

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Виды систем теплоснабжения.

Каждая система теплоснабжения состоит из следующих основных элементов: **источника тепловой энергии, тепловой сети, абонентских вводов и местных систем потребителей тепла.**

Тепловая энергия отпускается потребителям в виде **горячей воды и водяного пара.**

Вода как теплоноситель имеет ряд преимуществ перед паром; некоторые из этих преимуществ приобретают особо важное значение при отпуске тепла с ТЭЦ:

- возможность транспортирования воды на большие расстояния без существенной потери ее энергетического потенциала, т.е. ее температуры (понижение температуры воды в крупных системах составляет менее 1° на 1 км пути), энергетический потенциал пара – его давление – уменьшается при транспортировании более значительно, составляя в среднем 0,1 – 0,15 МПа на 1 км пути. Таким образом, в водяных системах давление пара в отборах турбин может быть очень низким (от 0,06 до 0,2 МПа), тогда как в паровых системах оно должно составлять до 1-1,5 МПа. Повышение же давления пара в отборах турбин приводит к увеличению расхода топлива на ТЭЦ и уменьшению выработки электроэнергии на тепловом потреблении;
- меньшая стоимость присоединений к тепловым сетям местных систем отопления;
- возможность центрального (у источника тепла) регулирования отпуска тепла потребителям изменением температуры воды;
- простота эксплуатации – отсутствие у потребителей неизбежных при паре конденсатоотводчиков и насосных установок по возврату конденсата.

Кроме того, водяные системы позволяют сохранить на ТЭЦ в чистоте конденсат греющего воду пара без устройства дорогих и сложных паропреобразователей. При паровых же системах конденсат возвращается от потребителей нередко загрязненным и далеко не полностью (40-50%), что требует значительных затрат на его очистку и приготовление добавочной питательной воды для котлов.

Пар как теплоноситель в свою очередь имеет определенные достоинства по сравнению с водой:

- большую универсальность, заключающуюся в возможности удовлетворения всех видов потребления, включая технологические процессы;

- меньший расход электроэнергии на перемещение теплоносителя (расход электроэнергии на возврат конденсата в паровых системах весьма невелик по сравнению с затратами электроэнергии на перемещение воды в водяных системах);
- незначительность создаваемого гидростатического давления вследствие малой удельной плотности пара по сравнению с плотностью воды.

Классификация потребителей тепла.

Потребителями тепла систем теплоснабжения являются:

- теплоиспользующие санитарно-технические системы зданий (системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, горячего водоснабжения);
- различного рода технологические установки, использующие тепло низкого потенциала (до 300 – 350⁰С).

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

- сезонные потребители, нуждающиеся в тепле только в холодный период года, с зависимостью расхода тепла в основном от температуры наружного воздуха, к этой группе относятся системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- круглогодичные потребители, нуждающиеся в тепле весь год, со слабо выраженной в большинстве случаев зависимостью расхода тепла от температуры наружного воздуха, к этой группе относятся системы горячего водоснабжения и технологические установки.

Системы теплоснабжения с различными устройствами и названиями элементов классифицируют по признакам:

1. источнику приготовления тепла;
2. роду теплоносителя;
3. способу подачи воды на горячее водоснабжение;
4. количеству трубопроводов тепловых сетей;

1. По источнику приготовления тепла различают три вида систем теплоснабжения:

- высокоорганизованное централизованное теплоснабжение на базе комбинированной выработки тепла и электроэнергии на ТЭЦ – теплофикация;

- централизованное теплоснабжение от районных отопительных и промышленно-отопительных котельных;
- децентрализованное теплоснабжение от мелких котельных, индивидуальных отопительных печей и т.д.

Централизованное теплоснабжение представляет собой процесс обеспечения тепловой энергией низкого (до 150^0) и среднего (до 350^0) потенциала нескольких потребителей от одного или нескольких источников.

Источником тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения могут быть теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), районные (РК) и квартальные котельные. На ТЭЦ осуществляется комбинированная выработка тепла и электроэнергии, обеспечивающая существенное снижение удельных расходов топлива при получении электроэнергии. При этом сначала тепло рабочего тела - водяного пара - используется для получения электроэнергии при расширении пара в турбинах, а затем оставшееся тепло отработанного пара используется для нагрева воды в теплообменниках, которые составляют теплофикационное оборудование ТЭЦ. Горячая вода применяется для теплоснабжения. Таким образом, на ТЭЦ тепло высокого потенциала используется для выработки электроэнергии, а тепло низкого потенциала – для теплоснабжения. В этом состоит энергетический смысл комбинированной выработки тепла и электроэнергии. При отдельной их выработке электроэнергию на конденсационных станциях (КЭС), а тепло – в котельных. В конденсаторах паровых турбин на КЭС поддерживается глубокий вакуум, которому соответствуют низкие температуры ($15-20^0\text{C}$), и охлаждающую воду не используют. В результате на теплоснабжение расходуют дополнительное топливо. Следовательно, отдельная выработка экономически менее выгодна, чем комбинированная.

Следует учитывать, что при теплофикации капитальные вложения в ТЭЦ и тепловые сети оказываются больше, чем в КЭС и централизованные системы теплоснабжения от РК, поэтому ТЭЦ целесообразно сооружать лишь при больших тепловых нагрузках.

2. По роду теплоносителя:

- водяные системы теплоснабжения;
- паровые системы теплоснабжения.

Водяные системы применяют в основном для теплоснабжения сезонных потребителей и горячего водоснабжения, а в некоторых случаях и для технологических процессов.

Паровые системы теплоснабжения распространены главным образом на промышленных предприятиях, где требуется высокотемпературная тепловая нагрузка.

3. По способу подачи воды на горячее водоснабжение:

- закрытые;
- открытые.

В **закрытых** водяных системах теплоснабжения воду из тепловых сетей используют только как греющую воду для нагревания в подогревателях поверхностного типа водопроводной воды, поступающей затем в местную систему горячего водоснабжения. В закрытых системах теплоснабжения сам теплоноситель нигде не расходуется, а лишь циркулирует между источником тепла и местными системами теплопотребления. Это значит, что такие системы закрыты по отношению к атмосфере. Для закрытых систем теоретически справедливо равенство $G_{yx} = G_{прих}$, т.е. количество уходящей от источника и приходящей к нему воды одинаково. В реальных же системах всегда $G_{yx} > G_{прих}$. Часть воды теряется из системы через имеющиеся в ней неплотности: через сальники насосов, компенсаторов, арматуру и др. Эти утечки воды из системы невелики и при хорошей эксплуатации не превышают 0,5% объема воды в системе. Однако даже в таком количестве они приносят определенный ущерб, так как с ними теряются и тепло, и теплоноситель. Пополнение системы водой для компенсации утечек происходит у источника тепла.

В **открытых** водяных системах теплоснабжения горячая вода к водоразборным приборам местной системы горячего водоснабжения поступает непосредственно из тепловых сетей. Для открытых систем даже при отсутствии утечек характерно равенство $G_{yx} > G_{прих}$. Сетевая вода, выливаясь из водоразборных кранов местных систем горячего водоснабжения, соприкасается с атмосферой, т.е. такие системы открыты по отношению к атмосфере. Пополнение открытых систем водой происходит обычно так же, как и закрытых систем, у источника тепла, хотя в таких системах пополнение возможно и в других точках системы. Количество подпиточной воды в открытых системах значительно больше, чем в закрытых. Если в закрытых системах подпиточная вода покрывает только утечки воды из системы, то в открытых системах она должна компенсировать еще и предусмотренный отбор воды.

Преимущества открытых систем:

- отсутствие на абонентских вводах поверхностных теплообменников горячего водоснабжения и замена их более дешевыми смесительными устройствами;

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

Недостатки открытых систем:

- необходимость иметь у источника тепла более мощную, чем в закрытых системах, установку по обработке подпиточной воды во избежание появления коррозии и накипи в нагревательных установках и тепловых сетях;
- 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 появления в ней запаха, вследствие отложения в радиаторах осадка и развития в них особых бактерий;
- усложнение контроля за плотностью системы, поскольку в открытых системах количество подпиточной воды не характеризует величину утечки воды из системы как в закрытых системах.

Малая жесткость исходной водопроводной воды (1-1,5 мг экв/л) способствует применению открытых систем, исключая необходимость в дорогой и сложной противонакипной обработке воды. Целесообразно применять открытые системы и при очень жестких или агрессивных в отношении коррозии исходных водах, т.к. при таких водах в закрытых системах необходимо устраивать обработку воды на каждом абонентском вводе, что во много раз сложнее и дороже единой обработки подпиточной воды у источника тепла в открытых ситемах.

4. По количеству трубопроводов различают:

- однотрубные;
- двухтрубные;
- трехтрубные;
- четырехтрубные;
- комбинированные.

Однотрубные системы целесообразны только тогда, когда среднечасовой расход сетевой воды, подаваемый на нужды отопления и вентиляции, совпадает со среднечасовым расходом воды, потребляемой для горячего водоснабжения. Но для большинства районов нашей страны, кроме самых южных, расчетные расходы сетевой воды, подаваемые на нужды отопления и вентиляции, оказываются больше расхода воды, потребляемой для горячего водоснабжения. При таком дебалансе указанных расходов неиспользованную для горячего водоснабжения воду приходится отправлять в дренаж, что является очень неэкономичным.

Двухтрубные системы (открытые и закрытые) являются наиболее распространенными.

Трехтрубные системы находят применение в промышленных системах теплоснабжения с постоянным расходом воды, подаваемой на технологические нужды. Такие системы имеют две подающие трубы. По одной из них вода с неизменной температурой поступает к технологическим аппаратам и к теплообменникам горячего водоснабжения, по другой вода с переменной температурой идет на нужды отопления и вентиляции. Охлажденная вода от всех местных систем возвращается к источнику тепла по одному общему трубопроводу.

Четырехтрубные системы из-за большого расхода металла применяются лишь в мелких системах с целью упрощения абонентских вводов. В таких системах вода для местных систем горячего водоснабжения готовится непосредственно у источника тепла (в котельных) и по особой трубе подводится к потребителям, где непосредственно поступает в местные системы горячего водоснабжения. В этом случае у абонентов отсутствуют подогревательные установки горячего водоснабжения, и рециркуляционная вода систем горячего водоснабжения возвращается для подогрева к источнику тепла. Две другие трубы в такой системе предназначаются для местных систем отопления и вентиляции.

