
Применение в вентилях резьбы, обладающей свойствами самоторможения, позволяет оставлять тарелку клапана в любом положении, прилагать малые усилия на маховике для управления вентилем. Вентиль отличается простотой конструкции (рис. 7.14) и создает хорошие условия для обеспечения надежной плотности при закрытом положении затвора. Наиболее широко вентили используются на трубо-

проводах малого диаметра, т. к. по мере увеличения условного диаметра трубопровода, начиная с  $Dy50$  мм, уступают по основным показателям задвижкам.

Положительным качеством вентиля является сравнительно небольшой ход тарелки, необходимый для полного открытия вентиля.

Задвижки имеют очень большое распространение и применяются обычно для трубопроводов от  $Dy = 50$  мм до  $Dy 2000$  мм.

Положительными качествами задвижки являются сравнительная простота конструкции и малое гидравлическое сопротивление (по сравнению с вентилями), поэтому в нефтеперерабатывающей промышленности в качестве запорного устройства, как правило, используются задвижки. Недостатком задвижек является их относительно большая высота.



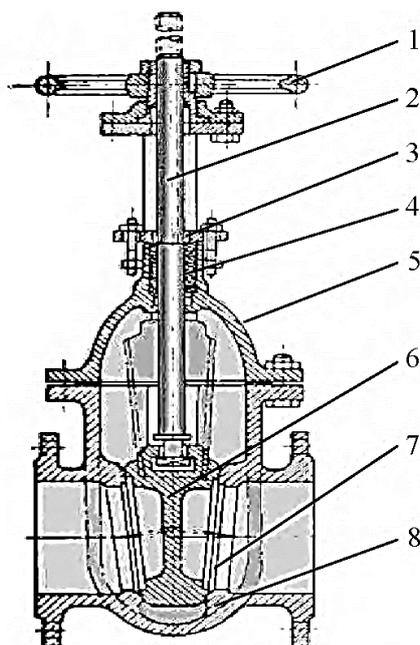
*Рис. 7.14. Вентили*

Задвижки обычно изготавливаются полнопроходными, т. е. диаметры отверстий в проходах задвижки не сужаются.

Большое значение для работы задвижек имеет расположение резьбы шпинделя и ходовой гайки – расположены ли они внутри задвижки, в среде или вынесены за пределы зоны рабочей среды. По этому признаку задвижки можно подразделить на задвижки с выдвижным и не выдвижным шпинделем (рис. 7.15, 7.16).

У первых резьба находится снаружи, у вторых – внутри полости задвижки, но для коррозионных сред и других ответственных случаев вторые, как правило, не применяются, т. к. затруднены наблюдение, уход и ремонт резьбовой пары.

В зависимости от расположения уплотняющих колец в корпусе задвижки можно разделить на параллельные и клиновые. В параллельных задвижках уплотняющие кольца корпуса расположены параллельно, а в клиновых кольца расположены под углом. В задвижках используется либо ручной привод, либо электрический. Находят применение и поршневые гидравлические или пневматические приводы. Для уменьшения крутящего момента на маховике ручного управления используют редуктор с червячной передачей или редуктор с зубчатой конической передачей.



*Рис. 7.15. Задвижка клиновая с цельным клином:*

*1 – маховик; 2 – шпindel; 3 – нажимная втулка; 4 – сальник; 5 – крышка задвижки; 6 – клин; 7 – седло; 8 – корпус*

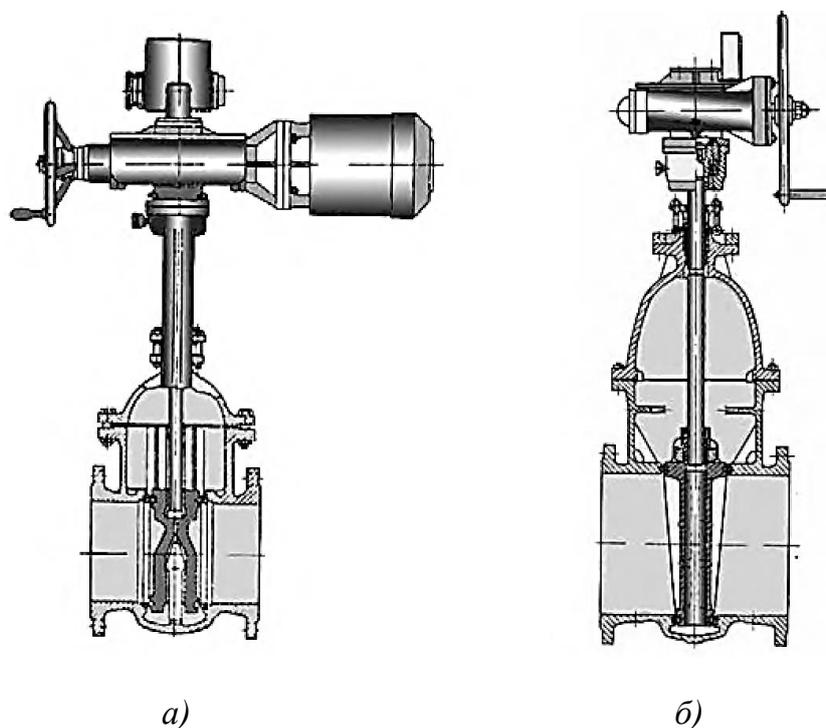
Запорная регулирующая предохранительная арматура предназначена для регулирования режимов потребления и управления работой тепловой сети, чаще всего применяют стальную арматуру. Арматура имеет условные обозначения, состоящие из цифр и букв.

Первые две буквы обозначают тип арматуры: 10 – спускные краны, 14, 15 – вентили, 16 – обратные подъемные клапаны, 17 – предохранительные клапаны, 18 – редукционные клапаны, 25 – регулируемые клапаны, 30 – задвижки, 45 – конденсатоотводчики и т. д.

Далее буквы, обозначающие материал, из которого изготовлен корпус арматуры: 30С – сталь углеродистая, ЛС – сталь легированная,

НЖ – сталь коррозионностойкая, КЧ – ковкий чугун, Ч – серый чугун, Б – бронза, Л – латунь, А – алюминий, П – пластмасса.

После букв идут цифры, указывающие конфигурации арматуры. В трехцифровом значении первая – вид привода: 3 – червячный, 4 – зубчатый, 5 – зубчатый конический, 6 – пневматический, 7 – гидравлический, 8 – электромагнитный, 9 – электрический.



*Рис. 7.16. Задвижка:  
а – параллельная с выдвижным шпинделем  
и электроприводом; б – клиновая с червячным приводом*

Буквы в конце обозначают материал уплотнительной поверхности: БР – бронза, Л – латунь, НЖ – нержавеющая сталь, К – кожа, Р – резина.

Вентили имеют запорный орган (золотник), который плотно прилегает к седлу, за счет чего создается герметичность. Крышка вентиля крепится болтами на резьбе. Подтяжка сальника (уплотнителя) производится двумя откидными болтами, прикрепленными на крышке.

Вентили бывают фланцевые и бесфланцевые. Делятся на приварные и муфтовые. Потеря давления регулируется расположением шпинделя. Имеют наименьшее гидравлическое сопротивление. Уплотнение создается уплотнительными кольцами из бронзы или нержавеющей стали. В клиновых затвор со стоит из сплошного клина, и уплотнение

обеспечивается путем прилегания клина к кольцам корпуса. В параллельных задвижках затвор состоит из двух дисков с плоскостями, параллельно расположенными к уплотнительным поверхностям. Задвижка устанавливается на трубопроводы с диаметрами более 500 мм обязательно с электроприводом. Установка задвижек шпинделем вниз не допускается. Бесфланцевые задвижки применяются на ответственных трубопроводах высокого давления.

Фасонные изделия (отводы, тройники, крестовины, переходы диаметров) с целью увеличения прочности изготавливаются из труб с повышенной толщиной стенки. Бывают стальные и гнутые.

### 7.3. Опоры

По назначению опоры подразделяются на подвижные и неподвижные (рис. 7.17–7.19). Подвижные (рис. 7.17) воспринимают вес трубопровода и обеспечивают свободное перемещение на строительных конструкциях. Используются при всех способах прокладки кроме бесканальной. По принципу перемещения делятся на опоры скольжения, качения и подвесные (рис. 7.18).

Типовые конструкции опор выполняют высокие и низкие. Высокие (140 мм) – толщина теплоизоляции более 80 мм. Низкие (90 мм) – толщина теплоизоляции до 80 мм. Опоры скользящего типа применяют при всех способах прокладки трубопроводов и различных диаметрах. При увеличении диаметра более 175 мм трение существенно возрастает. Начинают применять опоры качения.

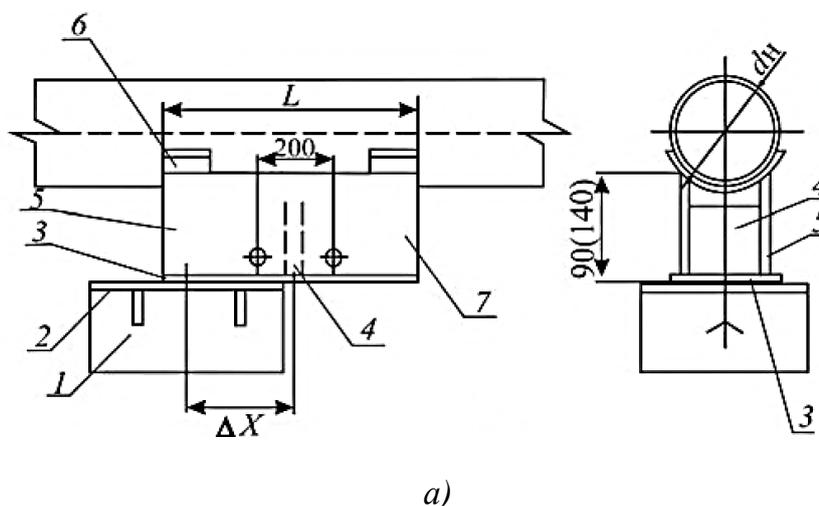


Рис. 7.17 Опоры подвижные

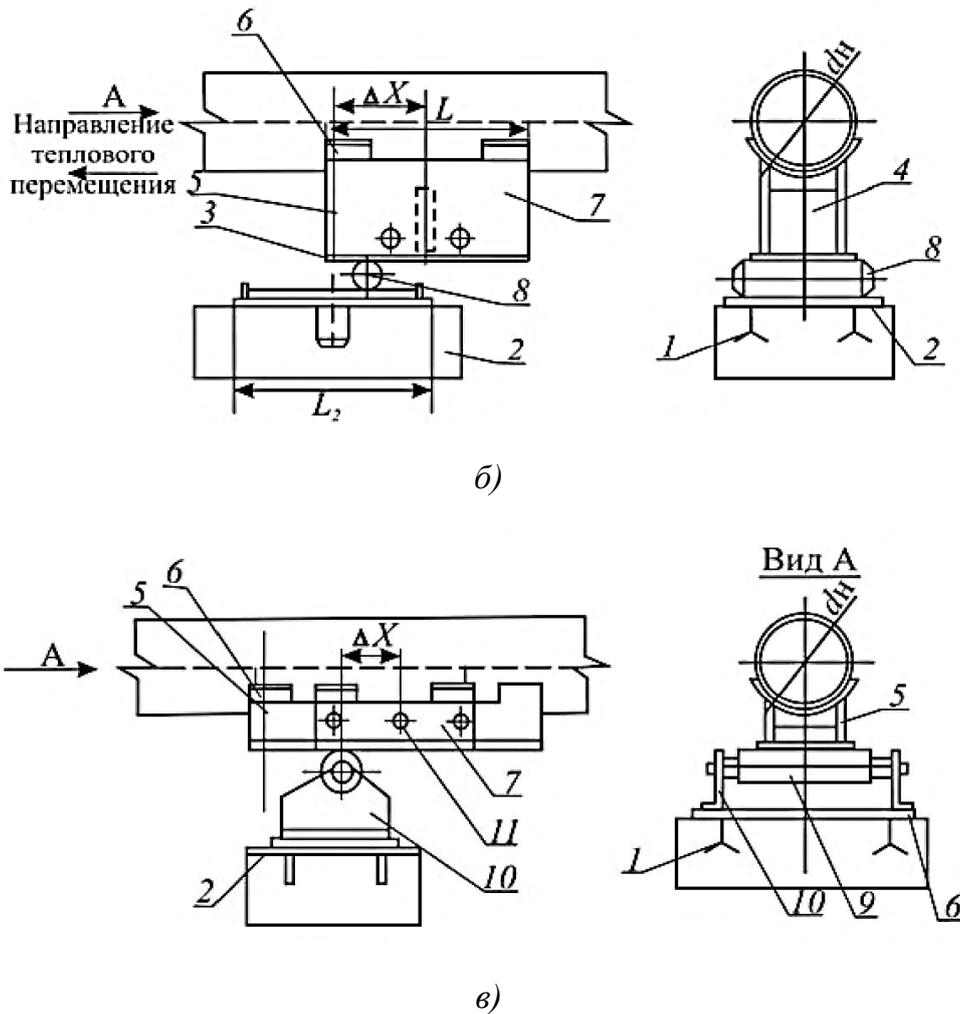


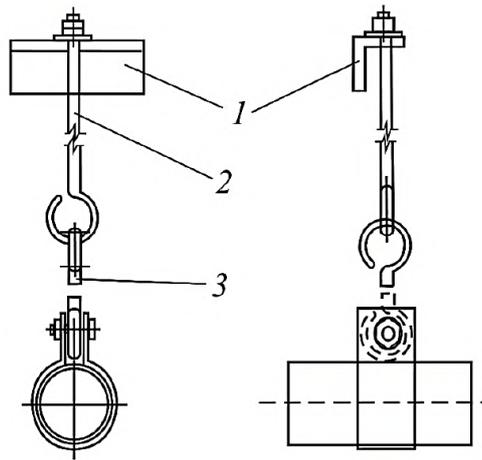
Рис. 7.17. Опоры подвижные (продолжение)

а – скользящая подвижная опора; б – катковая; в – роликовая  
 1 – лапа; 2 – опорная плита; 3 – основание; 4 – ребро; 5 – ребро боковое; 6 – подушка; 7 – монтажное положение опоры; 8 – каток; 9 – ролик; 10 – кронштейн; 11 – отверстия

Катковые и роликовые опоры надежно работают только на прямых участках. На поворотах перемещение продольное и поперечное, поэтому применяют шариковые опоры.

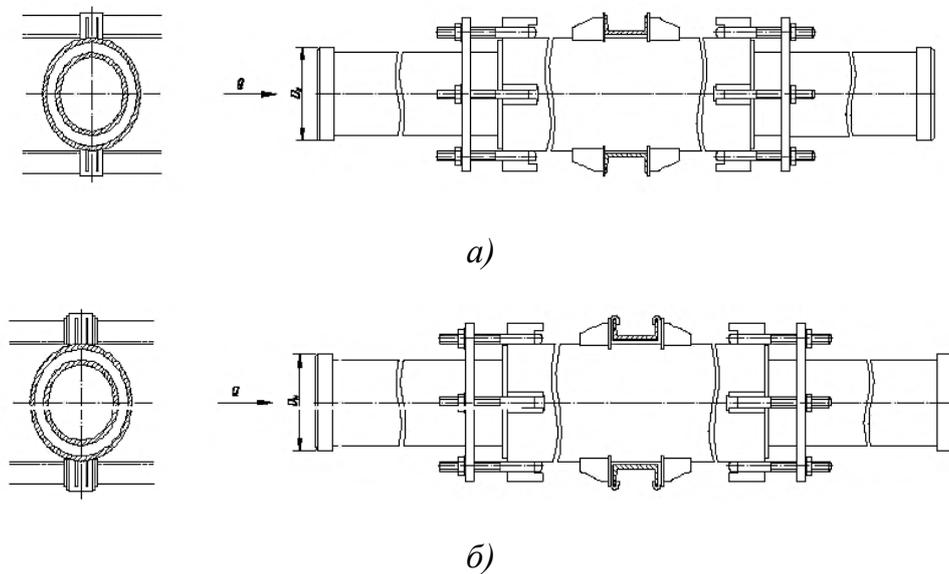
Подвесные опоры применяют при небольшом диаметре. Нежесткая конструкция легко поворачивается и перемещается.

Неподвижная опора служит для разделения теплопроводов на участки, которые не зависят друг от друга в восприятии напряжений. Размещают опоры между компенсаторами и участками трубопроводов с естественной компенсацией температурных удлинений.



*Рис. 7.18. Подвесная опора:*

*1 – кронштейн; 2 – подвесной болт; 3 – тяга*



*Рис. 7.19. Опоры неподвижные лобовые для сальниковых компенсаторов*

*Дн530-820:*

*а – обыкновенные, б – с защитой от электрокоррозии*

Лобовые опоры применяются в проходных и полупроходных камерах (рис. 7.20-7.22).

Щитовые опоры используются для неподвижного заземления труб в камерах.