Комбинированные системы целесообразны при значительном удалении источника тепла от теплоснабжаемого района. Они представляют собой сочетание однотрубной системы двухтрубной системы. В такой системе входящий в состав ТЭЦ

пиковый водогрейный котел размещается непосредственно в теплоснабжаемом районе, образуя дополнительную водогрейную котельную. От ТЭЦ до котельной подается по одной трубе только такое количество высокотемпературной воды, которое необходимо для горячего водоснабжения. Внутри же теплоснабжаемого района устраивается обычная двухтрубная система. В котельной к воде от ТЭЦ добавляется подогретая в котле вода из обратного трубопровода двухтрубной системы, и общий поток воды с более низкой температурой, чем температура воды поступающей от ТЭЦ, направляется в тепловую сеть района. В дальнейшем часть этой воды используется в местных системах горячего водоснабжения, а остальная часть возвращается в котельную.

2. Системы горячего теплоснабжения.

Системы горячего водоснабжения предназначены для подачи потребителям горячей воды, температура которой должна быть не менее 50°C . При пользовании горячей водой потребитель имеет возможность снижать температуру воды до необходимой величины, смешивая горячую воду с холодной в смесителях, устанавливаемых в местах водоразбора. В систему горячего водоснабжения входят следующие основные элементы:

- устройство для нагрева воды (котел или теплообменник);
- подающая трубопроводная сеть, состоящая из разводящего трубопровода и водоразборных стояков;
- циркуляционная сеть, состоящая из циркуляционных стояков и сборного циркуляционного трубопровода;
- водоразборная, регулирующая и запорная арматура;
- циркуляционный или циркуляционно-повысительный насос.

Системы горячего водоснабжения могут быть открытыми и закрытыми. В открытых системах на водоразбор идет сетевая вода из тепловых сетей. В закрытых системах на нужды горячего водоснабжения используется водопроводная вода, подогретая до температуры $60-65^{\circ}\text{C}$ в теплообменнике. При выборе системы горячего водоснабжения следует руководствоваться рекомендациями литературы [1,2,4,6].

Системы горячего водоснабжения могут быть с верхней и с нижней разводкой разводящих магистралей, с баками-аккумуляторами и без них.

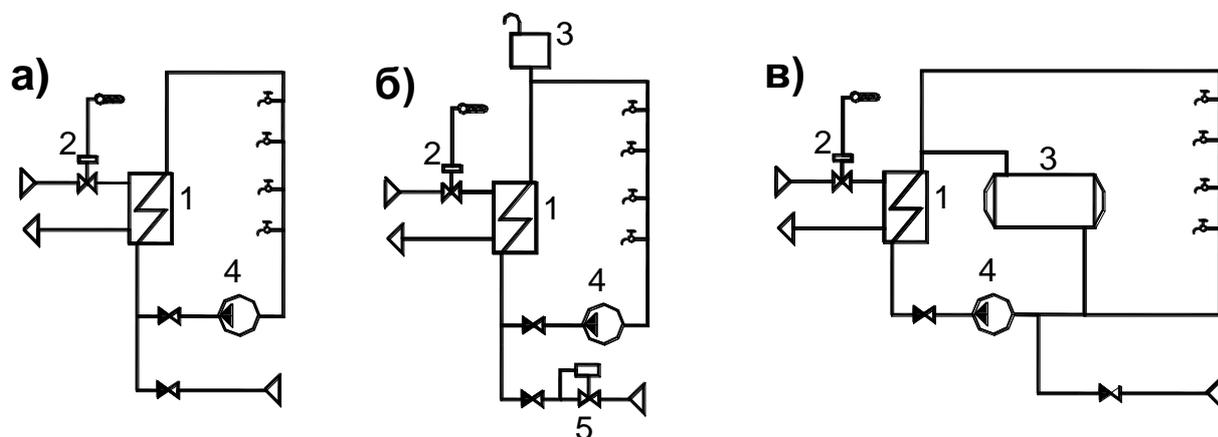


Рис. 1.1. Схемы систем ГВС: а) – закрытая циркуляционная без бака–аккумулятора горячей воды; б) – то же с верхним баком–аккумулятором; в) – то же с нижним баком–аккумулятором.

1 – водоподогреватель; 2 – регулятор температуры; 3 – бак–аккумулятор; 4 – циркуляционный насос; 5 – регулятор давления.

Прокладку разводящих трубопроводов при нижней разводке следует предусматривать в подпольях, подвалах, подпольных каналах; при верхней разводке – на чердаках, технических этажах или под потолком верхнего этажа.

Системы горячего водоснабжения жилых зданий следует принимать тупиковыми с циркуляцией воды в разводящих трубопроводах и стояках.

При наличии в здании технического подполья следует отдавать предпочтение системам с нижней разводкой. Прокладку стояков следует осуществлять скрыто в шахтах, бороздах, нишах санузлов. Допускается открытая прокладка стояков в кухнях, душевых, на лестничных клетках. В ваннных комнатах следует предусматривать установку постоянно обогреваемых полотенцесушителей, присоединяемых к водоразборным стоякам. Схемы различных вариантов присоединения полотенцесушителей к стоякам приведены на рис. 1.2, 1.3, 1.4.

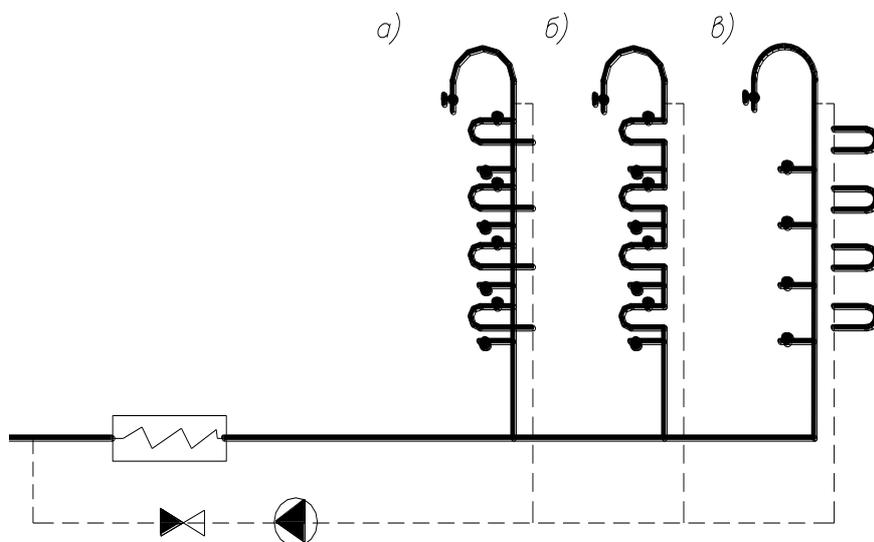


Рис. 1.2. Схемы водоразборных узлов с различным присоединением полотенцесушителей к стоякам:

а) - параллельное присоединение полотенцесушителей; б) - последовательное с установкой на подающем стояке; в) - последовательное с установкой на циркуляционном стояке.

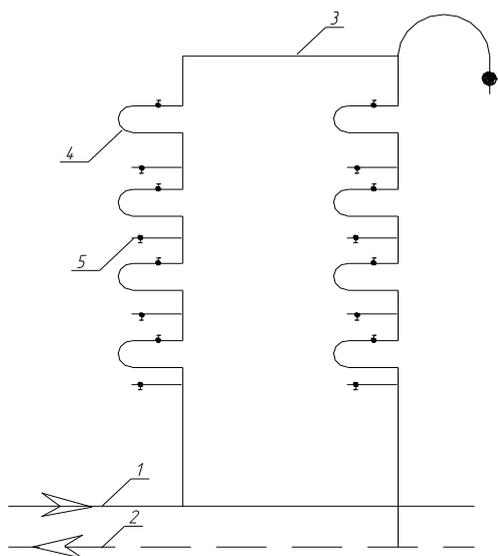


Рис 1.3 Водоразборный узел с парнозакольцованными стояками 1,2 – подающий и циркуляционный разводящий трубопроводы; 3-верхняя перемычка; 4-полотенцесушитель; 5-подводка в квартиру.

В жилых зданиях высотой свыше 4 этажей, следует объединять группы водоразборных стояков кольцующими перемычками в секционные узлы с

присоединением каждого секционного узла одним циркуляционным трубопроводом к сборному циркуляционному трубопроводу системы. Схемы секционных водоразборных узлов приведены на рис.1.4.

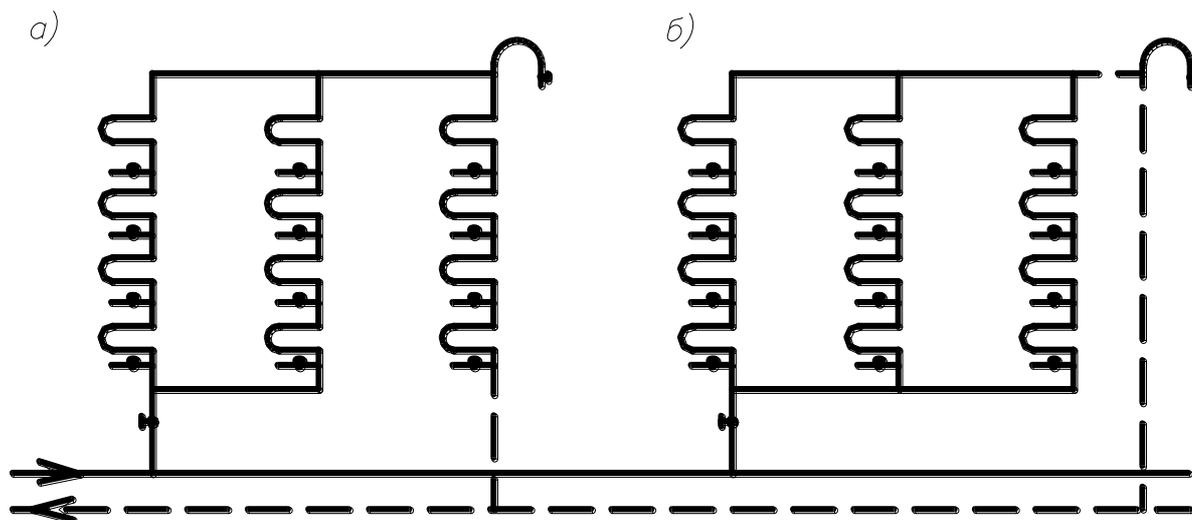


Рис 1.4. Схемы секционных водоразборных узлов: а) - с водоразборно-циркуляционным стояком; б) - с дополнительным циркуляционным стояком.

В секционные узлы следует объединять от трех до семи водоразборных стояков. Кольцующие переключки следует прокладывать по теплому чердаку, по холодному чердаку под слоем теплоизоляции, под потолком верхнего этажа при подаче воды в водоразборные стояки снизу или по подвалу при подаче воды в водоразборные стояки сверху.

Квартирную разводку трубопроводов от водоразборных стояков к водоразборным приборам следует вести на высоте 0,2 м от уровня пола. Смесители ванн устанавливаются на высоте 0,8 м, смесители моек на высоте 0,85 м, смесители умывальников на высоте 1,0 м от уровня пола. Присоединение водоразборных приборов к циркуляционным стоякам и циркуляционным трубопроводам не допускается. В верхних точках системы горячего водоснабжения следует предусматривать устройства для выпуска воздуха, в нижних точках – спускные устройства. Допускается использовать для указанных целей расположенные в таких точках водоразборные приборы. При проектировании трубопроводов систем горячего водоснабжения следует предусматривать возможность компенсации температурных деформаций.

Компенсация температурных деформаций трубопроводов наружных сетей может быть решена с помощью П-образных компенсаторов и естественной компенсации.

Уклон трубопроводов следует принимать не менее 0,002. Уклон разводящих трубопроводов обычно направлен в сторону ввода в здание наружной сети. Трубопроводы наружных сетей горячего водоснабжения должны быть теплоизолированы.

Запорной арматуры в системах горячего водоснабжения следует предусматривать:

- а) на ответвлениях трубопроводов к секционным узлам водоразборных стояков и к отдельным зданиям;
- б) на ответвлениях трубопроводов в каждую квартиру или помещение, в котором установлены водоразборные приборы;
- в) у оснований и на верхних концах закольцованных водоразборных и циркуляционных стояков;
- г) на всех подающих и циркуляционных трубопроводах на вводе и выводе из ЦТП;
- д) на всасывающем и на нагнетательном патрубках каждого насоса;
- е) на подводящих и отводящих трубопроводах каждого водоподо-гревателя.

Обратные клапаны в системах горячего водоснабжения предусматривают:

- а) на циркуляционном трубопроводе перед присоединением его к водоподогревателям;
- б) на нагнетательном патрубке каждого насоса до задвижки;
- в) на обводном трубопроводе у подкачивающих насосов;
- г) на трубопроводе холодной воды перед водоподогревателями системы горячего водоснабжения за расходомером по ходу воды.

В закрытых системах горячего водоснабжения должны предусматриваться следующие контрольно-измерительные приборы:

- а) манометры и термометры показывающие – на вводе в здание подающего и циркуляционного трубопроводов; на входе и выходе трубопроводов греющей и нагреваемой воды для каждой ступени водоподогревателей;
- б) манометры показывающие - перед всасывающими и после нагнетательных патрубков насосов.

Автоматизация ЦТП в закрытых системах горячего водоснабжения должна обеспечить:

а) заданную температуру воды в системе горячего водоснабжения путем установки регулятора температуры на трубопроводе греющей воды перед водоподогревателем;

б) заданное давление в системе горячего водоснабжения путем установки на подающем трубопроводе перед водоподогревателем регулятора давления “после себя”;

в) включение резервного насоса при отключении рабочего.

Для управления циркуляционными и повысительно-циркуляционными насосами, работающими периодически, может быть предусмотрена установка программных реле времени.

2.2 Определение расчетных расходов горячей воды.

Максимальный секундный расход воды на расчетном участке сети горячего водоснабжения, q^h , л/с, при гидравлическом расчете подающих трубопроводов определяется по формуле

$$q^h = 5 \cdot q_0^h \cdot \alpha, \quad (2.1)$$

где q_0^h - секундный расход воды, величина которого согласно [1] для жилых зданий квартирного типа с централизованным горячим водоснабжением при наличии ванн, умывальников и моек принимается равным 0,2 л/с;

α - коэффициент, определяемый согласно [1, прил.4] в зависимости от произведения общего количества приборов N на расчетном участке сети и вероятности их действия P . Вероятность действия санитарно-технических приборов в жилых зданиях P определяется по формуле

$$P = \frac{q_{hr,u}^h \cdot U}{q_0^h \cdot N \cdot 3600}, \quad (2.2)$$

где $q_{hr,u}^h$ - расход горячей воды одним потребителем, л/ч, в час наибольшего водопотребления, принимаемый согласно [1, прил.3];

U – количество потребителей (жителей) в здании;

N – количество водоразборных приборов.

Максимальный секундный расход горячей воды q^h на конечном участке сети (на подводке к водоразборному прибору) следует принимать для умывальника и мойки со смесителями не менее 0,14 л/с, для ванны со смесителем не менее 0,2 л/с.

Максимальный часовой расход горячей воды, $q_{0,hr}^h$, м³/ч, следует определять по формуле

$$q_{0,hr}^h = 0,005 \cdot q_{o,hr}^h \cdot \alpha_{hr}, \quad (2.3)$$

где $q_{o,hr}^h$ - часовой расход воды водоразборным прибором, л/ч, принимаемый по [1 прил.2]; для жилых зданий, оборудованных ваннами, умывальниками и мойками допускается принимать $q_{o,hr}^h = 200$ л/ч;

α_{hr} - коэффициент, определяемый согласно [1, прил.4] в зависимости от произведения общего числа приборов N, обслуживаемых проектируемой системой на вероятность их использования P_{hr} , которая определяется по формуле

$$P_{hr} = \frac{3600 \cdot P \cdot q_o^h}{q_{o,hr}^h}, \quad (2.4)$$

Максимальный часовой расход горячей воды, q_{hr}^h , используют в последующих расчетах при определении поверхности нагрева водоподогревателей закрытых систем горячего водоснабжения.

Средний часовой расход, q_T^h , м³/ч, за период (сутки) наибольшего водопотребления, T, час, определяется по формуле

$$q_T^h = \frac{q_u^h \cdot U}{1000 \cdot T}, \quad (2.5)$$

где q_u^h - норма расхода горячей воды в литрах, одним потребителем в сутки наибольшего водопотребления, принимаемая по данным [1,прил.3];

U – количество потребителей (жителей).

Средний часовой расход воды за сутки наибольшего водопотребления, q_T^h , используется для последующих расчетов по подбору счетчика воды, определению емкости бака-аккумулятора.

Средний часовой расход воды за средние сутки, $q_{T,m}^h$, м³/ч, определяется по формуле

$$q_{T,m}^h = \frac{q_{u,m}^h \cdot U}{1000 \cdot T}, \quad (2.6)$$

где $q_{u,m}^h$ - расход горячей воды в л/сут одним потребителем в средние сутки, принимаемый по данным [1, прил.3].

Средний часовой расход воды в средние сутки используется при выполнении технико-экономических и коммерческих расчетов.

Для жилых зданий, оборудованных умывальниками, мойками, душами или ваннами нормы расхода воды потребителями могут быть приняты по таблице 2.1 учебного пособия.

Таблица 2.1 Нормы расхода воды водопотребителями.

Водопотребители	Расходы воды				
	q_o^h , л/с	$q_{hr,u}^h$, л/ч	$q_{o,hr}^h$, л/ч	q_u^h , л/сут	$q_{u,m}^h$, л/сут
1) Жилые дома квартирного типа с централизованным горячим водоснабжением, оборудованные умывальниками, мойками и душами	0,14	7,9	60	100	85
Тоже с сидячими ваннами	0,2	9,2	200	110	90
Тоже с ваннами длиной 1500-1700 мм	0,2	10	200	120	105
2) Жилые дома квартирного типа высотой свыше 12 этажей и повышенными требованиями к их благоустройству.	0,2	10,9	200	130	115

Значения коэффициентов α и α_{hr} могут быть также приняты по приложению 4 учебного пособия.

Определение расчетных тепловых потоков на нужды горячего водоснабжения.

Среднечасовой тепловой поток за сутки наибольшего водопотребления, Q_T^h , кВт, определяется по формуле

$$Q_T^h = 1,16 \cdot q_T^h \cdot (55 - t^c) + Q^{ht} \quad (2.7)$$

Среднечасовой тепловой поток за средние сутки, $Q_{T,m}^h$, кВт, определяется по формуле

$$Q_{T,m}^h = 1,16 \cdot q_{T,m}^h \cdot (55 - t^c) + Q^{ht} \quad (2.8)$$

Максимальный тепловой поток в течение часа максимального теплового потребления, Q_{hr}^h , кВт, определяется по формуле

$$Q_{hr}^h = 1,16 \cdot q_{hr}^h \cdot (55 - t^c) + Q^{ht}, \quad (2.9)$$

где t^c - температура холодной воды, °С, в сети водопровода; при отсутствии данных ее следует принимать равной 5 °С;

Q^{ht} - теплопотери трубопроводами системы горячего водоснабжения, кВт.

При предварительных расчетах величина Q^{ht} может быть определена в долях K^t от среднечасового расхода Q_T^h по формуле

$$Q^{ht} = K^t \cdot Q_T^h, \quad (2.10)$$

Таблица 2.2 - Значения K^t в зависимости от типа системы горячего водоснабжения (ГВС) и степени изоляции стояков

Тип системы горячего водоснабжения	Значения K^t	
	При наличии наружных распределительных сетей ГВС от ЦТП	Без наружных распределительных сетей ГВС
Без полотенцесушителей с изолированными стояками	0,15	0,1
С полотенцесушителями и изолированными стояками	0,25	0,2
С полотенцесушителями и неизолированными стояками	0,35	0,3

Гидравлический расчет трубопроводов подающей сети системы ГВС.

После разработки внутридомовой схемы трубопроводов и трассировки наружной сети составляется расчетная схема системы ГВС, включающая аксонометрическую схему внутридомовой сети и однолинейную схему квартальных трубопроводов. Выбирается главная ветвь системы как наиболее протяженная и загруженная (от ввода холодного водопровода в ЦТП до дальнего водоразборного прибора, наиболее удаленного от ЦТП здания). На расчетной схеме нумеруются участки (начиная от водоразборного прибора и до ЦТП), проставляются длины участков с округлением до 0,1 м, максимальные секундные расходы воды в л/с.

Расчетный секундный расход горячей воды, $q^{h,cir}$ л/с, на участках подающей сети при гидравлическом расчете следует согласно [1] определять с учетом циркуляционного расхода по формуле

$$q^{h,cir} = q^h \cdot (1 + K_{cir}), \quad (2.11)$$

где q^h - секундный расход на участке, л/с, определяемый по формуле (2.1) учебного пособия;

K_{cir} - коэффициент, принимаемый для водоподогревателей и начальных участков системы до первого водоразборного стояка по [1 прил. 5] либо по прил. 14 учебного пособия; для остальных участков сети – равным нулю.

Поскольку величины циркуляционных расходов q^{cir} (определяемые впоследствии на основании тепловых потерь подающими трубопроводами) предварительно неизвестны, гидравлический расчет подающей сети следует выполнять по максимальным секундным расходам q^h , но с ограничением допускаемых скоростей в стояках, распределительных трубопроводах, наружных сетях до 1,0-1,2 м/с. Скорость воды в квартирных разводках может быть выше (диаметр разводки принимается равным 15 мм). После определения циркуляционных расходов и величины коэффициента K_{cir} необходимо выполнить повторный гидравлический расчет участков сети от ЦТП до первого водоразборного стояка, для которых K_{cir} не равен нулю и на которых следует учитывать согласно формуле (2.11) циркуляционные расходы. При выполнении повторного гидравлического расчета скорость движения воды в трубопроводах не должна превышать 3 м/с.