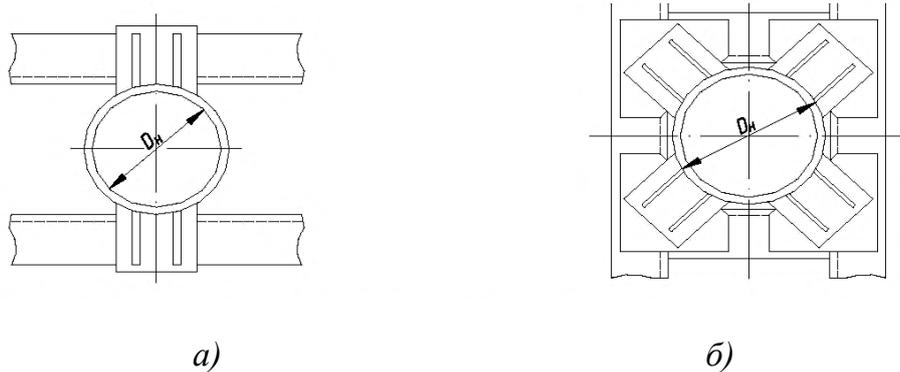


Рис. 7.20. Опоры неподвижные лобовые:  
 а - двухупорные для трубопроводов  $D_{\text{н}} 108-1420$  мм;  
 б - четырехупорные для трубопроводов  $D_{\text{н}} 133-1420$  мм

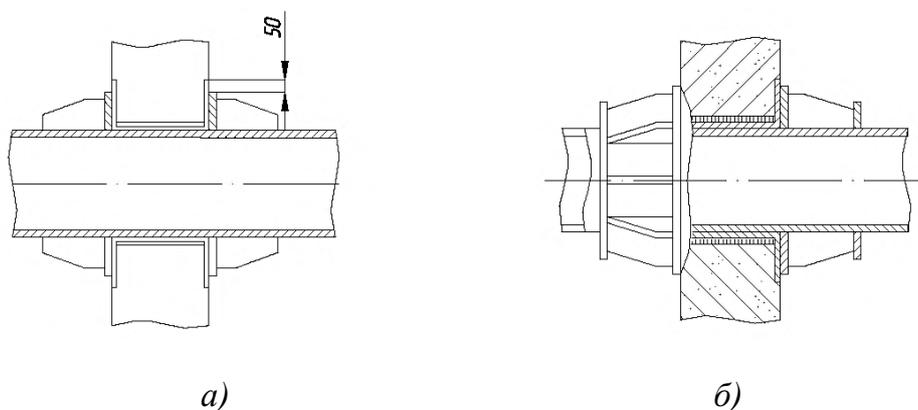


Рис. 7.21. Опоры неподвижные щитовы  
 для трубопроводов  $D_{\text{н}} 108-1420$  мм  
 с защитой от электрокоррозии:  
 а - обыкновенные; б - усиленные

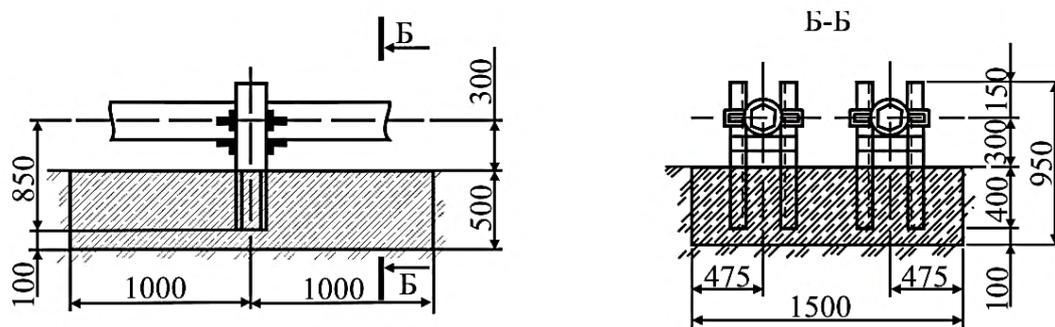
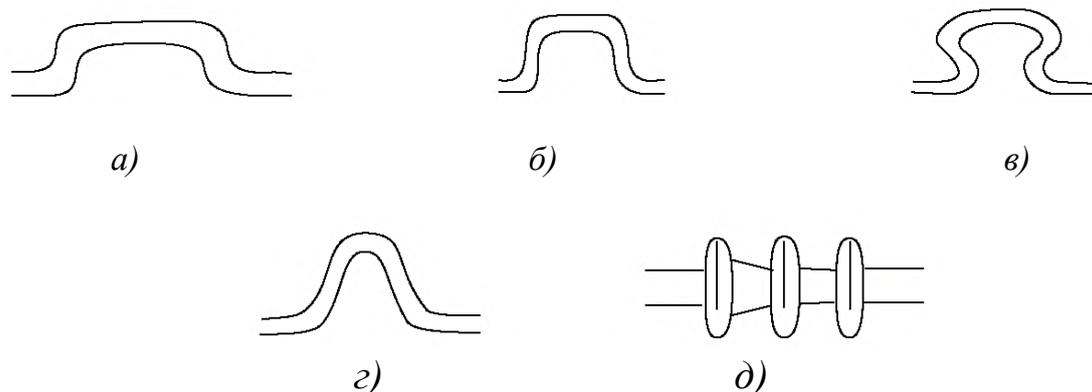


Рис. 7.22. Неподвижная отдельно стоящая опора для труб  $D_{\text{у}} 80-200$  мм  
 (подвальная)

Размещение неподвижных опор на равных расстояниях друг от друга снижает нагрузку на строительные конструкции. Опоры устанавливают на ответвлениях в местах размещения запорной арматуры выше сальниковых компенсаторов и сварных стыков.

#### 7.4. Компенсаторы

Неподвижное закрепление трубопроводов производят для предупреждения смещений или изменений. При отсутствии устройств, воспринимающих удлинение, возникают большие напряжения. Компенсация удлинений труб производится различными устройствами, принцип действия которых делится на две группы. 1. Радиальные (гибкие), воспринимающие удлинение или изгибом, или кручением за счет специальных эластичных вставок (рис. 7.23). 2. Осевые устройства скользящего и упругого типа, в которых удлинения воспринимаются телескопическим перемещением труб или сжатием пружинистых вставок (рис. 7.24).



*Рис. 7.23. Типы компенсирующих устройств:  
 а – П-образный компенсатор с большой спинкой;  
 б – П-образный компенсатор равносторонний;  
 в – лирообразный компенсатор (бывает гладко загнутый и со складками); г – W-образный компенсатор;  
 д – линзовый компенсатор*

Наиболее простая компенсация достигается естественной гибкостью поворотов трубопровода, изогнутого не более  $150^\circ$ . При естественной компенсации трубопроводов в каналах необходимо обеспечить зазор (между стенками трубы и внутренними поверхностями канала), достаточный для свободного удлинения плеч трубы.

В безканальных прокладках при использовании естественной компенсации на участках поворотов должны быть сооружены каналы соответствующих размеров.

К использованию искусственных компенсаторов следует обращаться только после использования всех возможностей естественной компенсации.

Лирообразные компенсаторы обладают наибольшей эластичностью, но вследствие усиленной коррозии и больших гидравлических сопротивлений применяются редко.

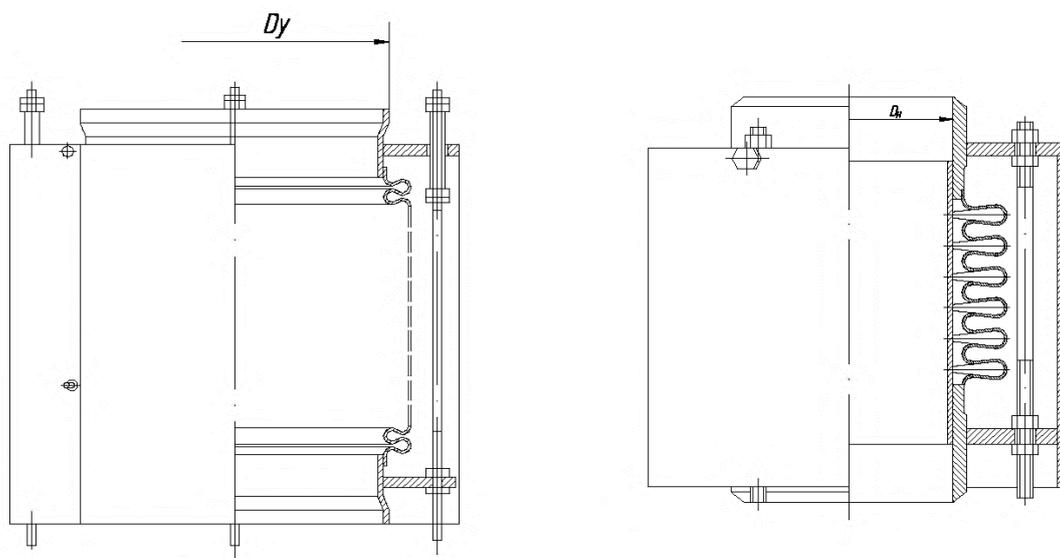


Рис. 7.24. Осевые сальниковые компенсаторы

Осевая компенсация скользящего типа создается сальниковыми компенсаторами. Типовые сальниковые компенсаторы изготавливаются из стандартных труб, состоящих из корпуса, стакана и набивки. При удлинении трубопровода стакан вдвигается в полость корпуса, а герметичность создается сальниковой набивкой. Набивка со временем истирается и теряет упругость. Для восстановления герметичности производят подтяжку сальника. Многократные подтяжки снижают компенсирующую способность. Перекосы осей корпуса и стакана приводят к заеданию и заклиниванию компенсатора (рис, 7.25-7.26).

Наиболее простая компенсация достигается естественной гибкостью поворотов трубопровода, изогнутого не более  $150^\circ$ . При естественной компенсации трубопроводов в каналах необходимо обеспечить зазор (между стенками трубы и внутренними поверхностями канала), достаточный для свободного удлинения плеч трубы.

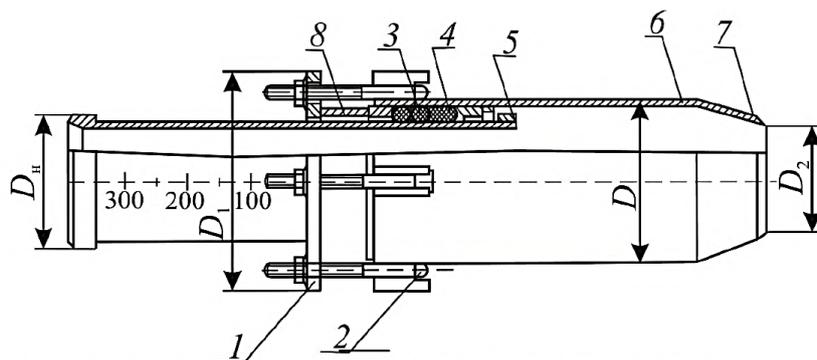


Рис. 7.25. Сальниковый компенсатор односторонний:

1 – нажимной фланец; 2 – болтовое соединение; 3 – сальниковая набивка; 4 – контр-букса; 5 – стакан; 6 – корпус; 7 – переход диаметра; 8 – грунт-букса

Следовательно, требуется соблюдать соосность при установке компенсатора. Сальники требуют постоянного надзора и камер больших размеров.

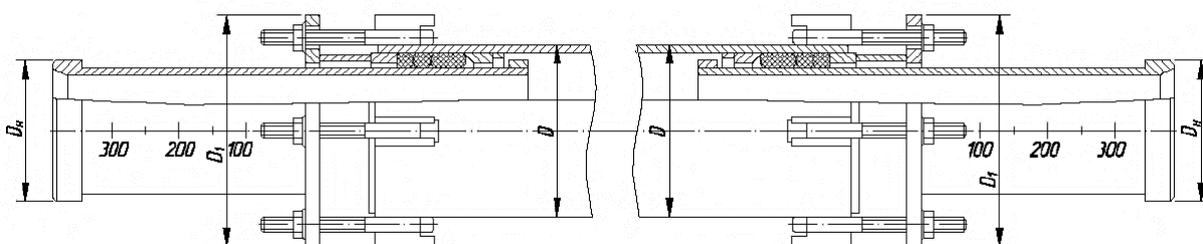


Рис. 7.26. Сальниковый компенсатор двухсторонний

Для безаварийной работы тепловой сети необходимо, чтобы компенсирующие устройства были рассчитаны на максимальные удлинения (температура теплоносителя – максимальная, а температура окружающей среды – минимальная) (рис. 7.27).

Температура окружающей среды – это: 1) расчетная температура наружного воздуха при открытой прокладке трубопровода; 2) расчетная температура воздуха в канале – канальная прокладка; 3) температура грунта на глубине заложения трубопровода при бесканальной прокладке.

Наиболее распространены П-образные компенсаторы, рис. 7.27

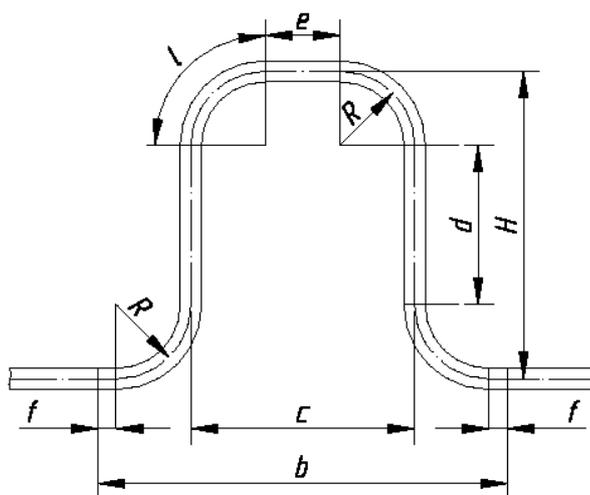


Рис. 7.27. П-образный компенсатор

## 7.5. Конструирование трубопровода

Правильное конструирование трубопровода и размещение обслуживающей арматуры являются главным условием надежной эксплуатации системы теплоснабжения. Перемычки выполняют из труб диаметром не менее 0,3 от диаметра магистрали. На перемычки устанавливают две задвижки с контрольноспускным вентилем между ними.

Задвижки устанавливают на всех ответвлениях для улучшения сброса воды и воздуха. Трубопровод прокладывают с уклоном 0,002 надземным или подземным способами. Под земный является основным в жилых районах, так как не загружает территорию и не ухудшает архитектурный вид города (рис. 7.28). Надземный применяют на территории промышленных предприятий, в жилых зонах испо

При выборе схемы магистральных тепловых сетей необходимо учитывать обеспечение надежности и экономичности их работы. Следует стремиться к наименьшей протяженности тепловых сетей, к меньшему количеству тепловых камер, применяя, по возможности, двухстороннее подключение кварталов. При прокладке в районе города двух и более крупных магистралей от одного источника следует предусматривать, при необходимости, устройство резервных перемычек между магистралями.

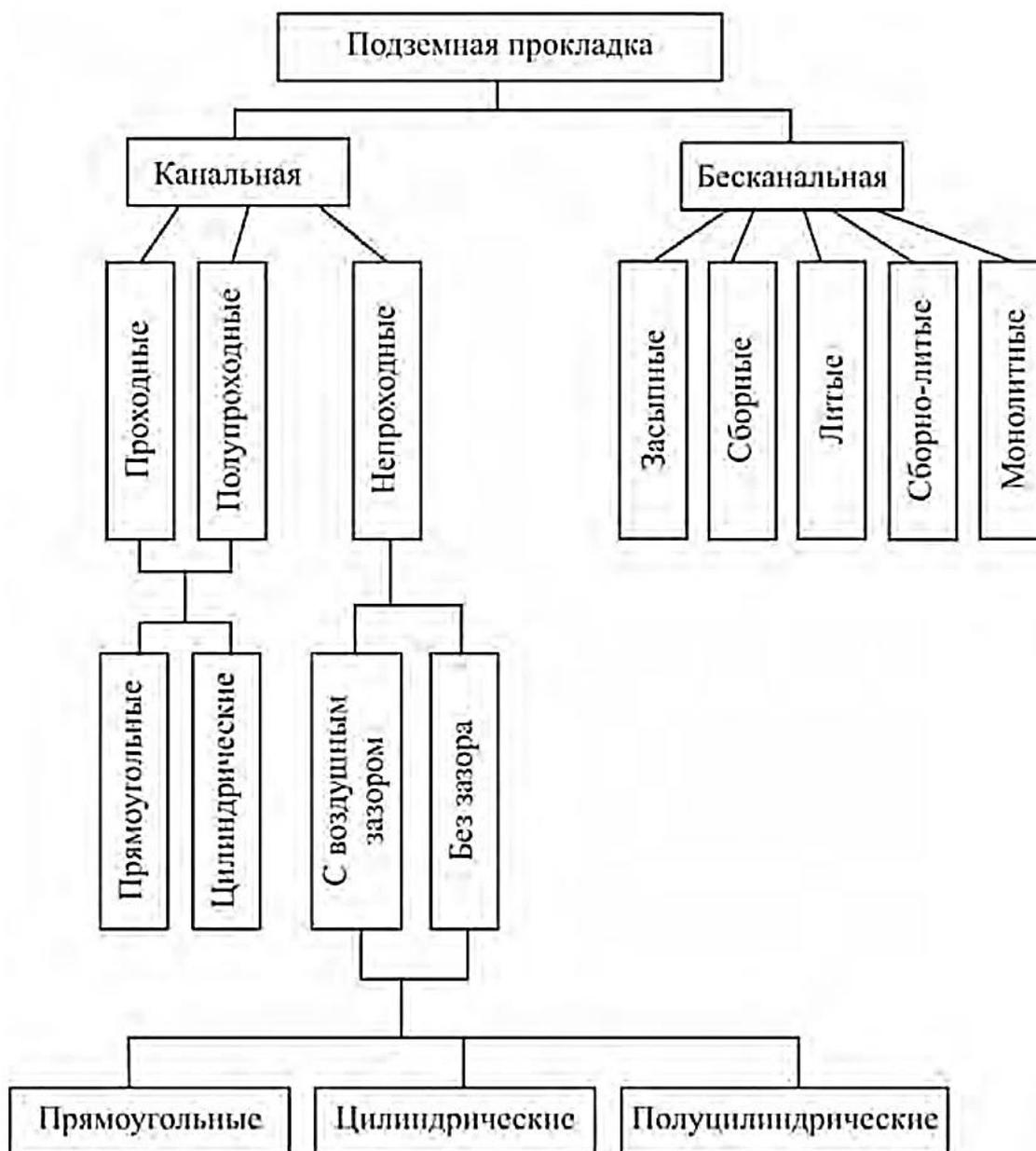


Рис. 7.28. Схема видов подземной прокладки трубопроводов

Подземная прокладка тепловых сетей может осуществляться в каналах и бесканально.