Потери напора на участках трубопроводов закрытых систем горячего водоснабжения следует определять с учетом зарастания труб по формуле

$$H = i \cdot l \cdot (1 + K_1), \quad (2.12)$$

где i – удельные потери напора, принимаемые согласно [1 прил.6] либо по прил. 6 методического пособия;

l – длина участка в метрах;

K_1 - коэффициент, учитывающий потери напора в местных сопротивлениях, значения которого следует принимать:

- 0,2 – для подающих и циркуляционных распределительных трубопроводов;
- 0,5 – для трубопроводов в пределах тепловых пунктов, а также трубопроводов водоразборных стояков с полотенцесушителями;

- 0,1 – для трубопроводов водоразборных стояков без полотенцесушителей и циркуляционных стояков.

3. Расходы тепла жилыми зданиями

1. Определение расхода тепла на отопление

$$Q_{от} = 1,1(Q_{н.о} + Q_в - Q_{вн}), Вт.$$

1,1 – коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла в местной системе отопления, т. е. 10% запас на неучтенные потери;

$Q_{н.о}$ - потери тепла через наружные ограждения, Вт.

$Q_в$ - расход тепла на вентиляцию (инфильтрацию), Вт.

$Q_{вн}$ - тепловые выделения внутри здания, Вт.

$$a) Q_{н.о} = F_{жс} \cdot K_2 \cdot q_{н.о} (t_{вн} - t_{н.о}^p), Вт$$

$F_{жс}$ - жилая площадь, м².

$$F_{жс} = N \cdot f_{жс}, м^2.$$

$f_{жс} = 12 - 18 \frac{м^3}{чел}$ - норма жилой площади, приходящаяся на одного человека. В расчетах принимать $18 \frac{м^3}{чел}$;

N - количество людей;

K_2 - объемный коэффициент здания (зависит от этажности, года строительства, материала из которого построено здание), $\frac{м^3}{м^2}$

$$K_2 = 6,2 \div 7,3 \frac{м^3}{м^2}$$

$q_{н.о}$ - удельная отопительная характеристика здания (потери теплоты через наружные ограждения здания, отнесенные к его наружному объему и расчетной разности температур).

$$q_{н.о} = \frac{Q_{н.о}}{V_n^{жс} \cdot (t_{вн} - t_{н.о}^p)} = 1,06 \cdot \left\{ \frac{P}{S} \cdot [K_{ст} + d \cdot (K_{ок} - K_{ст})] + \frac{1}{H} \cdot (K_ч \cdot \varphi_ч + K_{пол} \cdot \varphi_{пол}) \right\}, \frac{Вт}{м^3 \cdot ^\circ C};$$

- $V_n^{жс}$ - объем здания по наружному обмеру, м³

$$V_n^{жс} = a \cdot b \cdot H м^3$$

P - периметр пола здания, м²;

S - площадь пола здания, м²;

$K_{ст}$ - коэффициент теплопередачи наружных стен, $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$;

$$K_{ст} = \frac{1}{R_{ст}}, \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C};$$

$R_{ст}$ - термическое сопротивление теплопередаче стен, $\frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$;

d - степень остекления (для жилых зданий $d = 0,11 - 0,33$)

$\varphi_ч, \varphi_{пол}$ - поправочные коэффициенты на расчетный перепад температур для верхнего и нижнего горизонтальных ограждений $\varphi_ч = 0,75 - 0,9$; $\varphi_{пол} = 0,5 - 0,7$;

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций следует принимать не менее требуемых значений $R_0^{мп}$, определяемых исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий, и условий энергосбережения.

- Определение $q_{н.о}$ из условий энергосбережения.

В соответствии с СНиП II-3-79* находим количество градусосуток отопительного периода (ГСОП):

$$ГСОП = (t_6 - t_{н.о}^{cp.}) \cdot Z_{от.пер.}; \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$$

t_6 - температура воздуха в помещении $t_6 = 18^\circ\text{C}$;

$t_{н.о}^{cp.}$ - средняя температура отопительного периода, *сут.*

По таблице 16 СНиП II-3-79* находим исходя из значения ГСОП:

б) расход тепла на вентиляцию (инфильтрацию)

$$Q_6 = F_{жс} \cdot q_6^{жс} \cdot (t_6 - t_{н.о}^p)$$

- $q_6^{жс} = l_{yd} \cdot C$ - удельная вентиляционная характеристика здания;

l_{yd} - удельный объем воздуха, т.е. кол-во воздуха, поступающего на 1 м^2 жилой площади в 1ч ($3 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{ч}$)

C - удельная объемная теплоемкость воздуха = $0,35 \text{ Вт} / \text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

$$q_6^{жс} = 1 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

в) Внутренние тепловыделения (от людей, осветительных приборов, электрических, бытовых приборов, газовых плит).

$$Q_{вн} = F_{жс} \cdot q'_{вн}, \text{ Вт}$$

- $q'_{вн} = q_{вн} \left(1 + \frac{F_{кух}}{F_{жс}} \right)$ - суммарные удельные тепловыделения, $\text{Вт} / \text{м}^2$.

$q_{вн} = 21 \text{ Вт} / \text{м}^2$ - количество бытового тепла на 1 м^2 площади помещений.

$$\frac{F_{кух}}{F_{жс}} \sim 0,25$$

$$q'_{вн} = 21 \cdot (1 + 0,25) = 26 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

2. определение расхода тепла на ГВ зимой

$$Q_{гв}^3 = \frac{N \cdot q_{сут}^{cp} \cdot C \cdot (t_2 - t_x) \cdot (1 + \beta_2)}{24}, \text{ Вт}$$

N - количество потребителей

$q_{сут}^{cp}$ - расход горячей воды одним жителем в сутки отопительного сезона, $\text{Вт} / \text{чел}$.

$$q_{сут}^{cp} = 105 \text{ л} / \text{сут.} \cdot \text{чел}$$

C - удельная теплоемкость воды = $1,16 \text{ Вт} / \text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$

t_2 - средняя температура воды в водоразборных стояках системы горячего водоснабжения

$$t_2 = 55^\circ\text{C}$$

t_x - температура холодной воды в водопроводе $t_x = 5^\circ\text{C}$

β_2 - коэффициент, зависящий от протяженности и мощности системы ГВ, при изолированных водоразборных стояках $\beta_2 = 0,05 \div 0,2$; а при неизолированных $\beta_2 = 0,1 \div 0,3$.

3. Определение расхода тепла на ГВ летом

$$Q_{зв}^л = Q_{зв}^3 \frac{t_2 - t_{x.л.}}{t_2 - t_{x.з}} \cdot \beta_l, \text{Вт}$$

$t_{x.з}$ и $t_{x.л.}$ - зимняя (5°C) и летняя (15°C) температура воды в водопроводе.

β_l - коэффициент, учитывающий снижение летнего расхода тепла на ГВ по отношению к зимнему расходу; при отсутствии более конкретных данных $\beta_l = 0,8$, за исключением курортных и южных городов, для которых $\beta_l = 1,2$.

Расходы тепла общественными зданиями

4. Определение расхода тепла на отопление

$$Q_{от}^{общ} = 1,1 \cdot V_n^{общ} \cdot q_{от}^{общ} (t_{вн} - t_{н.о}^p) \cdot (1 + \mu) \cdot \beta_t, \text{Вт}$$

1,1 – коэффициент учитывающий дополнительные потери тепла в системе отопления;

$V_n^{общ}$ - объем здания по наружному обмеру, м^3 .

$$V_n^{общ} = F_{жс} \cdot K_2 \cdot 0,25 \text{ м}^3.$$

$q_{от}^{общ}$ - удельный расход тепла на отопление общественных зданий, $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

$$q_{от}^{общ} = 0,4 \div 0,5 \text{ Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

μ - коэффициент, учитывающий расход теплоты на подогрев инфильтрационного воздуха, который при отсутствии приточной вентиляции $= 0,1-0,2$; в зданиях с приточной вентиляцией $\mu = 0$.

β_t - температурный коэффициент, учитывающий изменения требуемого термического сопротивления наружных стен в зависимости от $t_{н.о}$.

2. Расход тепла на вентиляцию

$$Q_{в}^{общ} = V_n^{общ} \cdot q_{в}^{общ} (t_{вн} - t_{н.о}^p), \text{Вт}$$

$q_{в}^{общ}$ - удельная вентиляционная характеристика общественных зданий $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

$$q_{в}^{общ} = 0,25 \div 0,35 \text{ Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

3. Расход тепла на горячее водоснабжение

$$Q_{ГВ}^{общ} = \frac{q_{сут.сп}^{общ} \cdot N \cdot C (t_2 - t_x) (1 + \beta_t)}{24}, \text{Вт}/\text{чел}$$

$q_{сут.сп}^{общ} = 25 \text{ л}/\text{сут.} \cdot \text{чел}$ - норма расхода горячей воды для общественных зданий.

Годовой расход тепла жилыми и общественными зданиями

1. Годовой расход тепла на систему отопления.

$$Q_{от}^{год} = (Q_{от}^{эж} + Q_{от}^{общ}) \frac{t_{вн} - t_{н.о}^{cp}}{t_{вн} - t_{н.о}^p} \cdot Z_{от.пер}, \text{Вт}/\text{годчел}$$

2. Годовой расход тепла на систему вентиляции.

$$Q_{в}^{год} = \frac{Z}{24} \cdot Q_{в}^{общ} \frac{t_{вн} - t_{н.о}^{cp}}{t_{вн} - t_{н.о}^p} \cdot Z_{от.в}, \text{Вт}/\text{годчел}$$

Z- число часов работы системы вентиляции $Z = 16 \text{ час}/\text{сут.}$

3. Годовой расход тепла на систему горячего водоснабжения.

$$Q_{ГВ}^{zod} = Q_{ГВ}^z \cdot Z_{om} + Q_{ГВ}^l \cdot (8400 - Z_{om})$$

Вт/год.чел

Суммарный годовой расход тепла жилыми и общественными зданиями.

$$Q_{zod}^{\Sigma} = Q_{om}^{zod} + Q_{с}^{zod} + Q_{ГВ}^{zod}, \text{ } \textit{Вт/год.чел}$$

График зависимости часовых расходов тепла жилым зданием от наружной температуры.