Широкое распространение в настоящее время получила прокладка в непроходных каналах различных конструкций. Наиболее перспективны для строительства тепловых сетей непроходные каналы типа МКЛ, а также КЛп, обеспечивающие свободный доступ к трубопроводам при производстве сварочных, изоляционных и других видов работ.

Бесканальную прокладку применяют для диаметров трубопроводов до 500 мм. По конструкции бесканальные прокладки делятся на насыпные, сборные, литые и монолитные. Наиболее желательны для применения, с учетом указанных ранее требований, монолитные оболочки из пенополиуретана, полимербетона, армопенобетона, битумоперлита, битумокерамзита, фенольного поропласта, асфальтоизола. Выбор конструкции теплоизоляционного слоя и расчет его толщины как при канальной, так и при бесканальной прокладке следует выполнять в соответствии с рекомендациями [2, 3] с учетом параметров теплоносителя, условий эксплуатации и неперевышения нормируемых тепловых потерь.

Для защиты наружной поверхности труб тепловых сетей от коррозии необходимо предусматривать защитное покрытие, конструкция которого может быть принята в соответствии с требованиями. При подземной прокладке для размещения запорной арматуры, спускных и воздушных устройств, сальниковых компенсаторов и другого оборудования, требующего постоянного доступа и обслуживания, устраиваются тепловые камеры. Размеры камеры принимаются из условий нормального обслуживания размещаемого в камере оборудования согласно [5]. Наименьшая высота камер 1,8 м. Строительная часть камер выполняется из сборного железобетона. Камеры при необходимости могут быть выполнены также из монолитного железобетона с отдельным перекрытием. В перекрытиях камер должно быть не менее двух люков  $D = 630$  мм, расположенных по диагонали при внутренней площади камер до 6 м<sup>2</sup>, и четырех люков при внутренней площади камер более 6 м<sup>2</sup>. Под люками должны быть устроены лестницы или скобы. Днище камеры выполняется с уклоном не менее 0,02 в сторону водосборного приемка.

При пересечении теплопроводов с другими инженерными коммуникациями и сооружениями необходимо учитывать расстояния по вертикали и горизонтали согласно [1]. Заглубление тепловых сетей от поверхности земли или дорожного покрытия должно приниматься не менее:

- до верха перекрытий каналов и тоннелей – 0,5 м;
- до верха перекрытий камер – 0,3 м;
- до верха оболочки бесканальной прокладки – 0,7 м.

На вводе тепловых сетей в здание допускается уменьшение заглубления теплотрассы при канальной прокладке до 0,3 м, при бесканальной прокладке – до 0,5 м.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Чем отличается гидравлический режим сетей с насосными и дросселирующими подстанциями?
2. Дайте определение терминам «трубы» и «арматура».
3. Дайте определение термину «опоры».
4. Дайте определение термину «компенсаторы».
5. Опишите, как осуществляется конструирование трубопровода.
6. Перечислите виды подземных теплопроводов.
7. Дайте описание непроходным каналам.
8. Дайте описание безканальной прокладке.

## Глава 8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

### 8.1. Трасса и профиль тепловой сети

Для избежания больших вложений и удлинения сроков строительства необходимо тщательно проработать варианты трассы и профили прокладки сети.

Выбор трассы производится на генеральном плане (масштаб 1:500), на котором должны быть указаны все надземные и подземные сооружения и объекты перспективного строительства. В пояснительной записке к генеральному плану должны быть указаны тепловые нагрузки районов, глубина заложения и высота застройки, характеристика грунтов, уровень стояния грунтовых вод и геодезические отметки поверхности земли.

Трассу выбирают параллельно проезду или линиям застроек (следует избегать прокладку параллельно путям). Трасса, по возможности, должна быть прямолинейной. Ось трассы должна быть параллельна дорогам или ранее уложенным сетям.

На продольном профиле указываются:

- проектные отметки земли;
- натурные отметки земли;
- отметки потолка, пола канала;
- уклоны, длины участков;
- номера разрезов;
- внутренние размеры;
- развернутый план.

Уклоны осуществляются не менее 0,003-0,005 – для паропроводов, 0,002 – для водяных сетей и 0,003 – для конденсата проводов. Смена уклонов разных направлений должна производиться только в камерах. На трассе тепловых сетей в низких точках намечаются спускные устройства, а в высших точках – воздушники (размещаются в камерах).

## 8.2. Схемы тепловых сетей и их структура

Схемы тепловых сетей определяют надежность теплоносителя, маневренность системы, удобство эксплуатации и экономическую эффективность.

Высший уровень если сеть соединяет источник тепла с РТП, который разделяет теплоноситель и обеспечивает автономные, гидравлические и температурные режимы.

Закольцованные сети повышают надежность и обеспечивают подачу тепла при отказе отдельных веток. Наличие нескольких источников сокращает резерв пропускной способности.

В системах теплоснабжения с насосами нет полной гидравлической изоляции магистральных сетей от распределителей.

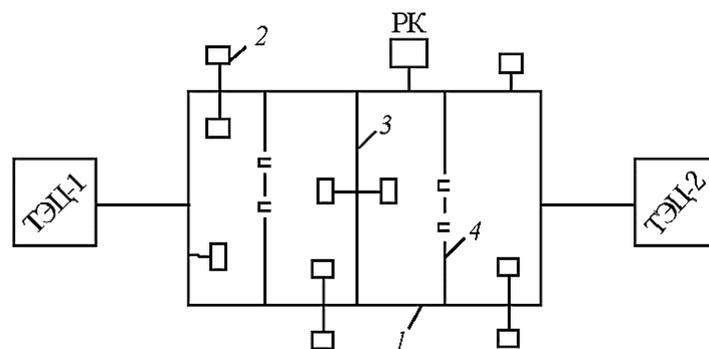
Для больших сетей задачу управления гидравлическими режимами можно решить лишь с помощью современной автоматики. Данная система позволяет поддерживать независимый циркуляционный режим. В случае установки регуляторов давления поддерживается требуемый уровень давления.

На рис. 8.1 показана однолинейная принципиальная схема теплоснабжения, которая имеет два иерархических уровня с ответвлением к РТП. От РТП распределительные сети идут к потребителю, и эти сети составляют низший уровень. К магистральной сети потребители не присоединяются. Теплоноситель поступает от двух ТЭЦ. Система имеет резервный источник тепла РК

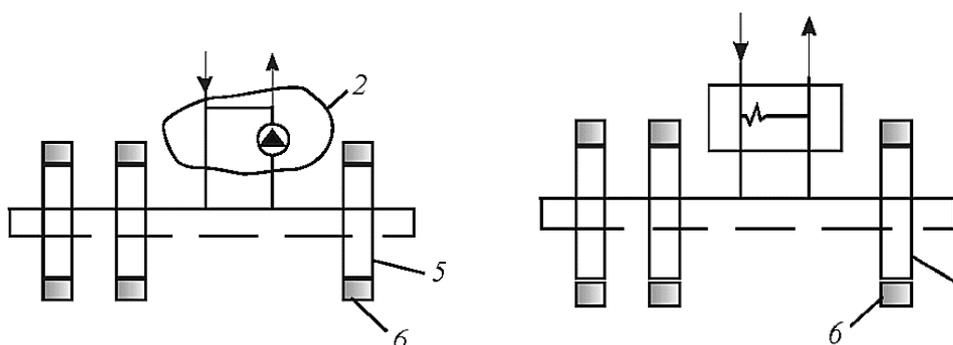
Схема может быть выполнена с одним видом присоединения распределительной сети к РТП или комбинированно, т. е. с двумя (см. рис. 8.1. б и в).

У систем с двумя иерархическими уровнями резервируется только высший уровень. Надежность теплоснабжения обеспечивается выбором такой мощности РТП, при которой надежность тупиковой сети оказывается достаточной.

Принятый уровень надежности определяет протяженность и максимальные диаметры. Резервирование осуществляется путем соединения подающей и обратной магистралей с соответствующими перемычками.



а)



б)

в)

Рис. 8.1. Принцип построения крупной системы теплоснабжения: а - схема тепловых сетей высшего уровня; б – схема с насосным присоединением распределительных сетей; в – схема с присоединением тепловых сетей через водяной подогреватель; 1 – закольцованные тепломагистрали высшего уровня; 2 – крупные тепловые узлы; 3 – перемычки, резервирующие тепловую сеть; 4 – перемычки, резервирующие источник тепла; 5 – распределительные сети; б – тепловой пункт (потребитель)

Различают два вида перемычек.

1. Резервируют сеть, обеспечивая ее надежность при отказе участков теплопроводов (задвижек или другого оборудования).

2. Резервируют источник тепла, обеспечивая переток теплоносителя одного источника в зону другого в случае отказа или при ремонте.

Тепломагистрали вместе с перемычками образуют единую кольцевую сеть. Диаметры всех теплопроводов, включая диаметры перемычек, должны быть рассчитаны на пропуск необходимого количества теплоносителя самых неблагоприятных аварийных ситуаций.

Для обеспечения надежного и качественного теплоснабжения необходимо обеспечить управляемость системы. Если не управлять

аварийными гидравлическими режимами, тогда резервная и пропускная способность сети должна быть рассчитана на стопроцентный расход теплоносителя, что ведет к необоснованному перерасходу металла.

Практическое осуществление управления возможно при наличии автоматизации, обеспечивающей контроль, управление и регулирование.

Действующие тепловые сети по их построению можно разделить на два типа (рис. 8.2)

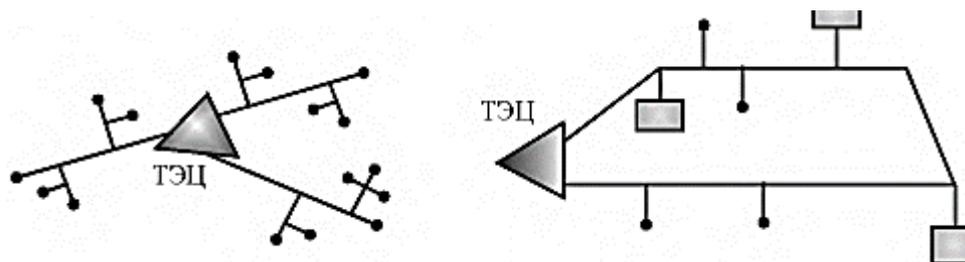


Рис. 8.2. Разновидности схем тепловых сетей:  
а – радиальная; б – кольцевая

Радиальные сети являются тупиковыми, не резервирующими и поэтому не обеспечивают необходимой надежности. Рекомендуется применять для небольших систем, когда источник тепла расположен в центре теплоснабжаемого района.

### 8.3. Последовательность расчета тепловых сетей

Перед гидравлическим расчетом трубопровода вычерчивается (в масштабе) расчетная схема трубопроводов:

- делится на участки;
- определяются длины и расчетные расходы на этих участках;
- определяется ориентировочное значение  $\alpha_{\text{ср}}$ ,
- определяется значение  $R_{\text{л.ср}}$ ,
- по известным расходам  $G$  и  $R_{\text{л.ср}}$  с помощью схемы и номограмм определяется диаметр труб с округлениями до стандартных размеров.

В окончательном расчете определяются гидравлические сопротивления на всех участках:

- определяются по фактическому диаметру скорости и  $R_{л}$  для каждого участка;
- определяются эквивалентные длины местных сопротивлений;
- вычисляются потери давления на участках сети

$$R_1(L_1 + L_{э,1}), R_n(L_n + L_{э,n}),$$

- определяются суммарные гидравлические сопротивления для всех участков расчетной магистрали и сравниваются с расчетным перепадом давления.

$$\sum^n [R_{л}(L + L_{э})] \leq \Delta P_c.$$

При известном располагаемом давлении  $\Delta P_p$  для всей сети, а также для ответвлений предварительно определяют ориентировочные средние удельные потери давления  $R_m$  Па/м:

$$R_m = \frac{\Delta P_c}{\sum L (1 + \alpha)},$$

где  $\sum L$  – суммарная протяженность расчетной ветви (ответвления), на потери давления в которой используется величина  $\Delta P_p$

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий долю потерь давления в местных сопротивлениях.

При расчете трубопроводов с другой шероховатостью к значениям удельных потерь давления  $R$  следует принимать поправочный коэффициент  $\beta$ . Диаметры подающего и обратного трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при совместной подаче теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение должны приниматься, как правило, одинаковыми. Расчет считается удовлетворительным, если невязка не более 10 %.

Диаметры труб ответвлений считаются в такой же последовательности. Результаты переводятся в мм. вод. ст. для построения пьезометрического графика.

## 8.4. Гидравлический расчет тепловых сетей

Основная задача гидравлического расчета состоит в определении диаметров труб по заданным расходам теплоносителя и располагаемым перепадам давления.

Результаты гидравлического расчета используются для построения пьезометрических графиков, выбора схем абонентских вводов, подбора насосного оборудования, определения стоимости тепловых сетей.

При движении теплоносителя по трубам потери давления складываются из гидравлических сопротивлений трения по длине трубы и местных сопротивлений.

$$\Delta P = \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{м}}$$

Гидравлическое сопротивление по длине определяется по формуле Вейсбаха-Дарси:

$$\Delta P_{\text{л}} = \lambda \frac{l \rho \omega^2}{d^2},$$

где  $l$  – длина трубопровода;

$\lambda$  – коэффициент гидравлического трения;

$\rho$  – плотность теплоносителя;

$\omega$  – скорость теплоносителя.

Определение коэффициента гидравлического трения по формуле А. Д. Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_{\text{ЭКВ}}}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}$$

где  $k_{\text{ЭКВ}}$  – эквивалентная шероховатость (для паропроводов – 0,2; для водопроводов – 0,5; для конденсатопроводов – 1).

При построении расчетных номограмм используется формула Альтшуля. Местные потери давления гидравлического сопротивления находятся по формуле Вейсбаха:

$$\Delta P_{\text{м}} = \xi \frac{\rho \omega^2}{2},$$

где  $\xi$  – суммарный коэффициент местных сопротивлений на участках водопроводов.

Местные потери давления можно заменить эквивалентным гидравлическим сопротивлением по длине:

$$l_{\text{ЭКВ}} = \xi \frac{d}{\lambda}.$$

Гидравлический расчет по методу средних удельных потерь давления можно записать:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{м}} = \Delta P_{\text{л}} \left( 1 + \frac{\Delta P_{\text{м}}}{\Delta P_{\text{л}}} \right) = R_{\text{л}} l (1 + \alpha) = R_{\text{л}} (l + l_{\text{ЭКВ}})$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий долю потерь давления в местных сопротивлениях по длине.

Для обеспечения расчетов составляются таблицы и номограммы, которые используются при проектировании.

Перед выполнением гидравлического расчета разрабатывают расчетную схему тепловых сетей (рис. 8.3). На расчетной схеме представляют номера участков (сначала по главной магистрали, а потом по ответвлениям), расходы теплоносителя в кг/с или в т/ч, длины участков в метрах. Здесь главной магистралью является наиболее протяженная и нагруженная ветвь сети от источника теплоты (точки подключения) до наиболее удаленного потребителя. При неизвестном располагаемом перепаде давления в начале теплотрассы удельные потери давления  $R$  следует принимать:

- на участках главной магистрали 20–40, но не более 80 Па/м,
- на ответвлениях – по располагаемому перепаду давления, но не более 300 Па/м.

Гидравлический расчет выполняют по таблицам и номограммам. Сначала выполняют расчет главной магистрали. По известным расходам, ориентируясь на рекомендованные величины удельных потерь давления  $R$ , определяют диаметры трубопроводов  $d_h \cdot S$ ; фактические удельные потери давления  $R$ , Па/м; а также скорость движения теплоносителя  $\omega$ , м/с. Условный проход труб, независимо от расчетного расхода теплоносителя, должен приниматься в тепловых сетях не менее 32 мм.

Скорость движения воды не должна быть более 3,5 м/с. Определив диаметры трубопроводов, находят количество компенсаторов на участках и другие виды местных сопротивлений. Затем определяют полные потери давления на участках главной магистрали и суммарные по всей ее длине. Далее выполняют гидравлический расчет ответвлений, увязывая потери давления в них с соответствующими частями главной магистрали (от точки деления потоков до конечных потребителей). Увязку потерь давления следует выполнять подбором диаметров трубопроводов ответвлений.

Невязка не должна быть более 10 %. При невозможности полностью увязать диаметрами, излишний напор на ответвлениях должен быть погашен соплами элеваторов, дроссельными диафрагмами и авторегуляторами потребителей.

### 8.5. Методика расчета трубопровода

Расчетным участком разветвленной сети принято называть трубопровод, на котором расход теплоносителя не изменяется. Расчетный участок располагается между соседними ответвлениями. Иногда расчетный участок необходимо делить на два или несколько, если в его пределах необходимо изменить диаметр труб.

В первую очередь гидравлический расчет ведут в направлении к главной магистрали.

Пусть число участков вдоль главной магистрали равно  $n$ , тогда расчетный расход теплоносителя  $G_1, G_2, G_3 \dots G_n$  Располагаемый перепад давления  $\Delta P_c$ .

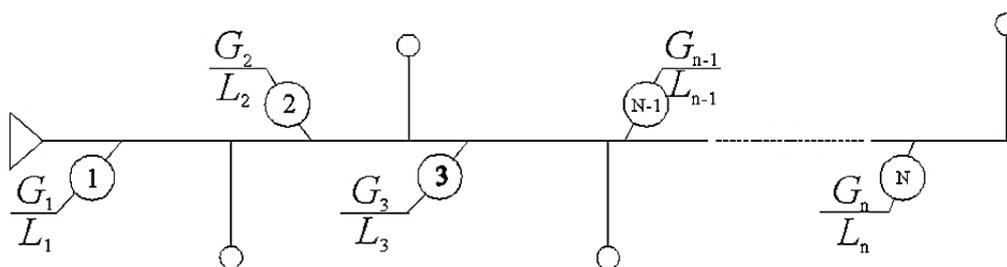


Рис. 8.3. Расчетная схема тепловой сети

Для каждого участка можно записать:

$$\Delta P_1 = R_1 \cdot L_1 = (1 + \alpha_1) = f(d_1, G_1, L_1, \zeta_1),$$

$$\Delta P_n = R_n \cdot L_n = (1 + \alpha_n) = f(d_n, G_n, L_n, \zeta_n),$$

Отсюда получим:

$$\Delta P_c = \sum_1^n [R_n (1 + \alpha)] \text{ либо } \Delta P_c = R_{\text{л.ср}} (1 + \alpha_{\text{ср}}) \sum_1^l L$$

Получим:

$$R_{\text{л.ср}} = \frac{\Delta P_c}{(1 + \alpha_{\text{ср}}) \sum_1^l L}$$

По величине средне удельной потери давления  $\Delta P_{\text{л.ср}}$  и известных расходах теплоносителя можно определить диаметр.

Для потерь давления на трение ос ср можно определить по формуле

$$\alpha_{\text{ср}} = \zeta \sqrt{G},$$

где  $\zeta$  – для водяных сетей 0,01, для паровых – 0,05.

## 8.6. Пьезометрический график

Распределение давлений в тепловых сетях удобно изображать в виде пьезометрического графика, который дает наглядное представление о давлении и напоре в любой точке тепловой сети и поэтому обеспечивает большие возможности при выборе оптимального гидравлического режима.

Гидравлические режимы водяных тепловых сетей (пьезометрические графики) следует разрабатывать для отопительного и неотопительного периодов. Пьезометрический график позволяет: определить напоры в подающем и обратном трубопроводах, а также располагаемый напор в любой точке тепловой сети; с учетом рельефа местности, располагаемого напора и высоты зданий выбрать схемы присоединения потребителей; подобрать авторегуляторы, сопла элеваторов, дроссельные устройства для местных систем теплопотребления; подобрать сетевые и подпиточные насосы. Пьезометрические графики строятся для магистральных и квартальных тепловых сетей. Для магистральных тепловых сетей могут быть приняты масштабы: горизонтальный  $M_{\Gamma}$  1:10000; вертикальный  $M_{\text{в}}$  1: 1000; для квартальных тепловых сетей:  $M_{\Gamma}$  1:1000,  $M_{\text{в}}$  1:500

Пьезометрические графики разрабатываются для зимнего и летнего периодов. Проектирование открытых систем теплоснабжения связано с необходимостью построения пьезометрических графиков для отопительного периода с учетом максимального водоразбора.

Давление, выраженное в линейных единицах измерения, называется напором давления (пьезометрический напор).

При построении пьезометрического графика должны соблюдаться следующие условия:

- давление в непосредственно присоединенных к сети абонентских системах не должно превышать допустимого;
- максимальный напор ограничивается прочностью труб и подогревательных установок;
- напор на подаче (температура  $\leq 100^{\circ}\text{C}$ ) должен быть достаточен для исключения парообразования;
- для предупреждения кавитационных процессов на всасывающем патрубке сетевого насоса напор должен быть строго ограничен;
- в точке присоединения абонентов следует обеспечивать достаточный напор для создания циркуляции воды в местных системах.

Пример построения пьезометрического графика (рис. 8.4):

- строится профиль местности по трассе;
- на графике в принятом масштабе наносятся высоты зданий;
- условно принимают, что ось трубопровода совпадает с поверхностью земли.

Фактический напор для заглубленных трубопроводов больше на величину их заглубления. Для воздушных прокладок, наоборот, напор меньше, что следует учитывать при определении минимальных давлений, обеспечивающих невозможность вскипания воды.

Статический напор (линия S–S) устанавливается из условия заполнения сетевой водой всех абонентских систем с запасом 3–5 м самому высокому абоненту. Ниже на 60 м – горизонталь Z – Z. Напор между этими линиями не больше 60 м, он не опасен для чугунных радиаторов отопления.

Предельное положение пьезометрической линии для обратной магистрали ( $K_2, B_2, C_2$ ) изображается из следующих соображений.

Максимальный пьезометрический напор не должен превышать 60 м в радиаторах нижних этажей системы отопления.

Для защиты от опорожнения пьезометрическая линия должна быть не менее чем на 3–5 м выше здания.

Действительный уклон пьезометрической линии определяется гидравлическим расчетом. Потери напора для кольцевого абонента соответствуют отрезку  $C_1 - C_2$ . Отложив от точки  $C_1$  потери напора в подающей магистрали, строим пьезометрическую линию  $C_1, B_1, A_1$

Пьезометрическая линия подающей магистрали должна удовлетворять следующим условиям:

- максимальный напор не должен превышать допустимый для труб и подогревательных установок;
- минимальный напор не должен допускать вскипания воды.

Точка  $K$  располагается выше точки  $A_1$  на величину стационарной подогревательной установки.

Невозможность вскипания воды можно отразить следующим способом. От каждой точки поверхности земли откладывают напор  $H_k$ , приведенный по следующим данным:

$t, ^\circ\text{C}$	120	130	140	150	160	170	180
$H_k, \text{м}$	10	20	30	40	55	72	93

Проводится линия  $R, L, M$ , называемая линией не вскипания. Если линия  $A_1, B_1, C_1$  расположена выше  $R, L, M$  и нигде ее не пересекает, то вода в трубах кипеть не будет.

При неровном рельефе местности, когда значительное количество потребителей тепла выходит за границу нормального гидравлического режима, система теплоснабжения делится на отдельные независимые зоны.

Пьезометрические графики строятся для статического и динамического режимов системы теплоснабжения. За начало координат в магистральных сетях принимают местоположение ТЭЦ. В принятых масштабах строят профиль трассы и высоты присоединенных потребителей (приняв 9-этажную застройку). За нулевую отметку оси ординат



напор у всасывающих патрубков сетевых насосов (30–35 м) в зависимости от марки насоса. Затем, используя результаты гидравлического расчета, строят линию потерь напора обратной магистрали. Величина напоров в обратной магистрали должна соответствовать требованиям, указанным выше при построении линии статического напора. Далее строится линия располагаемого напора для системы теплоснабжения расчетного квартала.

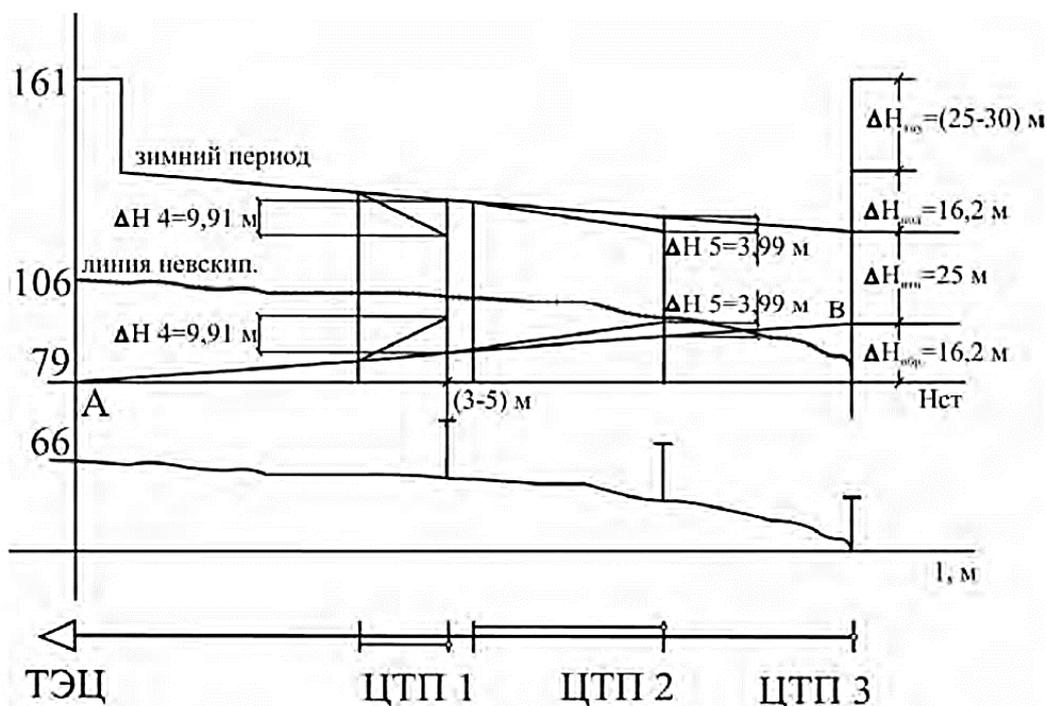


Рис. 8.5. Пьезометрический график участка трубопровода от ТЭЦ до ЦТП 3

Величина располагаемого напора в точке подключения квартальных сетей принимается не менее 40 м. Затем строится линия потерь напора подающего трубопровода, а также линия потерь напора в коммуникациях источника теплоты (ТЭЦ). При отсутствии данных потери напора в коммуникациях ТЭЦ могут быть приняты равными 25–30 м. Напор во всех точках подающего трубопровода исходя из условия его механической прочности не должен превышать 160 м. Пьезометрический график может быть перемещен параллельно себе вверх или вниз, если возникает опасность «оголения» или «раздавливания» местных систем теплоснабжения. При этом необходимо учитывать, чтобы напор на всасывающем патрубке не превысил предельного значения

для принятой марки насоса. Под пьезометрическим графиком располагают спрямленную однолинейную схему теплотрассы с ответвлениями, указывают номера и длины участков, диаметры трубопроводов, расходы теплоносителя, располагаемые напоры в узловых точках. На пьезометрическом графике главной магистрали строится график расчетного ответвления (рис. 8.5).

Для построения пьезометрических графиков для неотапительного периода необходимо определить потери давления в главной магистрали при пропуске максимального расхода сетевой воды на горячее водоснабжение  $G_{h \max}$ .

В открытых системах потери давления в обратной магистрали определяют при пропуске расхода, равного 10 %  $G_{h \max}$ .

Потери напора в коммуникациях источника, а также располагаемый напор перед расчетным кварталом принимают такими же, как и для отопительного периода. При построении пьезометрического графика для квартальных сетей следует учитывать, что квартальные сети являются продолжением магистральных сетей. Располагаемый напор в начале квартальных сетей (40 м) должен быть использован на потери напора в местных системах теплоснабжения зданий кварталов и на потери напора в подающей и обратной магистралях квартальных сетей. Следует учитывать, что линии напоров пьезометрического графика квартальных сетей и при статическом и при динамическом режимах будут продолжением соответствующих линий пьезометрического графика магистральных тепловых сетей.

## 8.7. Подземные теплопроводы

Подземные трубопроводы прокладываются в проходных и непроходных каналах (применявшиеся ранее полупроходные каналы сейчас не используются), также существует бесканальный способ прокладки.

В жилых микрорайонах возможна прокладка в технических этажах, подвалах.

При прокладке в каналах трубопровод защищен со всех сторон от механических воздействий, нагрузок, грунтовых и поверхностных вод. Для восприятия собственного веса трубопровода устанавливают спе-

циальные неподвижные опоры. При бесканальной прокладке трубопровод контактирует непосредственно с грунтом, и воздействия воспринимаются трубой, теплоизоляцией трубы и грунтом.

Стоимость бесканальной прокладки на 25-30 % меньше, чем в каналах, однако условия работы самого трубопровода значительно тяжелее.

Глубина заложения трубопровода от верхнего уровня до поверхности земли составляет 0,5-0,7 м. При высоком уровне грунтовых вод его искусственно снижают устройством дренажа из гравия или труб под каналом.

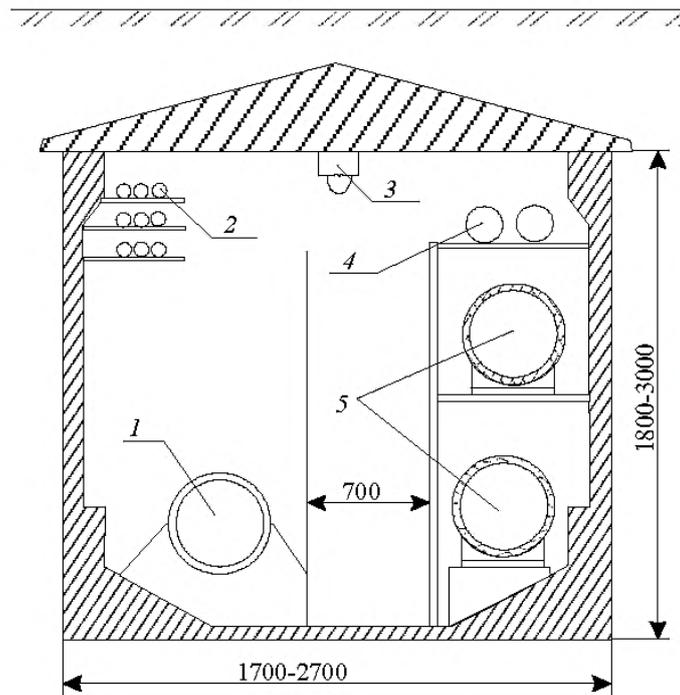
Каналы изготавливают из унифицированных сборных железобетонных конструкций для защиты подгрунтовых и поверхностных вод, наружную часть каналов – с оклейкой гидрозащитным рулонным материалом. Для сбора влаги, которая попадает внутрь каналов, следует придавать уклон 0,002 в одну сторону, где делают лотки, по которым вода попадает в сборные приемки, откуда поступает в стоки, несмотря на это, для трубопроводов в каналах наилучшие условия работы, но наиболее дорогостоящие.

В связи с этим целесообразнее их сооружать на наиболее ответственных участках либо при совместной прокладке инженерных коммуникаций.

При совместной прокладке различных коммуникаций проходные каналы называют коллекторами. На рис. 8.1 показано сечение типового односекционного коллектора.

Проходные каналы (коллекторы) оборудуют естественной или принудительной вентиляцией, которая обеспечивает не более 40 °С в период производства работы, не выше 50 °С при работе, электрическое напряжение до 30 В, и телефонной связью.

В нижних точках трассы устраивают приемки, сообщающиеся с водостоками или оборудованные насосами. Габаритные размеры коллекторов выбирают из условия свободного доступа ко всем элементам теплопроводов, позволяющим производить полный или капитальный ремонт без вскрытия или разрушения покрытия.



*Рис. 8.1. Сечение типового односекционного коллектора:  
 1 - водопровод; 2 - электрические кабели; 3 - светильник;  
 4 - ГВС; 5 теплопроводы*

Ширину проходного канала делают не менее 700 см, высоту – не менее 2 м. Через каждые 200-250 м по трассе устраивают люки для спуска в канал с лестницами или скобами. В местах скопления большого количества оборудования могут устраивать специальные уширения (камеры).

### *Непроходные каналы*

Непроходные каналы применяют обычно для теплопроводов диаметром до 500-700 мм. Изготавливают их прямоугольной, сводчатой и цилиндрической формы, из ж/б плит и сводов, между поверхностью теплопровода и стенкой канала оставляют воздушный зазор (рис. 8.2).

Габаритные размеры выбирают в зависимости от расстояния между трубопроводами и между поверхностью теплоизоляции и канала, из условий удобного доступа к оборудованию. Оборудование возможно устанавливать в разбежку.

### Бесканальная прокладка

Бесканальная прокладка применяется для труб небольших диаметров (до 200-300 мм), так как при прокладке таких труб в непроходных каналах усложняются условия работы, допускается использование бесканальной прокладки для труб диаметром 500 мм.

Бесканальные прокладки трубопроводов подразделяются на следующие виды (рис. 8.3): а) засыпные; б) сборные; в) сборно-литые; г) литые; д) монолитные.