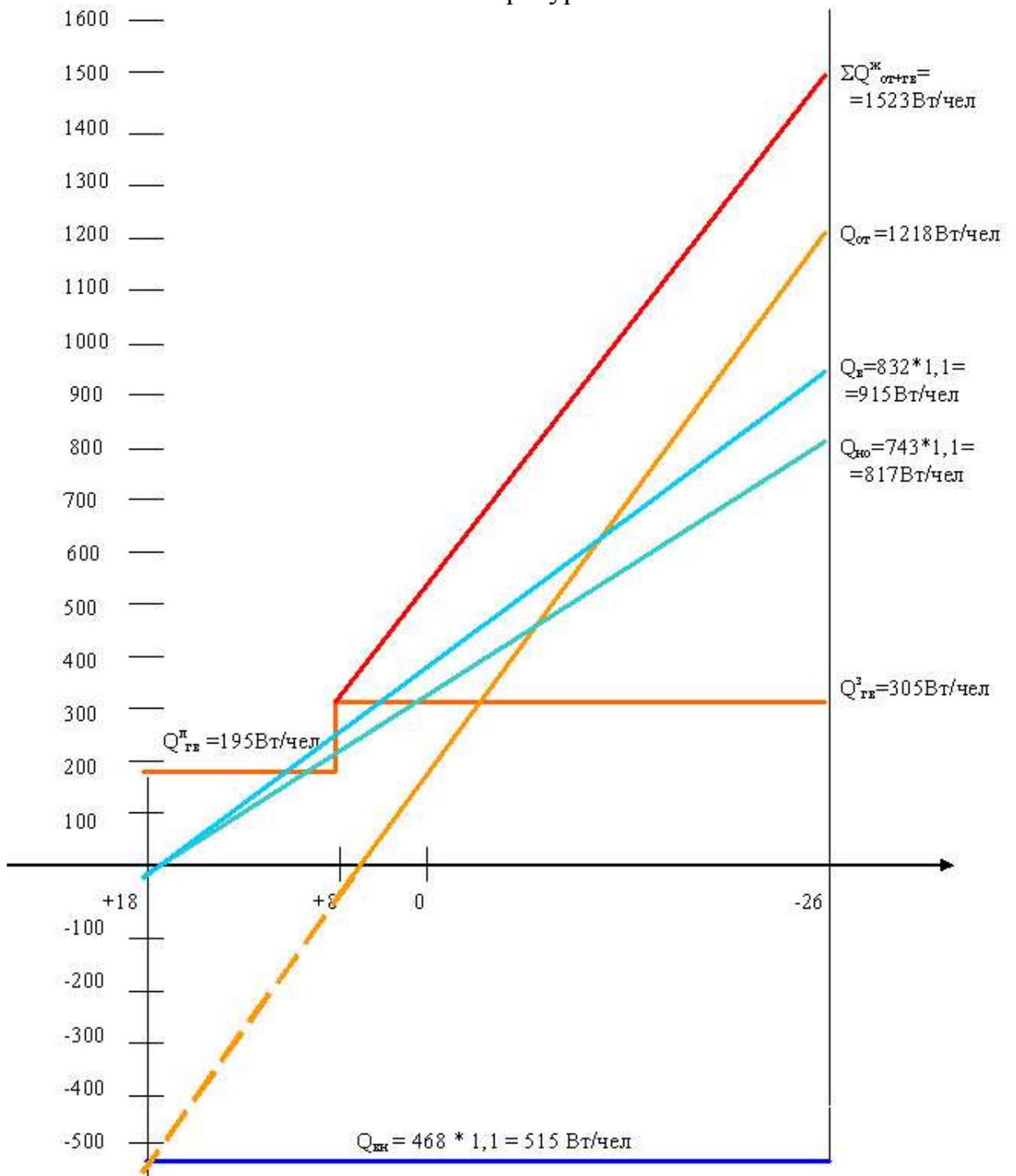
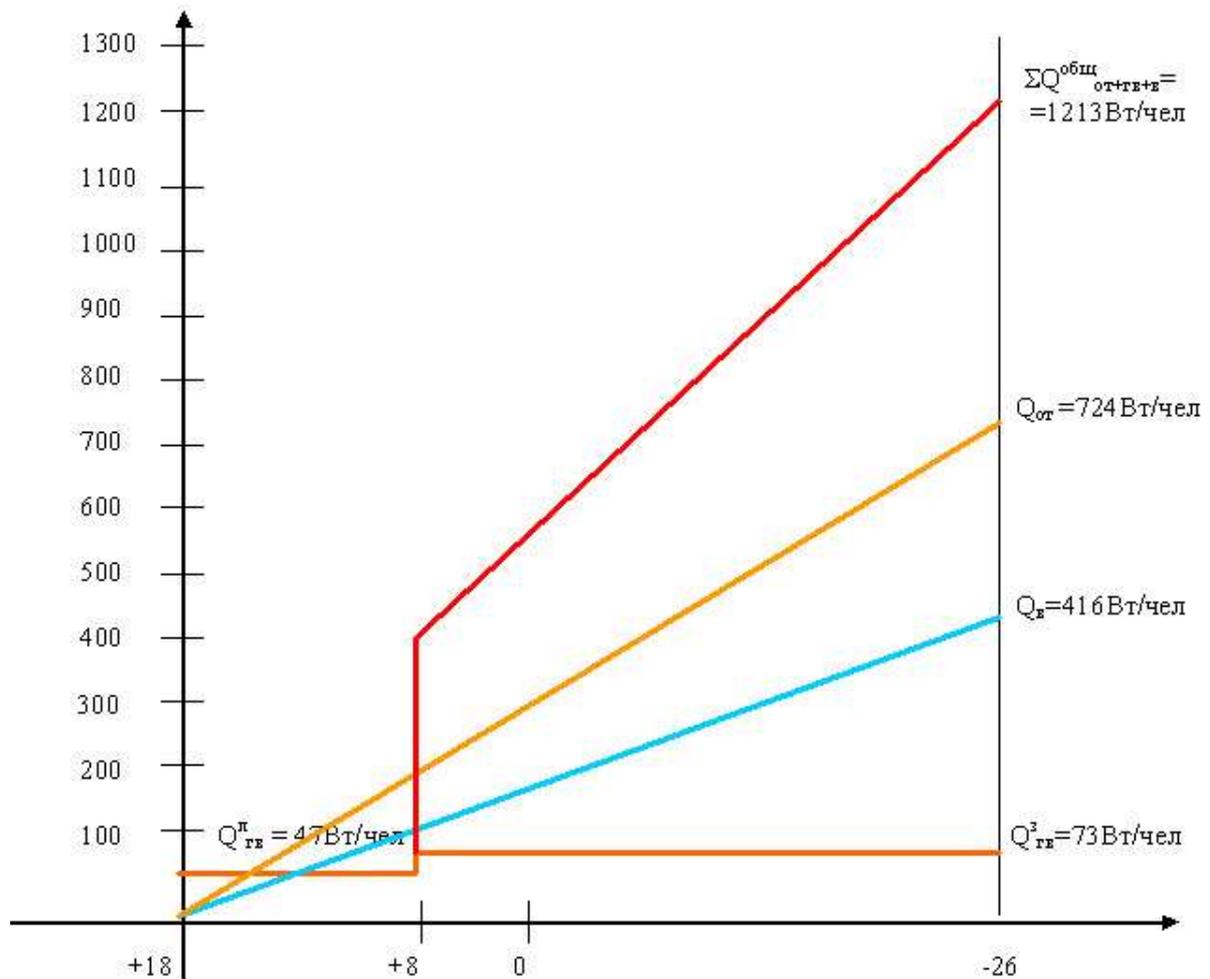


График зависимости часовых расходов тепла общественным зданием от наружной температуры.



4. Схемы и оборудование тепловых пунктов Проектирование тепловых пунктов

4.1 Разновидности схем тепловых пунктов закрытых систем теплоснабжения.

При проектировании тепловых пунктов (ИТП, ЦТП) жилых зданий современной индустриальной застройки необходимо обеспечить тепловые нагрузки проектируемых внутренних систем отопления и горячего водоснабжения.

Тепловые пункты можно классифицировать по следующим признакам:

1. По размещению:

- Отдельностоящие тепловые пункты;
- Пристроенные тепловые пункты;
- Встроенные тепловые пункты.

2. По количеству обслуживаемых потребителей:

- Индивидуальные тепловые пункты;
- Центральные тепловые пункты.

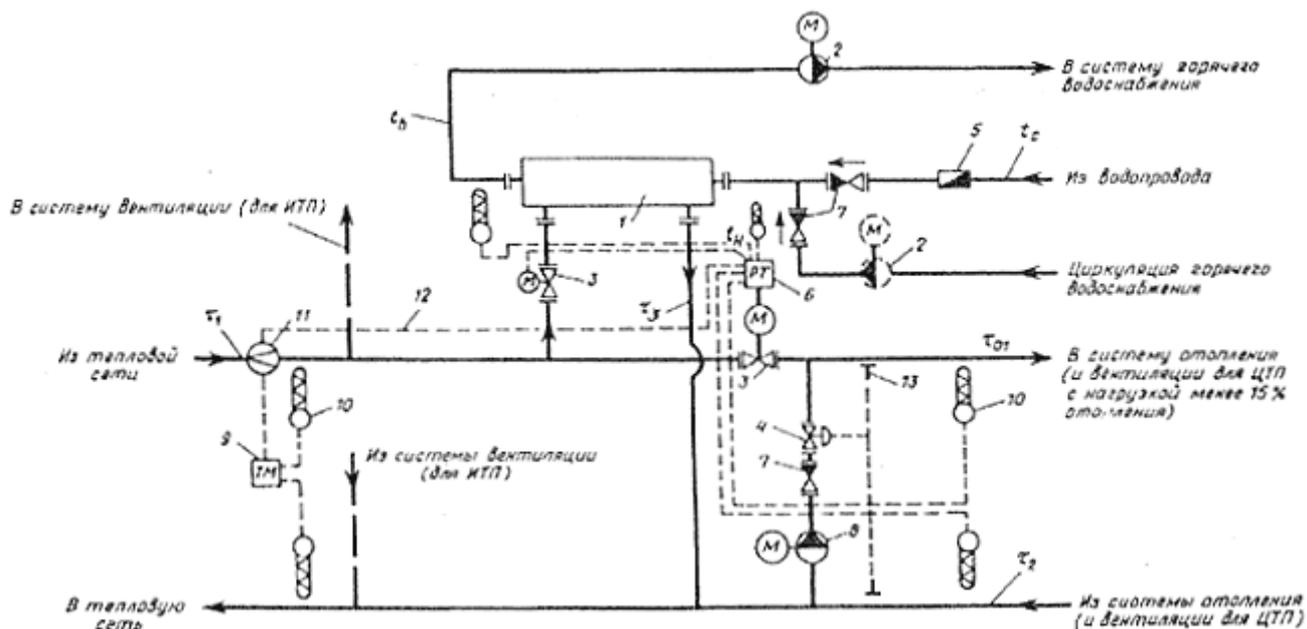
Проектирование тепловых пунктов определяется местными условиями в тепловых сетях. Перед началом проектирования теплового пункта необходимо получить технические условия на подключение у местной снабжающей организации. В технических условиях (ТУ) указывается режим работы тепловых сетей и требования, которые необходимо выполнить для присоединения. Чтобы получить ТУ, необходимо написать письмо с запросом на выделение мощности и подтвердить расчетом заявленную мощность.