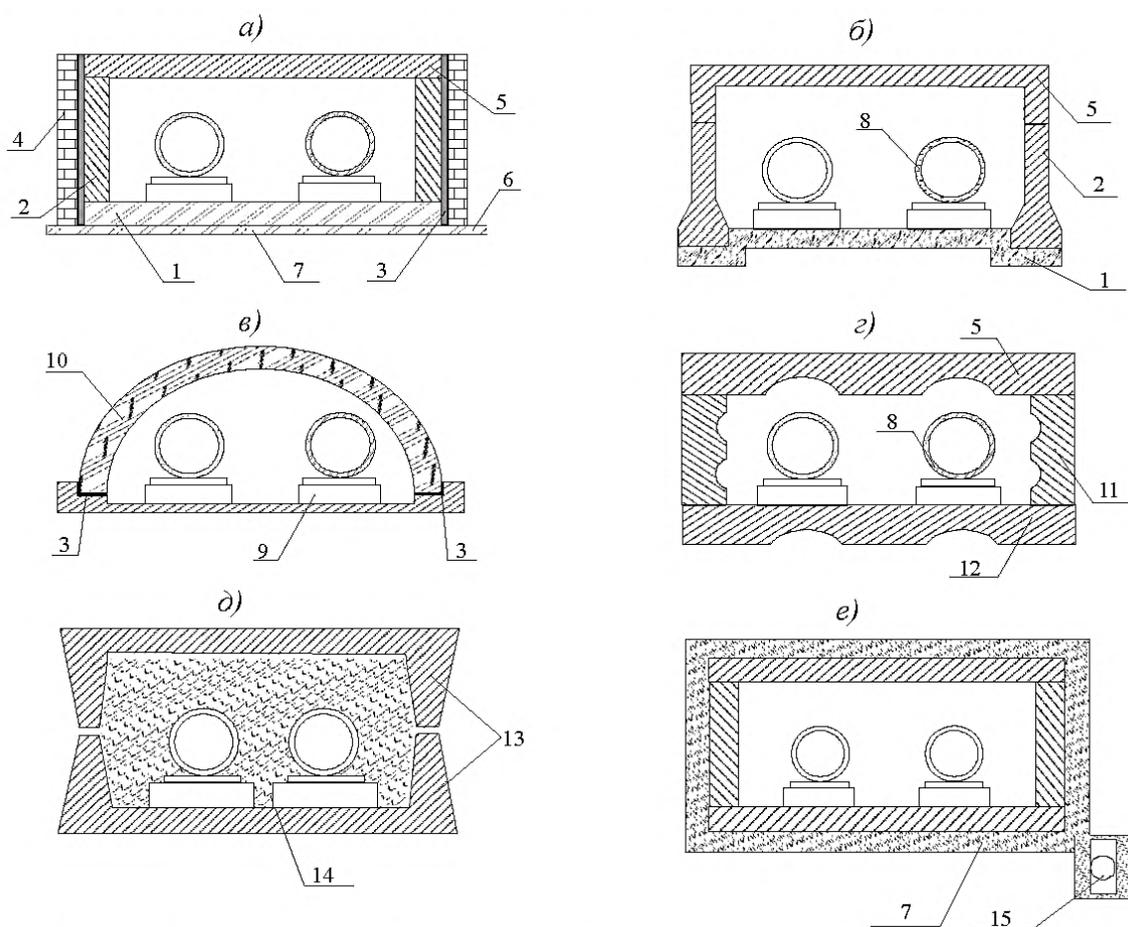


Рис. 8.2. Непроходимо каналы:

*а* - сборный с оклеенной гидроизоляцией; *б* - сборный из ж/б плит; *в* - сводчатый с опорной рамой; *г* - сводный из вибропрокатных плит; *д* - из лотковых элементов; *е* - сборный с дренажем; 1 - ж/б основание; 2 - стеновой блок; 3 - гидроизоляция; 4 - кирпичная стенка; 5 - блок перекрытия; 6 - бетонная подготовка; 7 - песчаная подготовка; 8 - навесная теплоизоляция; 9 - подушка основания; 10 - ж/б свод; 11 - стенка из вибропрокатных плит; 12 - плита днища; 13 - ж/б лоток; 14 - засыпная теплоизоляция; 15 - дренажная труба

Конструкции в монолитных оболочках в большинстве случаев выполняются на заводе. На трассе производятся стыковка (сварка) отдельных элементов и тепловая изоляция.

Литые конструкции возможно изготавливать на трассе с заливкой трубопровода из стыковых соединений после опрессовочных испытаний жидкими теплоизоляционными материалами с последним их схватыванием (затвердеванием). Засыпную теплоизоляцию после монтажа проводят с помощью сыпучих теплоизоляционных материалов.

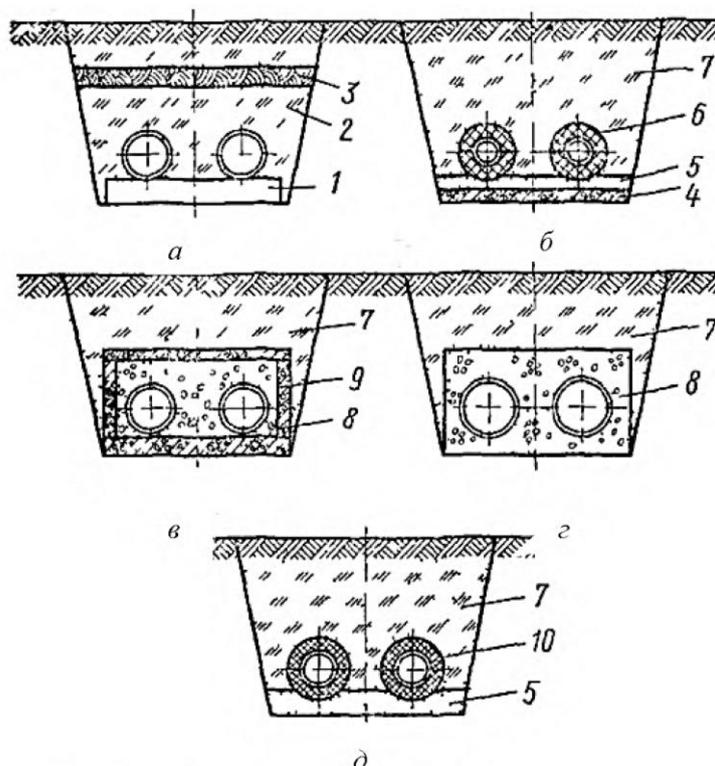


Рис. 8.3. Типы бесканальных прокладок:

*а - засыпные; б - сборные; в - сборно-литые; г - литые; д - монолитные; 1 - опорная подушка; 2 - засыпная изоляция; 3 - трамбовочная глина; 4- бетонная подготовка; 5 - песчаная подсыпка; 6 - формованная штучная изоляция; 7 - грунт, 8 - пенобетон; 9 - плиты; 10 - монолитная тепловая изоляция*

К разгруженным относятся конструкции, в которых теплоизоляционное покрытие обладает достаточной механической прочностью. К разгруженным относятся литые и монолитные.

В неразгруженных нагрузки передаются через тепловую изоляцию непосредственно на трубопровод. К ним относятся засыпные трубопроводы. Обязательно устройство антикоррозионного покрытия,

влажностной оболочки и электрохимической защиты. Возможно устройство попутного дренажа.

Компенсаторы располагают в непроходных каналах и нишах. Запорную арматуру размещают в специальных камерах из сборных железобетонных элементов. Камеры бывают надземные и подземные.

#### *Подземная бесканальная прокладка (расчёт)*

Тепловые потери двухтрубных тепловых сетей при бесканальной прокладке, расположенных в грунте на одинаковом расстоянии от поверхности до оси труб  $H$ , м, определяются по формулам:

$$q_1^L = \frac{(t_{B1} - t_H)(R_{из2}^L + R_{гр2}^K) - (t_{B2} - t_H)R_0}{(R_{из1}^L + R_{гр2}^K)(R_{из2}^L + R_{гр2}^K) - R_0^2} K,$$

$$q_2^L = \frac{(t_{B2} - t_H)(R_{из1}^L + R_{гр1}^K) - (t_{B1} - t_H)R_0}{(R_{из1}^L + R_{гр2}^K)(R_{из1}^L + R_{гр1}^K) - R_0^2} K,$$

где  $R_{гр}^K$  – термическое сопротивление грунта при бесканальной прокладке,  $м^{\circ}C/Вт$ , определяется по формуле

$$R_{гр}^K = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \left[ \frac{2H}{d} \sqrt{\left(\frac{2H}{d}\right)^2 - 1} \right]$$

где  $d$  – наружный диаметр труб, м;

(подающей –  $d_1$ , обратной –  $d_2$ );

$\lambda_{гр}$  – теплопроводность грунта,  $Вт/(м^{\circ}C)$ ;

$H$  – глубина заложения, – расстояние от оси труб до поверхности земли, м.

$R_0$  – термическое сопротивление, обусловленное тепловым взаимодействием двух труб,  $м^{\circ}C/Вт$ , определяется из выражения

$$R_0 = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{2H}{K_{1.2}}\right)^2}}{2\pi\lambda_{гр}},$$

в котором  $K_{1.2}$  – расстояние между осями труб по горизонтали, м.

Формулы для расчета толщины изоляции бесканальных теплопроводов по нормированной плотности тепловых потоков имеют вид:

$$\ln \frac{d_1 + 2\delta_{из1}}{d_1} = \frac{2\pi\lambda_{из1}\lambda_{гр}}{\lambda_{гр} - \lambda_{из1}} \left( \frac{t_{B1} - t_H - q_2^{-L}R_0}{q_1^{-L}} - R_{гр1}^\delta \right),$$

$$\ln \frac{d_2 + 2\delta_{из2}}{d_2} = \frac{2\pi\lambda_{из2}\lambda_{гр}}{\lambda_{гр} - \lambda_{из2}} \left( \frac{t_{B2} - t_H - q_2^{-L}R_0}{q_2^{-L}} - R_{гр2}^\delta \right),$$

$$B_1 = \frac{d_1 + 2\delta_{из1}}{d_1}; \quad B_2 = \frac{d_2 + 2\delta_{из2}}{d_2},$$

Определив значения  $B_1$  и  $B_2$ , значения толщин изоляции вычисляются так же, как и для канальной прокладки.

Параметры теплоносителя и наружной среды для расчета изоляции трубопроводов бесканальной прокладки принимаются такими же, как и для канальной.

#### *Подземная прокладка в непроходных каналах (расчёт)*

Тепловые потери через изолированную поверхность двухтрубных тепловых сетей, прокладываемых в непроходном канале шириной  $b$  и высотой  $h$ , м, на глубине  $H$ , м, от поверхности земли до оси канала, определяются по формуле

$$q_1^L + q_2^L = \frac{(t_{кан} - t_H)K}{R_{кан} + R_{гр}^к}$$

а температура воздуха в канале  $t_{кан}$

$$t_{кан} = \frac{\frac{t_{B1}}{R_{из1}^L + R_{и1}^L} + \frac{t_{B2}}{R_{из2}^L + R_{и2}^L} + \frac{t_H}{R_{кан} + R_{гр}^к}}{\frac{1}{R_{из1}^L + R_{и1}^L} + \frac{1}{R_{из2}^L + R_{и2}^L} + \frac{1}{R_{кан} + R_{гр}^к}}$$

где

$$R_{из1}^L = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \frac{d_1 + 2\delta_{из1}}{d_1}, \quad R_{из2}^L = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \frac{d_2 + 2\delta_{из2}}{d_2}$$

$$R_{и1}^L = \frac{1}{2\pi\alpha_k(d_1 + 2\delta_{из1})}, \quad R_{и2}^L = \frac{1}{2\pi\alpha_k(d_2 + 2\delta_{из2})}, \quad R_{кан}^L = \frac{1}{\pi\alpha_k \frac{2bh}{b+h}}$$

$q_1^L, q_2^L$  – линейные плотности теплового потока от подающего и обратного трубопроводов, Вт/м;

$d_1, d_2$  – наружные диаметры подающего и обратного трубопроводов, м;

$t_{B1}, t_{B2}$  – температуры подающего и обратного трубопроводов, °С;

$K$  – коэффициент дополнительных потерь (см. табл. 20.1);

$R_{H1}^L, R_{H2}^L$  – термические сопротивления изоляции подающего и обратного трубопроводов, м°С/Вт;

$R_{N1}^L, R_{N2}^L$  – термические сопротивления теплоотдаче от поверхности изоляции подающего и обратного трубопроводов, м°С/Вт;

$R_{кан}$  – термическое сопротивление теплоотдаче от воздуха к поверхности канала, м°С/Вт;

$\alpha_k$  – коэффициент теплоотдачи в канале, принимается равным 11 Вт/(м<sup>2</sup>°С);

$\lambda_{из}$  – теплопроводность изоляции в конструкции, Вт/(м°С);

$\delta_{из1}, \delta_{из2}$  – толщины изоляции подающего и обратного трубопроводов, м;

$R_{гр}^к$  – термическое сопротивление грунта, Вт/(м°С), определяется по формуле

$$R_{гр}^к = \frac{\ln \left[ 3.5 \frac{H}{h} \left( \frac{h}{b} \right)^{0.25} \right]}{\left( 5.7 + 0.5 \frac{b}{h} \right) \lambda_{гр}}$$

$\lambda_{гр}$  – теплопроводность грунта, Вт/(м°С), табл. 20.3.

Для определения толщины изоляции подающего и обратного трубопроводов по заданной, нормированной линейной плотности потока  $q_1^{-L}$  и  $q_2^{-L}$ , Вт/м, предварительно определяют по ним температуру воздуха в канале по формуле

$$t_{кан} = t_H + K(q_1^{-L} + q_2^{-L})(R_{кан} + R_{гр}).$$

**Таблица 8.1**

*Теплопроводность грунта*

Вид грунта	Средняя плотность. кг/м <sup>3</sup>	Весовое влаго-содержание грунта, %	Коэффициент теплопроводности. Вт/(м·°С)
Песок	1480	4	0.86
	1600	5	1.11
		15	1.92
		23.8	1.92
Суглинок	1100	8	0.71
		15	0.9
	1200	8	0.83
		15	1.04
	1300	8	0.98
		15	1.2
	1400	8	1.12
		15	1.36
		20	1.63
	1500	8	1.27
		15	1.56
		20	1.86
	1600	8	1.45
		15	1.78
	2000	5	1.75
		10	2.56
		11.5	2.68
	Глинистые	1300	8
18			1.08
40			1.66
1500		8	1.0
		18	1.46
		40	2.0
1600		8	1.13
		27	1.93

Затем вычисляются для каждого трубопровода величины

$$\ln B_1 = \ln \frac{d_1 + 2\delta_{из1}}{d_1}; \ln B_2 = \ln \frac{d_2 + 2\delta_{из2}}{d_2}$$

по формулам:

$$\ln B_1 = 2\pi\lambda_{из} \left( \frac{t_{B1} - t_{кан}}{q_1^{-L}} - R_{H1}^L \right),$$

$$\ln B_2 = 2\pi\lambda_{из} \left( \frac{t_{B2} - t_{кан}}{q_1^{-L}} - R_{H2}^L \right).$$

Определяя по таблице натуральных логарифмов  $B_1$  и  $B_2$ , вычисляют значения толщин изоляции

$$\delta_{из1} = \frac{d_1(B_1 - 1)}{2},$$

$$\delta_{из2} = \frac{d_2(B_2 - 1)}{2}.$$

обеспечивающих требуемые нормативные потери тепла.

При расчете изоляции двухтрубных канальных прокладок тепловых сетей в качестве температур внутренней среды принимают среднегодовые температуры теплоносителя в подающих и обратных трубопроводах по табл. 8.1.

За расчетную температуру наружной среды принимают среднюю за год температуру грунта на глубине заложения трубопровода. При расстоянии от поверхности грунта до перекрытия канала 0,7 м и менее за расчетную температуру наружной среды должна приниматься та же температура наружного воздуха, что и при надземной прокладке.

## 8.8. Надземные теплопроводы

Надземные теплопроводы прокладывают на отдельно стоящих опорах со сплошным пролетным строением в виде ферм или балок, бывают на тягах, прикрепленных к верхушкам мачт (вантовые конструкции). На промышленных предприятиях возможна упрощенная прокладка на консолях (кронштейны) по конструкции здания (рис. 8.4).

Опоры, мачты, железобетонные, металлические конструкции наиболее часто применяемы. Могут быть одно-, двух- и многоярусные,

бывают Т- и П-образные. Высота минимальная 0,35 м при ширине до 1,5 м и не менее 0,5 м при ширине более 1,5 м.

Наиболее дорогостоящая прокладка на эстакадах. Применяют при большом числе труб и больших диаметрах. Требуют регулярного надзора и ухода.

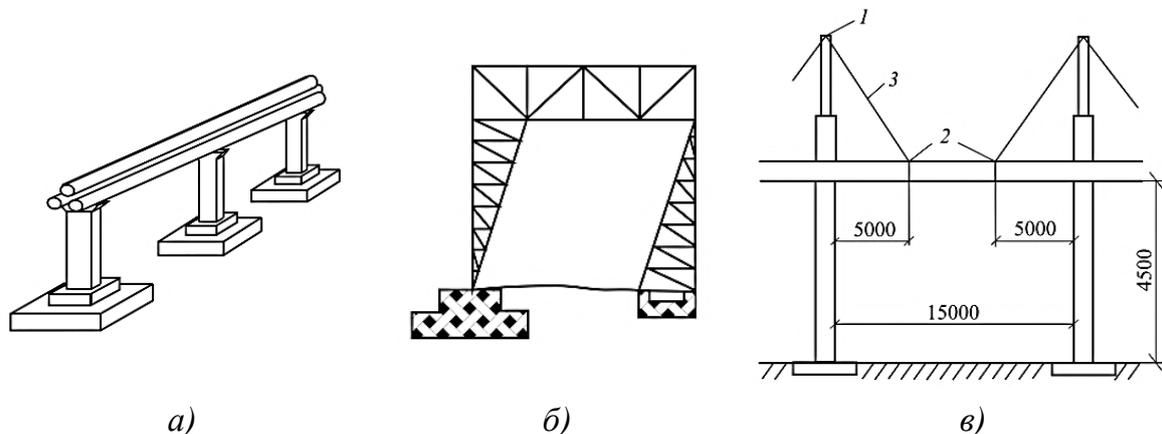


Рис. 8.4. Основные виды надземной прокладки трубопроводов: а – на отдельно стоящих опорах; б – на эстакадах; в – на подвесных (вантовых) конструкциях; 1 – металлическая вершина; 2 – подвесная опора; 3 – тяги

Трубопроводы на подвесных вантовых конструкциях наиболее экономичны и рекомендуется для трубопроводов малых диаметров. Обустраиваются площадками с ограждениями и лестницами для обслуживания оборудования. При прокладке на низких опорах в местах установки оборудования предусматривается устройство металлических кожухов, исключающих доступ и защищающих от атмосферных осадков.

#### *Пересечение коммуникаций трубопроводами.*

При пересечении трубопроводом различных коммуникаций (водопроводы, канализации, газопроводы, электрические кабели, железные и автомобильные дороги, реки, овраги, строительные конструкции и сооружения различного назначения) используют специальные конструкции, обеспечивающие надежную и безопасную работу всех сооружений и минимальные затраты при устройстве теплосети. Все характеристики регламентируют СНиП П-36-73.

В городских условиях при пересечении теплопроводов с другими инженерными сетями организуются футляры (трубы). При пересечении автомобильных, трамвайных и железнодорожных путей, по возможности, работы стараются проводить открытым способом с применением железобетонных каналов.

При пересечении рек, оврагов, открытых водоемов, железных дорог и т. и. наиболее простым способом является прокладка трубопроводов по автодорожным и железнодорожным мостам. При их отсутствии – воздушная прокладка. При пересечении электрифицированных железных дорог прокладка осуществляется по ГОСТ 9238-83.

При пересечении рек, водоемов находит место подводная прокладка в специальных тоннелях и дюкерах. Подводный тоннель представляет собой круглый проходной канал, выполненный из стальных листов, усиленный ребрами жесткости. Выполняется редко при большом числе инженерных сооружений. Дюкер представляет собой непроходной канал, изготовленный из стальных труб (футляр). Внутри размещается теплопровод. Применяется при небольшом числе труб и коротких переходов.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Перечислите виды надземных теплопроводов.
2. Дайте определение пересечения трубопроводами коммуникаций.
3. Постройте трассу и профиль тепловой сети.
4. Дайте определение и описание тепловой изоляции.
5. Приведите расчет термического сопротивления трубопроводов.
6. Что такое методика расчета толщины изоляции?
7. Приведите основные расчетные зависимости для определения теплоизоляционных свойств теплоизоляционных конструкций.
8. Дайте пример расчета тепловой изоляции трубопроводов и оборудования.

## Глава 9. ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

Тепловая изоляция служит для уменьшения тепловых потерь и обеспечения допустимой температуры изолируемой поверхности. Материалы, используемые в качестве теплоизоляции, должны обладать высокими теплозащитными свойствами и низким коэффициентом водопоглощения (рис. 9.1).

Водопоглощение и гидрофобность имеют важное значение для сокращения начальных теплофизических свойств материалов (экономию теплоснабжения).

Область применения тепловой изоляции определяется температурной стойкостью и способностью сохранять тепловые и механические свойства. Теплоизоляционные материалы применяют в виде зернистых, волокнистых и пастообразующих масс, а также в виде штучных формовочных изделий.

Операции по теплоизоляции:

- подготовка труб;
- антикоррозионная защита;
- нанесение основного слоя теплоизоляции;
- наружная отделка конструкции.

При подготовке изделий поверхность зачищается от ржавчины до блеска. Для защиты металла применяются битумные мастики и пасты, различные лаки и эмали, рулонные материалы (полиэтиленовые ленты и пленки). Основной изоляционный слой изготавливается из материала, отвечающего соответствующим требованиям. Толщина принимается в зависимости от теплофизических норм и свойств. В качестве крепежных изделий применяются металлические сетки, проволочные кольца и бандажки из полосового железа и арматурной стали. Поверхность теплоизоляции отделяется металлом или сеткой и окрашивается масляной или силикатной краской.

По исполнению основного изоляционного слоя различают засыпную, мастичную, подвесную, оберточную и монолитную изоляцию.

Засыпная изоляция – наиболее простая и дешевая. Применяют в непроходных каналах и при бесканальной прокладке. Повышенные требования к защите от коррозии, где применяется при временной прокладке или в случае необходимости восстановления трубопровода.

Мастичная изоляция – составляется из сыпучих материалов, размешанных в воде со связующими волокнистыми добавками (асбест, пепел). Горячая мастика наносится на горизонтальный трубопровод, обернутый сетчатым каркасом, несколькими слоями толщиной по 10–15 мм. Процесс нанесения изоляции занимает много времени.

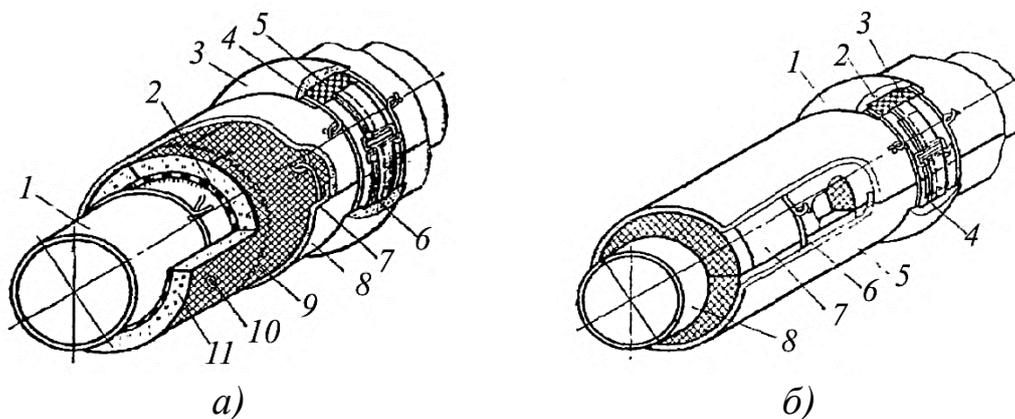


Рис. 9.1. Изоляция трубопроводов:

*а* – оберточная изоляция прошивными матами из волокнистых материалов в обкладке: 7 – антикоррозийное покрытие; 2 – внутренняя обкладка металлической сеткой; 3 – отделка стыка; 4 – проволоочная скрутка; 5 – сетка; б – бандаж с пряжкой; 7 – скрутка проволоочная; 8 – покровный слой из асбестоцементных полуцилиндров либо металла; 9 – сшивка стыков отожженной проволокой; 10 – наружная обкладка металлической сеткой; 11 – мат;

*б* – оберточная изоляция прошивными матами из волокнистых материалов без обкладок: 7 – отделка стыка; 2 – проволоочная скрутка; 3 – сетка; 4 – бандаж с пряжкой; 5 – покровный слой; б – проволоочная скрутка; 7 – мат; 8 – антикоррозийное покрытие

Подвесные теплоизоляционные конструкции выполняют из жестких или мягких формовочных изделий заводского изготовления. Виды самые разнообразные, в большинстве скорлупы из савелита, асбестовермикулита, пенодиатамита и других материалов на цементной или керамической связке (бывают в виде плит и сегментов).

Оберточная изоляция выполняется из прошивных матов в обкладках и без обкладок.

Монолитная изоляция – изготавливается на специальных заводах. Процесс изолирования зависит от материала. Например, процесс монолитной армопенобетонной изоляции: на поверхность очищенных

труб накручивают арматурную сетку, армированные трубы вставляют в металлические кассетные формы с закрывающимися торцевыми крышками. Формы заливают с компонентом пенообразования и помещают в автоклав.

### 9.1. Термическое сопротивление трубопроводов

Транспортные потери тепла зависят от конструкции тепловой изоляции и от способов прокладки трубопроводов.

Полное термическое сопротивление складывается:

- из теплоотдачи теплоносителя к внутренней поверхности трубы

$$R = R_{в};$$

- теплопроводности стенок трубы

$$R = R_{в} + R_{т};$$

- теплопроводности антикоррозийного покрытия

$$R = R_{в} + R_{т} + R_{и},$$

- теплоотдачи от поверхности изоляции к наружному воздуху

$$R = R_{в} + R_{т} + R_{и} + R_{н};$$

- теплоотдачи от воздуха к внутренней поверхности стенки канала

$$R = R_{в} + R_{т} + R_{и} + R_{н} + R_{пк};$$

- теплопроводности стенок канала

$$R = R_{в} + R_{т} + R_{и} + R_{н} + R_{пк} + R_{к};$$

- теплопроводности грунта

$$R = R_{в} + R_{т} + R_{и} + R_{н} + R_{пк} + R_{к} + R_{г};$$

Термические сопротивления антикоррозийного ( $R_{и}$ ) и покровного ( $R_{т}$ ) слоев очень малы. При прокладке трубопроводов термическое сопротивление определяется по формуле

$R = R_v + R_t + R_i + R_n$  открытая прокладка. Теплопередача осуществляется в окружающую среду.

Термическое сопротивление поверхности для цилиндрических тел

$$R = \frac{l}{\pi d \alpha}$$

где  $\pi d$  – поверхность трубопровода длиной  $l$ , м;

$\alpha$  – коэффициент теплопередачи на поверхности, Вт/м<sup>2</sup> °С.

$$\alpha = \alpha_l + \alpha_k$$

При расположении горячих объектов на открытом воздухе от наружной поверхности теплоизоляции происходит тепловыделение лучеиспусканием и конвекцией.

Для цилиндрических поверхностей:

$$\alpha = 10,3 + 0,052(t_{\text{пов}} - t_{\text{ок}}),$$

что характерно для объектов, размещенных в помещении, где  $t_{\text{ок}}$  – температура окружающей среды.

Для объектов, расположенных на открытом воздухе,

$$\alpha = 11,6 + 7\sqrt{\omega},$$

где  $\omega$  – скорость движения воздуха (принимается 10 м/с при отсутствии данных).

При расчете принимают эквивалентный диаметр, рассчитанный по формуле

$$d_{\text{экв}} = \frac{4F}{P_B},$$

где  $F$  – площадь сечения канала;

$P_B$  – периметр внутреннего контура канала.

Термическое сопротивление слоя для цилиндрических тел можно вывести из формулы

$$R_c = \frac{l}{2\pi\lambda} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;

$d_1, d_2$  – внутренний и наружный диаметр слоя.

Термическое сопротивление теплопроводности грунта определяется по формуле Хаймера:

$$R_{\Gamma} = \frac{l}{2\pi\lambda_{\Gamma}} \ln \left( 2 \frac{h}{d} + \sqrt{4 \frac{h^2}{d^2} - 1} \right)$$

где  $\lambda_{\Gamma}$  – коэффициент теплопроводности грунта;

$h$  – глубина заложения оси теплопровода.

## 9.2. Методика расчета толщины изоляции

Основной задачей теплового расчета является выбор конструкции тепловой изоляции.

Удельные тепловые потери определяются по формуле

$$q = \frac{(\tau - t_0)}{R}$$

где  $\tau$  – температура теплоносителя;

$t_0$  – температура окружающей среды;

$R$  – термическое сопротивление теплопровода.

Переход тепла от поверхности к окружающему воздуху можно записать в следующем виде:

$$\frac{\tau - t_{\text{пов}}}{R_U} = \frac{t_{\text{пов}} - t_0}{R_H} \rightarrow t_{\text{пов}} = \frac{\tau/R_U + t_0/R_H}{1/R_U + 1/R_H}$$

Конструкция теплоизоляции должна быть толщиной не более установленных норм и обеспечивать пределы изменения температуры теплоносителя. Потребная толщина слоя изоляции находится приведенной к виду

$$\ln \frac{d_{\text{вн}}}{d_{\text{н}}} = 2\pi\lambda_{\text{и}}R_{\text{и}},$$

где  $R_{\text{и}}$  – термическое сопротивление слоя изоляции;

$$R_H = R - R_{и};$$

$d_{и}$  – наружный диаметр изоляционной трубы.

Выбор толщины изоляции делают из соображений технической и экономической целесообразности:

- применение различных изоляционных материалов с одинаковой толщиной слоя;
- применение конструктивного теплоизоляционного материала путем изменения толщины слоя.

В первом случае экономическая выгода выявляется при сопоставлении стоимости 1 м изоляции двух или нескольких материалов

### 9.3. Основные расчетные зависимости для определения теплозащитных свойств теплоизоляционных конструкций

Для теплового расчета изоляции используются уравнения стационарной теплопередачи через плоские и криволинейные поверхности.

Теплопередача плоской теплоизоляционной конструкции рассчитывается по формулам:

- состоящей из  $n$  слоев изоляции

$$q_F = \frac{t_B - t_H}{R_{BH} + R_{CT} + \sum_{i=1}^n R_i + R_H}$$

- плоской однослойной

$$q_F = \frac{t_B - t_H}{R_{BH} + R_{CT} + R_{ИЗ} + R_H}$$

- криволинейной  $n$ -слойной

$$q_L = \frac{t_B - t_H}{R_{BH}^L + R_{CT}^L + \sum_{i=1}^n R_i^L + R_H^L}$$

- криволинейной однослойной

$$q_L = \frac{t_B - t_H}{R_{BH}^L + R_{CT}^L + R_{ИЗ}^L + R_H^L}$$

где  $q_F$  – поверхностная плотность теплового потока через плоскую теплоизоляционную конструкцию, Вт/м<sup>2</sup>;

$t_B$  – температура среды внутри изолируемого оборудования, °С;

$t_H$  – температура окружающей среды, °С;

$R_{BH}$  – термическое сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности стенки изолируемого объекта, м<sup>2</sup>°С/Вт;

$R_H$  – то же, на наружной поверхности теплоизоляции, м<sup>2</sup>°С/Вт;

$R_{CT}$  – термическое сопротивление кондуктивному переносу теплоты стенки изолируемого объекта, м<sup>2</sup>°С/Вт;

$R_{ИЗ}$  – то же, плоского слоя изоляции, м<sup>2</sup>°С/Вт;

$\sum_{i=1}^n R_i$  – полное термическое сопротивление кондуктивному переносу теплоты  $n$ -слойной плоской изоляции;

$R_i$  – термическое сопротивление  $i$ -го слоя, м<sup>2</sup> С/Вт;

$q_L$  – линейная плотность теплового потока через цилиндрическую теплоизоляционную конструкцию, Вт/м;

$R_{BH}^L$  – линейное термическое сопротивление теплоотдаче внутренней стенки изолируемого объекта, м°С/Вт;

$R_H^L$  – то же, наружной изоляции, м°С/Вт;

$R_{CT}^L$  – линейное термическое сопротивление кондуктивному переносу теплоты цилиндрической стенки изолируемого объекта, м°С/Вт;

$R_{ИЗ}^L$  – то же, цилиндрического слоя изоляции, м°С/Вт;

$\sum_{i=1}^n R_i^L$  – полное линейное термическое сопротивление кондуктивному переносу теплоты  $n$ -слойной цилиндрической изоляции;

$R_i^L$  – линейное термическое сопротивление  $i$ -го слоя, м°С/Вт.

В уравнениях термические сопротивления теплоотдаче и кондуктивному переносу теплоты определяются по формулам:

$$R_{BH} = \frac{1}{\alpha_{BH}}, \quad R_H = \frac{1}{\alpha_H}, \quad R_{ИЗ} = \frac{\delta_{ИЗ}}{\alpha_{ИЗ}}, \quad R_{CT} = \frac{\delta_{CT}}{\alpha_{CT}}, \quad R_i = \frac{\delta_i}{\alpha_i},$$

$$R_{BH}^L = \frac{1}{\pi d_{BH}^{CT} \alpha_{BH}}, \quad R_H^L = \frac{1}{\pi d_H^{ИЗ} \alpha_H}, \quad R_{ИЗ}^L = \frac{1}{2\pi \lambda_{ИЗ}} \ln \frac{d_H^{ИЗ}}{d_H^{CT}},$$

$$R_{CT}^L = \frac{1}{2\pi\lambda_{CT}} \ln \frac{d_H^{CT}}{d_{BH}^{CT}}, \quad R_i^L = \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{d_H^i}{d_{BH}^i}$$

где  $\alpha_{BH}$ ,  $\alpha_H$  – коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности стенки изолируемого объекта и наружной поверхности изоляции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

- $\lambda_{CT}$ ,  $\lambda_{из}$ ,  $\lambda_i$  – коэффициенты теплопроводности соответственно материала стенки изолируемого объекта, однослойной изоляции, изоляции  $i$ -го слоя  $n$ -слойной изоляции, Вт/(м·°C);
- $\delta_{CT}$ ,  $\delta_{из}$ ,  $\delta_i$  – толщина соответственно стенки изолируемого объекта, однослойной изоляции, изоляции  $i$ -го слоя  $n$ -слойной изоляции, м;
- $d_{BH}^{CT}$ ,  $d_H^{CT}$  – внутренний и наружный диаметры стенки изолируемого объекта, м;
- $d_{из}^{из}$  – наружный диаметр изоляции, м;
- $d_H^i$ ,  $d_{BH}^i$  – наружный и внутренний диаметры  $i$ -го слоя  $n$ -слойной изоляции, м.