Гидравлические режимы в тепловых сетях неодинаковы в различных точках, так же неоднозначны и местные условия присоединяемых потребителей. Все эти условия увязываются между собой в проектировании тепловых пунктов.

В основном **проектирование тепловых пунктов производится по следующим стандартным общеизвестным схемам** (п. 3 СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов»):

1. Одноступенчатая система присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения с автоматическим регулированием расхода теплоты на отопление и зависимым присоединением систем отопления при проектировании центральных и индивидуальных тепловых пунктов. (схема 1)

Схема 1



Одноступенчатая система присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения с автоматическим регулированием расхода теплоты на отопление и зависимым присоединением систем отопления при проектировании центральных и индивидуальных тепловых пунктов.

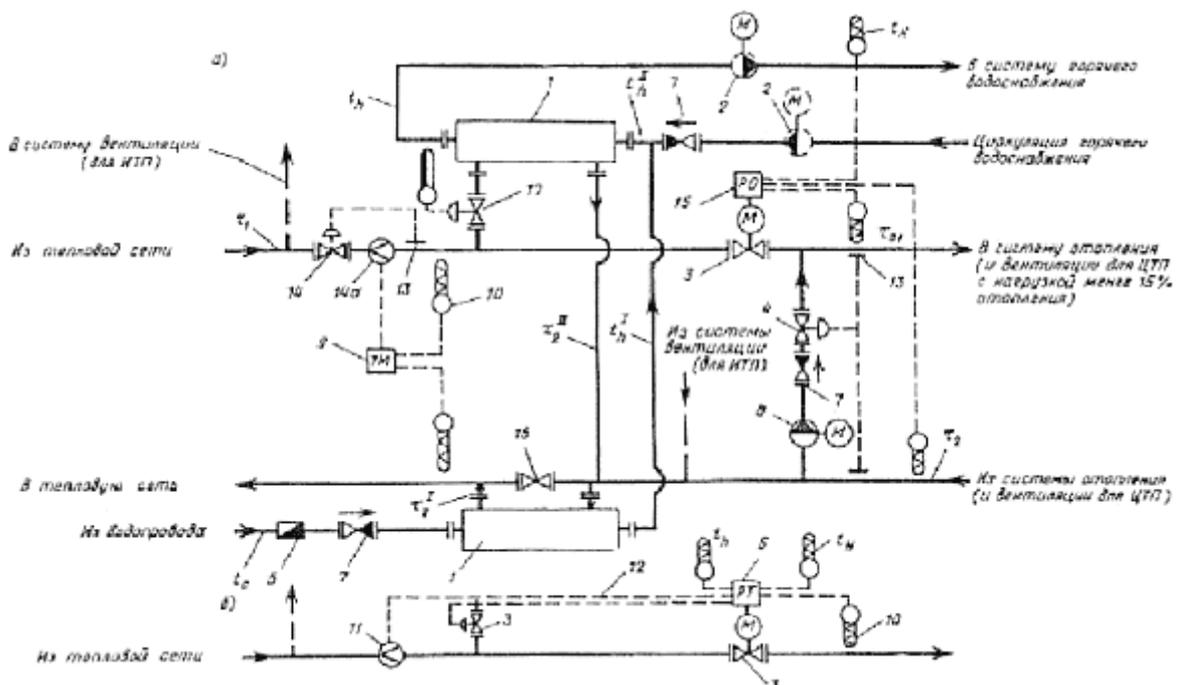
1 - водоподогреватель горячего водоснабжения;

2 - повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения (пунктиром - циркуляционный насос);

- 3 - регулирующий клапан с электроприводом;
- 4 - регулятор перепада давлений (прямого действия);
- 5 - водомер для холодной воды;
- 6 - регулятор подачи теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения максимального расхода сетевой воды на ввод;
- 7 - обратный клапан;
- 8 - корректирующий подмешивающий насос;
- 9 - теплосчетчик;
- 10 - датчик температуры;
- 11 - датчик расхода воды;
- 12 - сигнал ограничений максимального расхода воды из тепловой сети на ввод;
- 13 - датчик давления воды в трубопроводе

2. Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения для жилых и общественных зданий и жилых микрорайонов с зависимым присоединением систем отопления при проектировании центральных и индивидуальных тепловых пунктов. (схема2)

Схема 2



Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения для жилых и общественных зданий и жилых микрорайонов с зависимым присоединением систем отопления при проектировании центральных и индивидуальных тепловых пунктов.

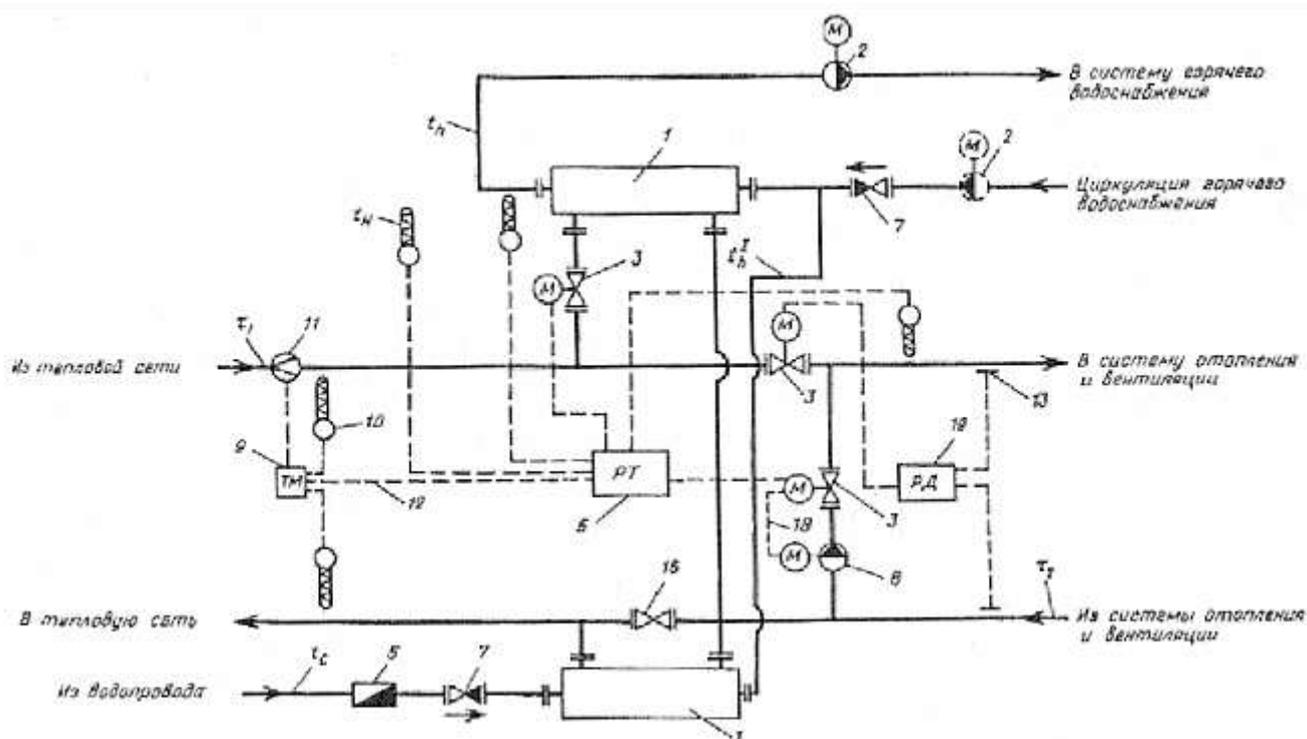
- а - схема с самостоятельным регулятором ограничения расхода сетевой воды на ввод;
- б - фрагмент схемы с совмещением функций регулирования расхода теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения расхода сетевой воды в одном

регуляторе

- 1 - водоподогреватель горячего водоснабжения;
- 2 - повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения (пунктиром - циркуляционный насос);
- 3 - регулирующий клапан с электроприводом;
- 4 - регулятор перепада давлений (прямого действия);
- 5 - водомер для холодной воды;
- 6 - регулятор подачи теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения максимального расхода сетевой воды на ввод;
- 7 - обратный клапан;
- 8 - корректирующий подмешивающий насос;
- 9 - теплосчетчик;
- 10 - датчик температуры;
- 11 - датчик расхода воды;
- 12 - сигнал ограничений максимального расхода воды из тепловой сети на ввод;
- 13 - датчик давления воды в трубопроводе
- 14 - регулятор ограничений максимального расхода воды на ввод (прямого действия);
- 14а - датчик расхода воды в виде сужающего устройства (камерная диафрагма);
- 15 - регулятор подачи теплоты на отопление;
- 16 - задвижка, нормально закрытая;
- 17 - регулятор подачи теплоты на горячее водоснабжение (прямого действия)

3. Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения для промышленных зданий и промплощадок с зависимым присоединением систем отопления при проектировании центральных тепловых пунктов(схема3)