Распределение температур в многослойной изоляции рассчитывается по формулам:

- температуры на внутренней и наружной поверхностях стенки изолируемого объекта плоской формы

$$t_{BH}^{CT} = t_B - q_F R_{BH}, \quad t_{BH}^{CT} = t_{BH}^{CT} - q_F R_{CT};$$

- температуры  $t_1^H$  на наружной поверхности первого слоя изоляции, на границе 1-го и 2-го слоев

$$t_1^H = t_H^{CT} - q_F R_1;$$

и далее, начиная со 2-го слоя, на границах  $(i-1)$ -го и  $i$ -го слоев

$$t_i^H = t_{(i-1)}^H - q_F R_1;$$

- температуры на наружной поверхности  $i$ -го слоя  $n$ -слойной стенки:

$$t_i^H = t_H - q_F R_H.$$

Для цилиндрических многослойных изоляционных конструкций структура формул для расчёта распределения температур имеет вид:

$$t_{BH}^{CT} = t_B - q_L R_{BH}^L, \quad t_H^{CT} = t_{BH}^{CT} - q_L R_{CT}^L,$$

$$t_1^H = t_H^{CT} - q_L R_1^L, \quad t_i^H = t_{(i-1)}^{CT} - q_L R_i^L, \quad t_i^H = t_H - q_L R_H^L;$$

При применении формул необходимо знать коэффициенты теплопроводности изоляционных слоев. Поскольку они зависят от температуры, должны быть известны средние температуры каждого слоя, для определения которых необходимо знать температуры на границах слоев. Для их расчета обычно используется метод последовательных приближений путем проведения нескольких расчетных операций.

На первом этапе, принимая для всех слоев среднюю температуру изоляции, обычно равную полусумме температур внутренней и наружной среды, находят при этой температуре теплопроводность всех теплоизоляционных слоев. Затем определяют значения  $q_F$  или  $q_L$  для плоской и цилиндрической стенок, рассчитывают температуры на границах слоев и средние температуры каждого слоя.

На втором этапе по найденным на первом этапе средним температурам слоев вновь определяют теплопроводность всех слоев, затем находят плотности потоков тепла и снова рассчитывают послойные температуры, и так далее до требуемой точности расчета. Например, до тех пор, пока послойные температуры на  $k$ -м и  $(k-1)$ -м шаге будут отличаться не более чем на 5 %. Обычно для этой цели необходимо проведение не более 3-4 расчетных операций.

Значительное место в промышленной изоляции занимают теплоизоляционные конструкции подземных сооружений, основной особенностью которых является контакт с массивом окружающего грунта, что в значительной степени усложняет их тепловой расчет по сравнению с конструкциями, контактирующими с атмосферой.

Анализ температурных полей и тепловых потоков в теплоизоляционных конструкциях и в граничащим с ними грунтом позволил заключить, что непосредственно в теплоизоляции с достаточной для инженерных расчетов точностью температурное поле можно считать одномерным. Это позволит определить их термическое сопротивление.

## 9.4. Расчет тепловой изоляции трубопроводов и оборудования

Анализ особенностей теплообмена в теплоизоляционных конструкциях промышленных объектов позволяет существенно упростить расчетные формулы.

Термическое сопротивление теплоотдаче от внутренней среды к внутренней поверхности стенки изолируемого объекта для жидких и даже газообразных сред по сравнению с термическим сопротивлением кондуктивному переносу теплоты в изоляции составляет весьма незначительную величину и может не учитываться.

Исключение составляет весьма редкий случай, когда внутри объекта находится газовая среда и теплообмен между ней и внутренней поверхностью стенки осуществляется за счет естественной конвекции.

Стенки изолируемого промышленного оборудования и трубопроводов обычно изготовлены из металла, теплопроводность которого в 100 раз и более превышает теплопроводность изоляции, вследствие этого термическим сопротивлением стенки без заметного снижения точности расчета можно пренебречь.

Таким образом, основными расчетными формулами для определения тепловых потерь изолируемого оборудования являются:

- для плоских поверхностей и криволинейных диаметром более 2 м

$$q_F = \frac{(t_h - t_H)K}{\sum_{i=1}^n R_i + R_u}$$

- для трубопроводов диаметром менее 2 м

$$q_L = \frac{(t_B - t_H)K}{\sum_{i=1}^n R_i^L + R_H^L}$$

где  $K$  - коэффициент дополнительных потерь, учитывающий теплопотери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях, обусловленных наличием в них крепежных деталей и опор (табл. 9.1).

Термическое сопротивление кондуктивному переносу слоев изоляции и внешней теплоотдаче определяется по формулам, в которых

теплопроводность изоляции принимается по СНиП П-3-79, а коэффициент теплоотдачи на поверхности изоляции – по табл. 9.2.

**Таблица 9.1**

*Значения коэффициента дополнительных потерь*

Способ прокладки трубопроводов	Коэффициент К
На открытом воздухе, в непроходных каналах, тоннелях и помещениях	1,2
Для стальных трубопроводов на подвижных опорах, условным проходом, мм: до 150 150 и более	1,15 1,05
На подвесных опорах для неметаллических трубопроводов на подвижных и подвесных опорах	1,7
Бесканальная	1,15

**Таблица 9.2**

*Значения коэффициента теплоотдачи  $a$ , Вт/(м<sup>2</sup> °С)*

Изолированный объект	В закрытом помещении		На открытом воздухе при скорости ветра <sup>3</sup> , м/с		
	Покрытия с малым коэффициентом излучения <sup>1</sup>	Покрытия с высоким коэффициентом излучения <sup>2</sup>	5	10	15
Горизонтальные трубопроводы	7	10	20	26	35
Вертикальные трубопроводы	8	12	26	35	52

<sup>1</sup> К ним относятся кожухи из оцинкованной стали, листов алюминиевых сплавов и алюминия с оксидной пленкой.

<sup>2</sup> К ним относятся штукатурки, асбестоцементные покрытия, стеклопластики, различные окраски (кроме краски с алюминиевой пудрой).

<sup>3</sup> При отсутствии сведений о скорости ветра принимают значения, соответствующие скорости 10 м/с.

## 9.5. Расчет изоляции по заданной температуре ее поверхности

Определение толщины изоляции по заданной температуре ее наружной поверхности  $t_n$  производится в том случае, когда изоляция нужна как средство, предохраняющее обслуживающий персонал от ожогов. При этом температура на поверхности должна приниматься не более, °С:

- для изолируемых объектов, расположенных в рабочей или обслуживаемой зоне помещений и содержащих вещества:
  - температурой выше 100 °С ..... 45;
  - температурой 100 °С и ниже..... 35;
  - температурой вспышки паров не выше 45 °С ..... 35;
- для изолируемых объектов, расположенных на открытом воздухе, в рабочей или обслуживаемой зоне, при:
  - металлическом покровном слое..... 55;
  - для других видов покровного слоя ..... 60.

Температура на поверхности тепловой изоляции трубопроводов, расположенных за пределами рабочей или обслуживаемой зоны, не должна превышать температурных пределов применения материалов покровного слоя, но не выше 75 °С.

Из условия равенства плотности тепловых потоков: кондуктивного, проходящего через слой изоляции  $\delta_{ИЗ}$ , м, за счет разности температур  $t_B - t_{\Pi}$  и конвективного, уходящего с наружной поверхности за счет разности  $t_{\Pi} - t_H$ , можно написать:

$$R_{ИЗ} = \frac{t_B - t_{\Pi}}{t_{\Pi} - t_H} R_H, \quad R_{ИЗ}^L = \frac{t_B - t_{\Pi}}{t_{\Pi} - t_H} R_H^L.$$

Получим формулы для расчета толщины изоляции исходя из требуемой температуры поверхности:

– для плоских теплоизоляционных конструкций

$$\delta_{\text{из}} = \frac{\lambda_{\text{из}}(t_B - t_{\text{п}})}{\alpha_H(t_{\text{п}} - t_H)}$$

– для цилиндрических

$$\ln B = \ln \frac{d_H^{CT} + 2\delta_{\text{из}}}{d_H^{CT}} = 2\pi \lambda_{\text{из}} R_H^L \frac{t_B - t_{\text{п}}}{t_{\text{п}} - t_B}$$

откуда, принимая ориентировочное значение  $R_H^L$  и определяя  $\ln B$ , находим  $B$ , а затем

$$\delta_{\text{из}} = \frac{d_H^{CT}(B - 1)}{2},$$

рассмотренный метод является приближенным. Для более точных расчетов с применением ПК следует использовать метод последовательных приближений. Расчетное уравнение в этом случае будет иметь вид

$$\left( \frac{t_B - t_{\text{п}}}{t_{\text{п}} - t_H} \right) = \frac{\ln \frac{d_H^{CT} a + 2\delta_0 i}{d_H^{CT}} \alpha_H (d_H^{CT} + 2\delta_0 i)}{2\lambda_{\text{из}}}$$

Задаваясь начальным значением толщины изоляции  $\delta_0$ , м, определяемым требуемой точностью расчета, например, 0,001 м, с помощью последовательных шагов: 1, 2, 3, ...,  $i$  для толщин изоляции:  $\delta_1 = \delta_0 \cdot 1$ ;  $\delta_2 = \delta_0 \cdot 2$ ;  $\delta_3 = \delta_0 \cdot 3$ , ...,  $\delta_i = \delta_0 \cdot i$  производим вычисление величин:

$$\left( \frac{t_B - t_{\text{п}}}{t_{\text{п}} - t_H} \right)_1, \left( \frac{t_B - t_{\text{п}}}{t_{\text{п}} - t_H} \right)_2, \left( \frac{t_B - t_{\text{п}}}{t_{\text{п}} - t_H} \right)_3, \dots, \left( \frac{t_B - t_{\text{п}}}{t_{\text{п}} - t_H} \right)_i.$$

На каждом шаге вычислений  $i$  производится сравнение, при выполнении условия

$$\left( \frac{t_B - t_{\text{п}}}{t_{\text{п}} - t_H} \right)_i - \left( \frac{t_B - t_{\text{п}}}{t_{\text{п}} - t_H} \right)_p \geq 0$$

вычисления заканчиваются, а найденная величина  $\delta_i = \delta_0 i$  является с точностью до 1 мм заданной, обеспечивающей требуемую температуру поверхности изоляции.

При расчете толщины изоляции по заданной температуре поверхности принимаются следующие расчетные параметры окружающей среды:

- температура внутренней среды  $t_B$ ;
- по техническому заданию на проектирование;
- температура наружной среды  $t_H$ ;
- как средняя максимальная наиболее жаркого месяца при расположении изолируемого объекта на открытом воздухе, при расположении в помещении минус 20 °С;
- коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности изоляции объекта, расположенного в помещении и на открытом воздухе при покровном слое с малым коэффициентом излучения (см. примечания к табл. 9.2) 6 Вт/(м<sup>2</sup>·°С), с большим – 11 Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

## 9.6. Приемка, пуск и наладка тепловых сетей

Приемка и надзор осуществляются по техническим условиям проектов, согласованных с теплосетью. Комиссия должна требовать от исполнителей работ строгого соблюдения всех норм строительства и проектных решений. Надзор проводится по всем видам строительства и проектным решениям.

Поэтапные результаты надзора оформляются актами приемки установленной формы. Данный документ дает разрешение на последующие работы.

На все отступления от проекта должны быть получены согласования проектных организаций. При техническом надзоре особое внимание уделяется отсутствию брака, проверяется расстояние разрыва и длина натяжного компенсатора, проверяется запорная и фланцевая арматура, крепления (свобода открывания и закрывания), качество набивки и т. п.

Контроль теплоизоляционных слоев (ТИС) проводится путем измерения толщины равномерности слоев и прочности крепления.

По окончании строительно-монтажных работ теплопровод пускается в пробную эксплуатацию с целью наладки, опробования и проведения необходимых испытаний на прочность. Прием и сдача сети оформляются актом. Туда прилагаются:

- исполнительные чертежи теплотрассы;
- акты ревизий и испытаний;
- паспорт магистрали, паспорт арматуры, паспорт приборов контроля;
- сертификаты на трубы и изделия;
- акты лабораторных исследований сварки и теплоизоляции;
- строительные чертежи сооружений.

Пуск системы теплоснабжения в эксплуатацию должна производить пусковая бригада по специально составленной программе. В программе содержится пусковая схема сети с описанием плана пуска теплопровода и расстановкой рабочих. Пуск водяных тепловых сетей начинается с наполнения водопроводной водой участка трубопровода, наполняется в обратную магистраль с помощью подпиточного насоса. В период заполнения перекрываются все спускные краны и задвижки на ответвлениях. Открытыми остаются только воздушники. После заполнения всей системы проводится 2-3-часовая выдержка для окончательного удаления воздушных скоплений. Следующей пусковой операцией является опрессовка на прочность и плотность. После испытания на прочность приступают к промывке трубопроводов. Промывка ведется до полного осветления воды. После устранения дефектов трубопровод пускается в 72-часовую пробную эксплуатацию (контрольная эксплуатация).

При выполнении данного вида работ персонал должен иметь спецодежду для избежания ожогов. Вблизи могут находиться только люди, прошедшие специнструктаж и знающие правила работы.

Задача наладки заключается в том, чтобы обеспечить бесперебойное поступление тепла при всех режимах нагрузки и установить максимальное соответствие между выработкой тепла и его потреблением.

Режим отпуска тепла планируется на основе суточных и годовых графиков нагрузки.

Пусковая наладка необходима для обеспечения расчетного распределения теплоносителя в многочисленных ответвлениях и экономичной работы теплотребляющих установок.

Наиболее простое регулирование достигается последовательным подключением абонентов в направлении от конца сети к источнику.

Особое значение имеет контроль температуры обратной воды. Повышенная температура обратной воды свидетельствует о перетопе здания и нарушении норм в помещении. По результатам наладки составляют режимные карты. В них указывают значение тепловой нагрузки, параметры теплоносителя, перепады давления и температуры. Режимные карты являются руководящим документом для эксплуатирующей организации.

### *Испытание тепловых сетей*

Испытания бывают *пусковые* и *эксплуатационные*.

Пусковые – после сооружения новых сетей или после капитального ремонта.

Эксплуатационные – проводят периодически в процессе использования.

Испытания бывают: на опрессовку, гидравлические, тепловые.

Опрессовка предназначена для определения механической прочности и плотности трубопроводов, арматуры, оборудования.

Пусковая опрессовка производится в два этапа – предварительно и окончательно. Предварительная выполняется по мере окончания работ короткими участками, до засыпки траншей. Целью является проверка прочности при избыточном давлении 1,6 МПа в течение времени осмотра и простукивания (отстукивание проводится молотком массой 1,5 кг, ручка длиной 500 мм, бьется по обеим сторонам шва).

Окончательная выполняется после завершения всех работ и установки всего оборудования, но до наложения тепловой изоляции, также избыточным давлением  $1,25 P_{\text{раб}}$ , но не менее 1,6 МПа в подаче и 1,2 МПа в обратке. Длительность определяется необходимым временем для осмотра.

Испытания должны проводиться в теплое время при нормальной температуре не ниже 1 °С. Максимальный подогрев воды до 50 °С. Ре-

зультаты испытания сетей и тепловых пунктов считают удовлетворительными, если не обнаруживается падение давления, отсутствуют разрывы, течи воды и запотевание.

При обнаружении дефекта:

- вода сливается;
- дефект вырубается и переваривается;
- неплотности устраняются;
- опрессовку повторяют.

Гидравлические испытания предусмотрены для определения гидравлических характеристик новой сети и оборудования пунктов либо изменения этих характеристик в процессе эксплуатации. При этих испытаниях измеряют давление, расход и температуру в характерных точках (местах изменения диаметров, расходов воды либо перемычки).

Тепловые испытания проводят с целью определения фактических потерь тепла и сопоставляют с расчетными и нормативными значениями. Необходимость диктуется разрушением тепловой изоляции и требованием ее замены.

Испытания на максимальную температуру теплоносителя проводят с целью проверки надежности компенсаторов и опор. Оцениваются степень старения металла, степень напряжения и деформации. Осмотры проводятся раз в два года.

### *Ремонт и диспетчерская служба*

Диспетчерская служба проверяет показания измерительной аппаратуры и вносит исправления в случае отклонения от заданных режимов. Регулировка бывает:

- при образовании воздушных мешков;
- скоплении шлама и продуктов коррозии;
- заклинивании арматуры, затрудняющей регулировку режимов;
- разрушении тепловой изоляции;
- неплотности фланцевых соединений.

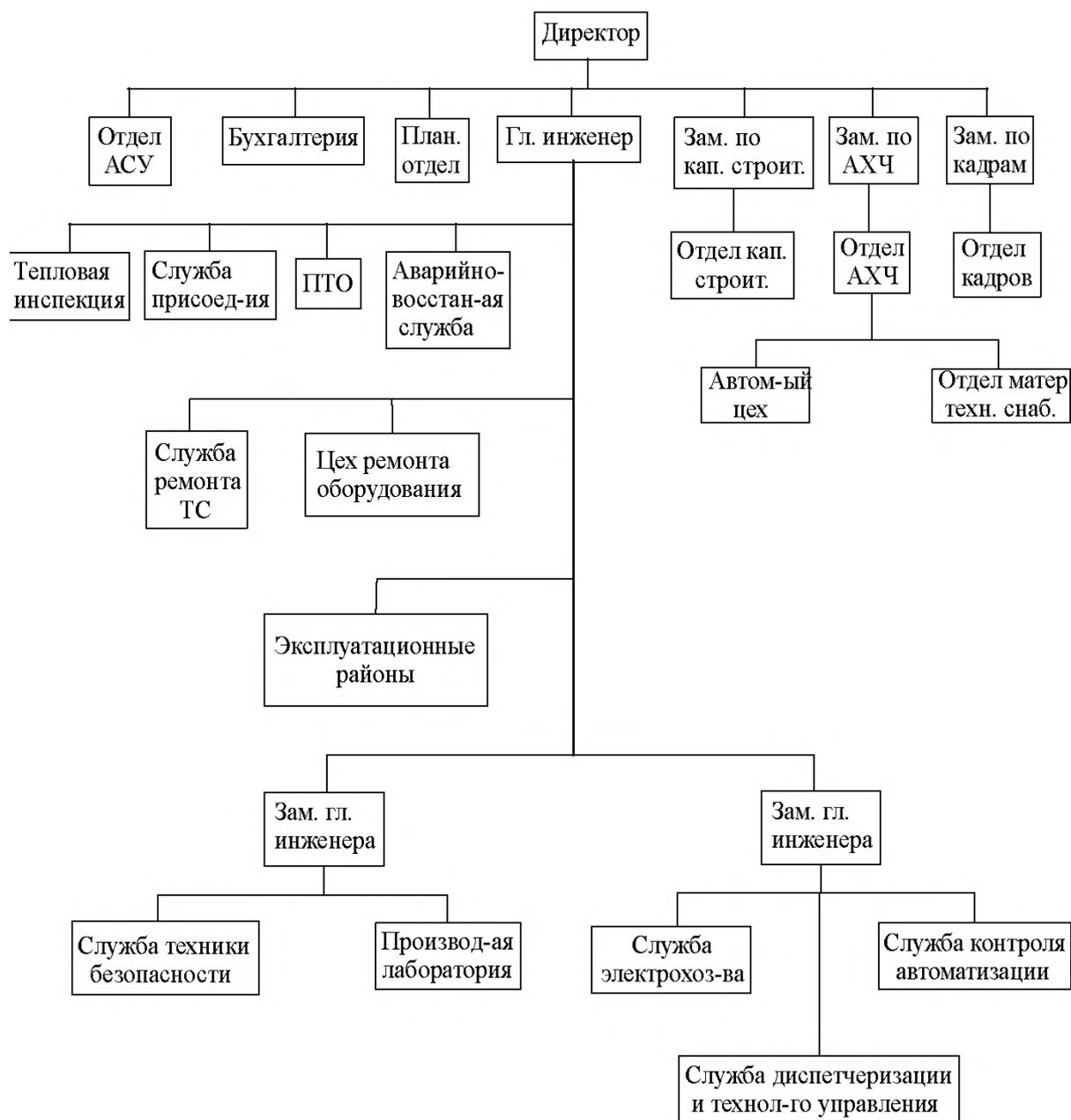


Рис.9.2 Структура службы эксплуатации

Текущий ремонт – представляет собой комплекс профилактических мероприятий, выполняемых систематически с целью предупреждения преждевременного износа отдельных элементов системы и устранения мелких дефектов (рис. 9.2).

Капитальный ремонт – предназначен для полного восстановления изношенных элементов и реконструкции системы с применением более экономичного и современного оборудования.

Первым признаком аварии является падение давления и увеличение подпиточной воды.

Руководство действиями дежурных по ликвидации аварии принимает на себя диспетчер теплосети. Для быстрого обнаружения повреждений и устранения неполадок в кратчайший срок эксплуатационный персонал должен иметь заранее разработанный оперативный план действий. В нем должны быть указаны:

- порядок выключения магистралей и вводов;
- план оперативного обхода камер и тепловых пунктов;
- условие аварийного включения резервных перемычек.

Диспетчер независимо от размеров повреждений обязан обеспечить нормальный режим теплоснабжения. При значительных утечках воды необходимо использовать все подпиточные средства, вплоть до использования в подпитку недеаэрированной воды для избежания опорожнения отопительной системы. Установив режим подпитки, диспетчер организует поиск места аварии посредством диспетчеризации с применением систем автоматического управления с вводом опросной информации от контрольных объектов на компьютер.

### **9.7. Надежность тепловых сетей и потоков отказов**

В строительных нормах используются следующие термины и определения.

Система централизованного теплоснабжения – система, состоящая из одного или нескольких источников теплоты, тепловых сетей (независимо от диаметра, числа и протяженности наружных теплопроводов) и потребителей теплоты.

Вероятность безотказной работы системы [Р] – способность системы не допускать отказов, приводящих к падению температуры в отапливаемых помещениях жилых и общественных зданий ниже +12 °С, в промышленных зданиях ниже +8 °С, более числа раз, установленного нормативами.

Коэффициент готовности (качества) системы [Кг] – вероятность работоспособного состояния системы в произвольный момент времени поддерживать в отапливаемых помещениях расчетную внутреннюю температуру, кроме периодов снижения температуры, допускаемых нормативами.

Живучесть системы [Ж] – способность системы сохранять свою работоспособность в аварийных (экстремальных) условиях, а также после длительных (более 54 ч) остановов.

Срок службы тепловых сетей – период времени в календарных годах со дня ввода в эксплуатацию, по истечении которого следует провести экспертное обследование технического состояния трубопровода с целью определения допустимости, параметров и условий дальнейшей эксплуатации трубопровода или необходимости его демонтажа.

Поврежденные участки сети или оборудование, которое приводит к необходимости немедленного отключения, считается отказом. К отказам приводят следующие повреждения:

- трубопровода – сквозные коррозионные повреждения, разрывы сварных швов;
- задвижек – коррозия корпуса, искривление или западание дисков, неплотность фланцевых соединений, засоры;
- сальниковых компенсаторов – коррозия стакана, выход из строя набивки.

Наиболее частым повреждением является коррозия. Поврежденные участки отключаются, ремонтируются и вновь включаются в работу. Со временем на участке возможно новое повреждение, которое также будет отремонтировано: последовательность возникновения повреждений (отказов) составляет поток случайных событий – поток отказов. Надежность тепловых сетей оценивается показателем надежности  $R_{сум}(t)$ , величина которого имеет определенный уровень и не может быть ниже.

У проектировщика имеются следующие средства повышения надежности системы:

- секционирование;
- резервирование.

Так как с увеличением системы ущерб от аварий прогрессивно растет, следовательно, для больших систем уровень надежности выше. Оптимальный уровень надежности в настоящее время не определен. Предварительный уровень для квартальной котельной и районной котельной не ниже 0,85, от ТЭЦ – не ниже 0,9. Такой невысокий уровень объясняется большими значениями потока отказов.

### ***Вопросы для самоконтроля***

1. Как осуществляется расчет изоляции по заданной температуре её поверхности?
2. Дайте описание подземной прокладки в непроходных каналах.
3. Дайте описание подземной безканальной прокладки.
4. Как производится приемка, пуск и наладка тепловых сетей?
5. Как осуществляется испытание тепловых сетей?
6. Что такое ремонт и диспетчерская служба?
7. Дайте определение надежности тепловых сетей и потоков отказов.
8. Укажите перспективы развития систем теплоснабжения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии содержатся тематически подобранные информационные материалы:

- проектирование тепловых пунктов, эксплуатации тепловых энергоустановок;
- проектирование, гидравлические расчеты и монтаж трубопроводных систем;
- тепловая изоляция трубопроводов;
- автономные системы теплоснабжения, оборудование, конструктивные решения;
- технические требования к тепловым сетям, тепловым пунктам;
- приемка и ввод в эксплуатацию тепловых сетей и тепловых пунктов;
- эксплуатация и режимы работы систем теплоснабжения;
- энергоэкономичные технические решения систем теплоснабжения;
- организация учета и регулирования расхода тепловой энергии;
- комплексная автоматизация систем теплоснабжения;
- повышение тепловой защиты зданий;
- подготовка к отопительному периоду.

Оптимальный выбор схем и соответствующих им труб из конкретного материала – основная проблема, ее правильное решение способно удовлетворить как технические, так и экономические требования, которые предъявляются к внутренним сантехническим системам.

Долгое время в нашей стране трубопроводы систем водоснабжения и отопления монтировались главным образом из одного и того же материала – стали. Примерно с начала 80-х гг. XX в. стали выполняться подводки холодной воды к сантехническим приборам (унитазам и смесителям) из полиэтиленовых трубочек, в то время как все остальные трубопроводы водоснабжения и отопления монтировались из стальных труб. В начале 90-х гг. из полипропилена и металлопластика стали выполняться не только подводки, но и стояки для подачи холодной и горячей воды. С выходом в свет в 2001 г. норматива российского значения появилась возможность широкого использования полимерных

труб для устройства всех трубопроводов систем внутреннего водоснабжения. Несколькими годами раньше Госстрой России изменением к СП 41-102-98 разрешил использование некоторых полимерных труб, в том числе и из металлополимеров, для устройства трубопроводов отопления с температурой теплоносителя до 90 °С и рабочим давлением до 1 МПа, в этом же документе наряду со стальными трубами было разрешено применение медных и латунных труб.

Все это позволяет технически грамотно использовать медные трубы во внутренних системах водоснабжения и отопления зданий. Можно констатировать, что наконец появилась возможность устраивать внутренние системы горячего и холодного водоснабжения и отопления из одних и тех же труб, но не как в прошлые годы – все трубопроводы из стали, а из широкого их набора – по виду материала, и это очень важно. Монтаж, эксплуатацию внутренних систем как водоснабжения, так и отопления выполняют, за редким исключением, одни и те же специалисты – слесари-сантехники. И чем меньше технологических процессов будет использоваться при монтаже и эксплуатации всех систем в совокупности, тем качественнее и производительнее будет их работа – монтаж при строительстве и ремонт при эксплуатации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Szkarowski, A.* Ciepłownictwo. Wydawnictwo WNT. Wydanie II poprawione / A. Szkarowski, L. Latowski. – Warszawa, 2012. – 360 s.
2. Водяные тепловые сети : справочное пособие по проектированию / И. В. Беляйкина, В. П. Витальев, Н. К. Громов [и др.] ; под ред. Н. К. Громова, Е. П. Шубина. – М. : Энергоатомиздат, 1988. - 376 с. – ISBN 5-283-00114-8
3. ГОСТ 16037-80\* Соединения сварные стальных трубопроводов. – URL: <https://uaz74.ru/files/gost/gost1603780.pdf?ysclid=lyx3rv6933173085191> (дата обращения:11.05.2024).
4. ГОСТ 21.605–82\*. Сети тепловые. Рабочие чертежи. – М. : Изд-во стандартов, 1982. - 10 с. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/300/30057.pdf?ysclid=lyx3tdyban4868427> (дата обращения:12.05.2024).
5. ГОСТ Р 21.1101-2009 «Основные требования к проектной и рабочей документации». – URL: [https://alfa-bezopasnost.su/wp-content/uploads/2020/04/gost21.1101\\_2009.pdf?ysclid=lyx3vfe862911407130](https://alfa-bezopasnost.su/wp-content/uploads/2020/04/gost21.1101_2009.pdf?ysclid=lyx3vfe862911407130) (дата обращения:12.05.2024).
6. Дегтяренко, А. В. Теплоснабжение : учеб. пособие / А. В. Дегтяренко. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 185 с. – ISBN 978-5-93057-302-2.
7. Лачуга, Ю. Ф. Теоретическая механика / Ю. Ф. Лачуга, В. А. Ксендзов. – М. : КолосС, 2005. – 576 с. – ISBN 978-5-95320-7980.
8. Лямин, А. А., Проектирование и расчет конструкций тепловых сетей / А. А. Лямин, А. А. Скворцов. – М. : Стройиздат, 1965. - 295 с.
9. Малышенко, В. В. Энергетические насосы : справ. пособие / В.В. Малышенко, А. К. Михайлов. – М. : Энергоатомиздат, 1981. - 200 с.
10. МДК 4-05.2004. Методики определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения. – URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/164/4294814310.pdf?ysclid=lyx41e9vyh611976647> (дата обращения:12.05.2024).

11. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – 2-е изд., стер. – М. : Энергоатомиздат, 1977. – 344 с.

12. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей : справочник / В. П. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж [и др.]. – М. : Стройиздат, 1988. - 432 с.

13. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию». – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=456942&ysclid=lyx48168ev145011200> (дата обращения: 01.06.2024)

14. Предизолированные трубы для подземных водяных теплопроводных сетей. Система ЗПУ Мендзыжеч. – Польша : Мендзыжеч, 1998. – 86 с. – ISSN 1684-2626.

15. Приказ от 1 июня 2010 г. N 2079 «Об утверждении перечня документов в области стандартизации...». – URL: <https://law.tks.ru/document/144350> (дата обращения: 12.05.2024).

16. Проектирование тепловых сетей : справочник проектировщика / под ред. А. А. Николаева. – М. : Стройиздат, 1965. - 360 с.

17. Руководство по применению труб с промышленной изоляцией из ППУ производства ЗАО «МосФлоулайн». – М.: Изд-во «МосФлоулайн», 2008. – 152 с. – URL: <https://idebuv.cexavok.spb.ru/egac6dd8/>

18. Сафонов, А. П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям/ А. П. Сафонов. – 3-е изд., перераб. – М. : Энергия, 1985. – 232 с.

19. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – 7-е изд., стереотип. – М. : Энергоиздат, 2001. – 472 с.

20. СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения». – URL: <https://pravo.edusite.ru/SP-118-13330-2012.pdf>

21. СП 30.13330.2012 Внутренний водопровод и канализация (Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85\*). – URL: <https://www.tececlub.ru/upload/iblock/f17/%D0%A1%D0%9F%2030.13330.2012.pdf> (дата обращения: 12.05.2024).

22. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. – М. : Госстрой России, 1997. – URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/88c/4294851779.pdf> (дата обращения: 12.05.2024).

23. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. – М. : Госстрой России, 2001. – URL: [https://gostbank.metaltorg.ru/data/norms\\_new/sp/62.pdf?ysclid=lyx4l4rvz453014509](https://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/sp/62.pdf?ysclid=lyx4l4rvz453014509) (дата обращения:12.05.2024).

24. СП 41-104-2000. Проектирование автономных источников теплоснабжения. – URL: <http://www.kamzgo.ru/docs/окс/sp-41-104-2000.pdf?ysclid=lyx4ml6agx612225063> (дата обращения:12.05.2024).

25. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003, от 28.12.2010. – URL: <https://poz-sar.com/uploads/certificate/be61e62c-0555-4ca5-af61-3796c614c7b7.pdf?ysclid=lyx4obhjfpr355355035> (дата обращения:12.05.2024).

26. СП 124.13330.2020 Тепловые сети. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/1913/>(дата обращения:12.05.2024).

27. СП 131.13330.2020 Строительная климатология (ред. от 24.12.2020). – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/118243/> (дата обращения:12.05.2024).

28. СП 50.13330.2020 Тепловая защита зданий. – URL: <https://tk-expert.ru/lib/394/> (дата обращения:12.05.2024).

29. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция кондиционирование, [https://helpeng.ru/public/normdoc/sp-new/sp\\_60.13330.2020.pdf](https://helpeng.ru/public/normdoc/sp-new/sp_60.13330.2020.pdf)

30. СП 61.13330.2020 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200091050?ysclid=lyx4vrw41g797062011>(дата обращения:12.05.2024).

31. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей / В. И. Манюк [и др.]. – 3-е изд. – М. : Стройиздат, 1988. – 432 с.

32. Справочник строителя тепловых сетей / под ред. С. Е. Захаренко. – М. : Энергоатомиздат, 1984. - 184 с.

33. Козин, В. Е. Теплоснабжение / В. Е. Козин, Т. А. Левина, А. П. Марков, и др. – М. : Высш. шк., 1980. - 408 с.

34. Ионин, А. А. Теплоснабжение /А. А. Ионин [и др.]. – М. : Стройиздат, 1982. – 360 с.

35. Федеральный Закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». – URL:

<https://base.garant.ru/12172032/?ysclid=lyx4zyl9b5752311122> (дата обращения: 12.05.2024).

36. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293834/4293834267.pdf?ysclid=lyx511a61s547600449> (дата обращения: 12.05.2024).

37. Шкаровский, А. Л. Инженерные системы зданий и сооружений. Тепловые сети и системы теплоснабжения: учеб, пособие / А. Л. Шкаровский. — СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2014. - 152 с. – ISBN 978-5-7422-4293-2.

38. Шкаровский, А. Л. Инженерные системы зданий и сооружений. Принципы энергоэффективного проектирования и эксплуатации систем горячего водоснабжения : учеб. пособие / А. Л. Шкаровский. – СПб. : Изд- во Политехи, ун-та, 2013. – 91 с. – ISBN 978-5-7422-4291-8.

39. Шкаровский, А. Л. Теплоснабжение. Основы расчетов и проектирования / А. Шкаровский. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 396 с. – ISBN 978-5-8114-5222-4.

*Учебное электронное издание*

СТАРИКОВ Альберт Николаевич

СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЁТА  
СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Раздел «Теплоснабжение»

Учебное пособие

*Издается в авторской редакции*

**Системные требования:** Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10; Adobe Reader;  
дисковод DVD-ROM.

**Тираж 25 экз.**

Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
Изд-во ВлГУ  
rio.vlgu@yandex.ru

Институт архитектуры, строительства и энергетики  
кафедра теплогазоснабжения, вентиляции и гидравлики  
alstar@mail.ru