Схема 3

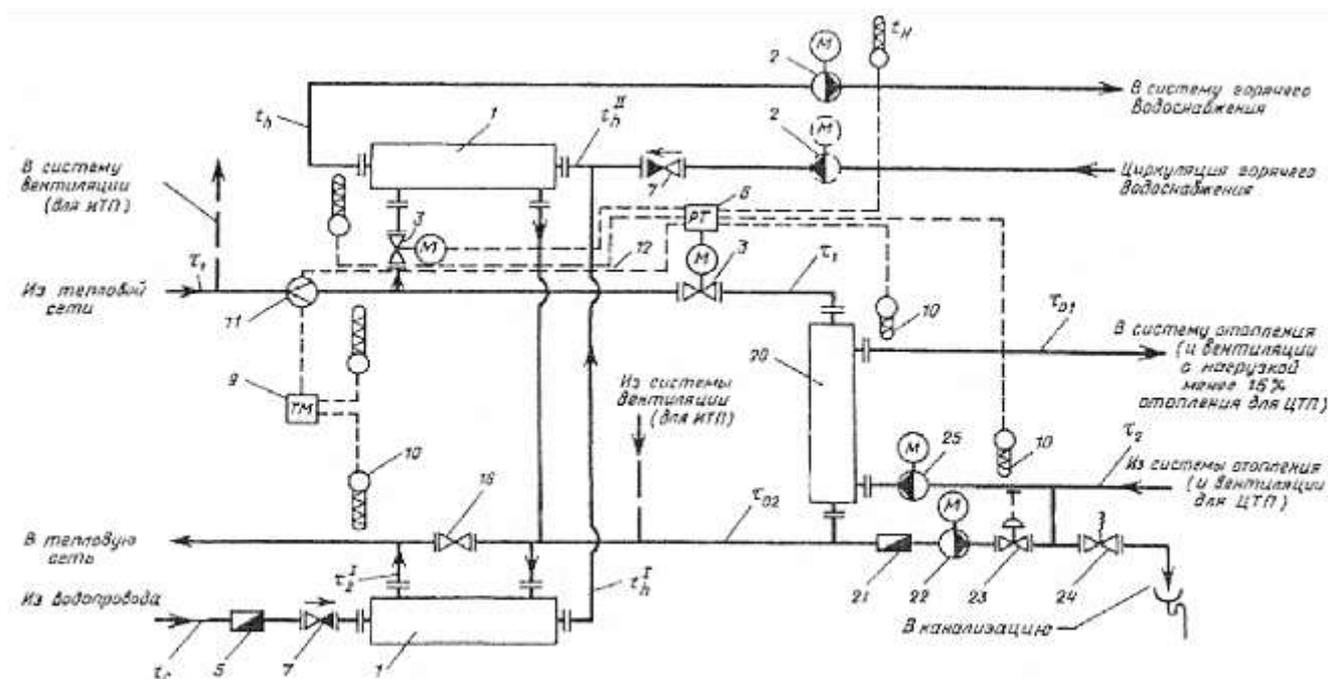


Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения для промышленных зданий и промплощадок с зависимым присоединением систем отопления при проектировании центральных тепловых пунктов

- 1 - водоподогреватель горячего водоснабжения;*
- 2 - повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения (пунктиром - циркуляционный насос);*
- 3 - регулирующий клапан с электроприводом;*
- 4 - регулятор перепада давлений (прямого действия);*
- 5 - водомер для холодной воды;*
- 6 - регулятор подачи теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения максимального расхода сетевой воды на ввод;*
- 7 - обратный клапан;*
- 8 - корректирующий подмешивающий насос;*
- 9 - теплосчетчик;*
- 10 - датчик температуры;*
- 11 - датчик расхода воды;*
- 12 - сигнал ограничений максимального расхода воды из тепловой сети на ввод;*
- 13 - датчик давления воды в трубопроводе*
- 14 - регулятор ограничений максимального расхода воды на ввод (прямого действия);*
- 14а - датчик расхода воды в виде сужающего устройства (камерная диафрагма);*
- 15 - регулятор подачи теплоты на отопление;*
- 16 - задвижка, нормально закрытая;*
- 17 - регулятор подачи теплоты на горячее водоснабжение (прямого действия)*
- 18 - сигнал включения насоса при закрытии клапана К-2;*
- 19 - регулятор перепада давлений (электронный)*

4. Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения для жилых и общественных зданий и жилых микрорайонов с независимым присоединением систем отопления при проектировании центральных и индивидуальных тепловых пунктов(схема4)

Схема 4



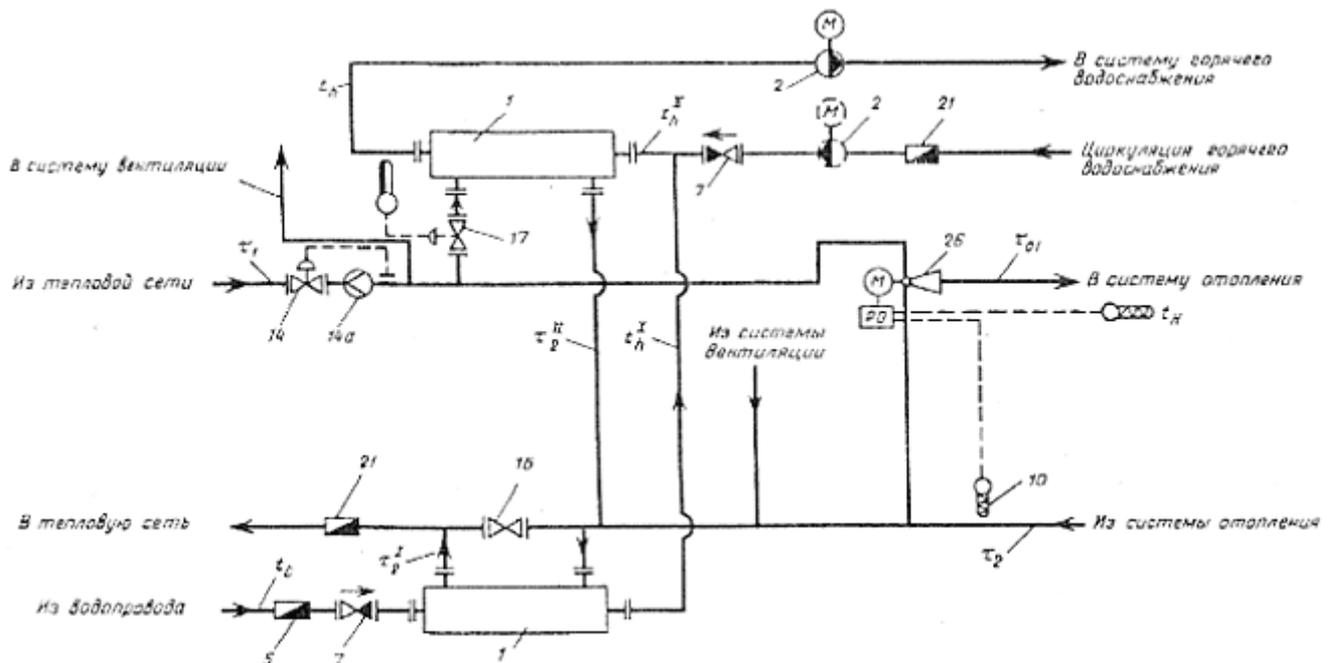
Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения для жилых и общественных зданий и жилых микрорайонов с независимым присоединением систем отопления при проектировании центральных и индивидуальных тепловых пунктов

- 1 - водоподогреватель горячего водоснабжения;
- 2 - повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения (пунктиром - циркуляционный насос);
- 3 - регулирующий клапан с электроприводом;
- 4 - регулятор перепада давлений (прямого действия);
- 5 - водомер для холодной воды;
- 6 - регулятор подачи теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения максимального расхода сетевой воды на ввод;
- 7 - обратный клапан;
- 8 - корректирующий подмешивающий насос;
- 9 - теплосчетчик;
- 10 - датчик температуры;
- 11 - датчик расхода воды;
- 12 - сигнал ограничений максимального расхода воды из тепловой сети на ввод;
- 13 - датчик давления воды в трубопроводе;
- 14 - регулятор ограничений максимального расхода воды на ввод (прямого действия);
- 14а - датчик расхода воды в виде сужающего устройства (камерная диафрагма);
- 15 - регулятор подачи теплоты на отопление;
- 16 - задвижка, нормально закрытая;
- 17 - регулятор подачи теплоты на горячее водоснабжение (прямого действия);
- 18 - сигнал включения насоса при закрытии клапана К-2;
- 19 - регулятор перепада давлений (электронный);
- 20 - водоподогреватель отопления;
- 21 - водомер горячеводный;
- 22 - подпиточный насос отопления;

- 23 - регулятор подпитки;
- 24 - предохранительный клапан;
- 25 - циркуляционный насос отопления

5. Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения при проектировании индивидуальных тепловых пунктов с водоструйным элеватором и автоматическим регулированием расхода теплоты на отопление (пример учета теплоты по водомерам). (Схема 5)

Схема 5



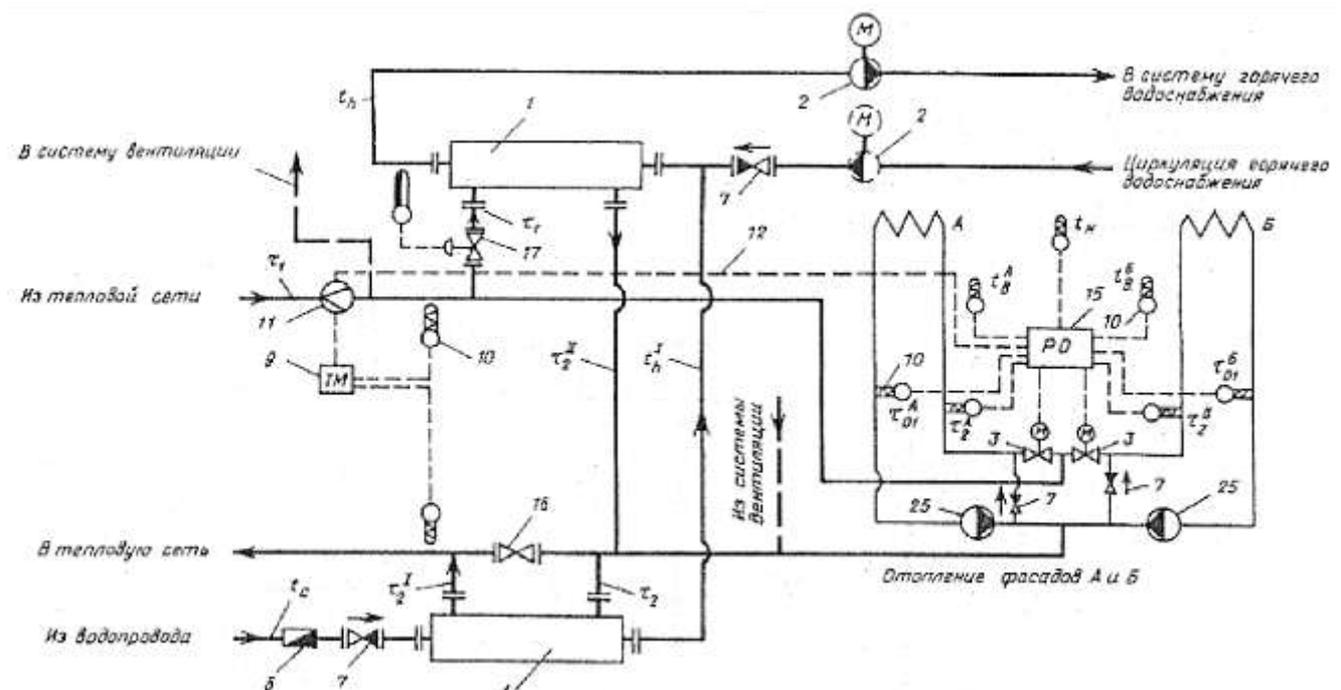
Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения при проектировании индивидуальных тепловых пунктов с водоструйным элеватором и автоматическим регулированием расхода теплоты на отопление (пример учета теплоты по водомерам)

- 1 - водоподогреватель горячего водоснабжения;
- 2 - повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения (пунктиром - циркуляционный насос);
- 3 - регулирующий клапан с электроприводом;
- 4 - регулятор перепада давлений (прямого действия);
- 5 - водомер для холодной воды;
- 6 - регулятор подачи теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения максимального расхода сетевой воды на ввод;
- 7 - обратный клапан;
- 8 - корректирующий подмешивающий насос;
- 9 - теплосчетчик;
- 10 - датчик температуры;
- 11 - датчик расхода воды;
- 12 - сигнал ограничений максимального расхода воды из тепловой сети на ввод;
- 13 - датчик давления воды в трубопроводе;

- 14 - регулятор ограничений максимального расхода воды на ввод (прямого действия);
- 14а - датчик расхода воды в виде сужающего устройства (камерная диафрагма);
- 15 - регулятор подачи теплоты на отопление;
- 16 - задвижка, нормально закрытая;
- 17 - регулятор подачи теплоты на горячее водоснабжение (прямого действия);
- 18 - сигнал включения насоса при закрытии клапана К-2;
- 19 - регулятор перепада давлений (электронный);
- 20 - водоподогреватель отопления;
- 21 - водомер горячеводный;
- 22 - подпиточный насос отопления;
- 23 - регулятор подпитки;
- 24 - предохранительный клапан;
- 25 - циркуляционный насос отопления
- 26 - водоструйный элеватор

6. Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения при проектировании индивидуальных тепловых пунктов с зависимым присоединением систем отопления и пофасадным автоматическим регулированием расхода теплоты на отопление. (схемаб)

Схема б



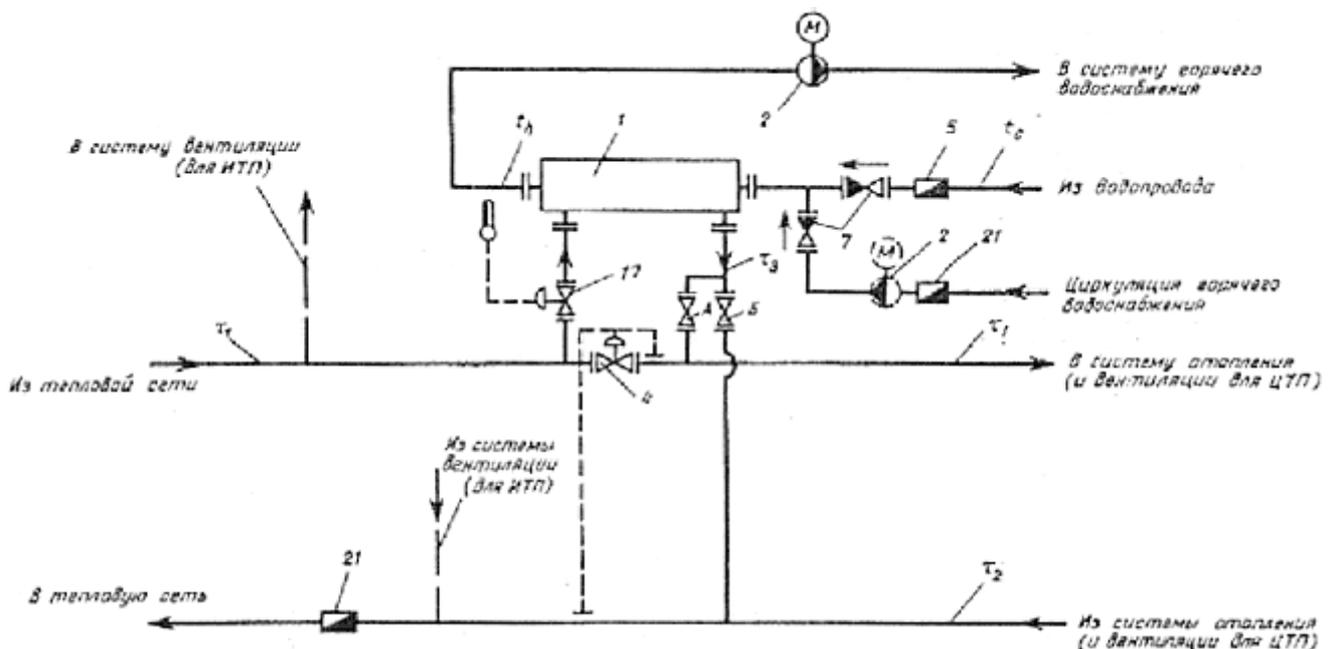
Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения при проектировании индивидуальных тепловых пунктов с зависимым присоединением систем отопления и пофасадным автоматическим регулированием расхода теплоты на отопление

- 1 - водоподогреватель горячего водоснабжения;
- 2 - повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения (пунктиром - циркуляционный насос);

- 3 - регулирующий клапан с электроприводом;
- 4 - регулятор перепада давлений (прямого действия);
- 5 - водомер для холодной воды;
- 6 - регулятор подачи теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения максимального расхода сетевой воды на ввод;
- 7 - обратный клапан;
- 8 - корректирующий подмешивающий насос;
- 9 - теплосчетчик;
- 10 - датчик температуры;
- 11 - датчик расхода воды;
- 12 - сигнал ограничений максимального расхода воды из тепловой сети на ввод;
- 13 - датчик давления воды в трубопроводе;
- 14 - регулятор ограничений максимального расхода воды на ввод (прямого действия);
- 14а - датчик расхода воды в виде сужающего устройства (камерная диафрагма);
- 15 - регулятор подачи теплоты на отопление;
- 16 - задвижка, нормально закрытая;
- 17 - регулятор подачи теплоты на горячее водоснабжение (прямого действия);
- 18 - сигнал включения насоса при закрытии клапана К-2;
- 19 - регулятор перепада давлений (электронный);
- 20 - водоподогреватель отопления;
- 21 - водомер горячеводный;
- 22 - подпиточный насос отопления;
- 23 - регулятор подпитки;
- 24 - предохранительный клапан;
- 25 - циркуляционный насос отопления

7. Одноступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения с зависимым присоединением систем отопления при отсутствии регуляторов расхода теплоты на отопление при проектировании центральных и индивидуальных тепловых пунктов.(схема7)

Схема 7

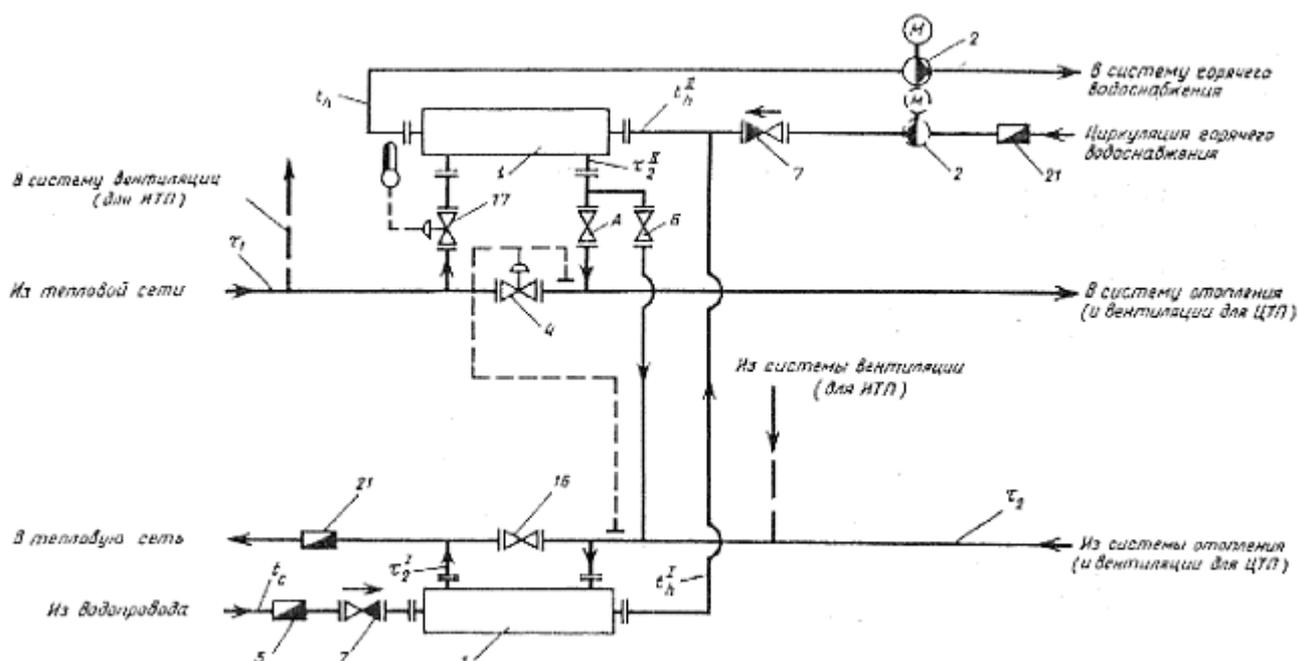


Одноступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения с зависимым присоединением систем отопления при отсутствии регуляторов расхода теплоты на отопление при проектировании центральных и индивидуальных тепловых пунктов

- 1 - водоподогреватель горячего водоснабжения;*
- 2 - повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения (пунктиром - циркуляционный насос);*
- 3 - регулирующий клапан с электроприводом;*
- 4 - регулятор перепада давлений (прямого действия);*
- 5 - водомер для холодной воды;*
- 6 - регулятор подачи теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения максимального расхода сетевой воды на ввод;*
- 7 - обратный клапан;*
- 8 - корректирующий подмешивающий насос;*
- 9 - теплосчетчик;*
- 10 - датчик температуры;*
- 11 - датчик расхода воды;*
- 12 - сигнал ограничений максимального расхода воды из тепловой сети на ввод;*
- 13 - датчик давления воды в трубопроводе;*
- 14 - регулятор ограничений максимального расхода воды на ввод (прямого действия);*
- 14а - датчик расхода воды в виде сужающего устройства (камерная диафрагма);*
- 15 - регулятор подачи теплоты на отопление;*
- 16 - задвижка, нормально закрытая;*
- 17 - регулятор подачи теплоты на горячее водоснабжение (прямого действия);*
- 18 - сигнал включения насоса при закрытии клапана К-2;*
- 19 - регулятор перепада давлений (электронный);*
- 20 - водоподогреватель отопления;*
- 21 - водомер горячеводный*

8. Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения с зависимым присоединением систем отопления при отсутствии регуляторов расхода теплоты на отопление при проектировании центральных и индивидуальных тепловых пунктов. (Схема8)

Схема 8

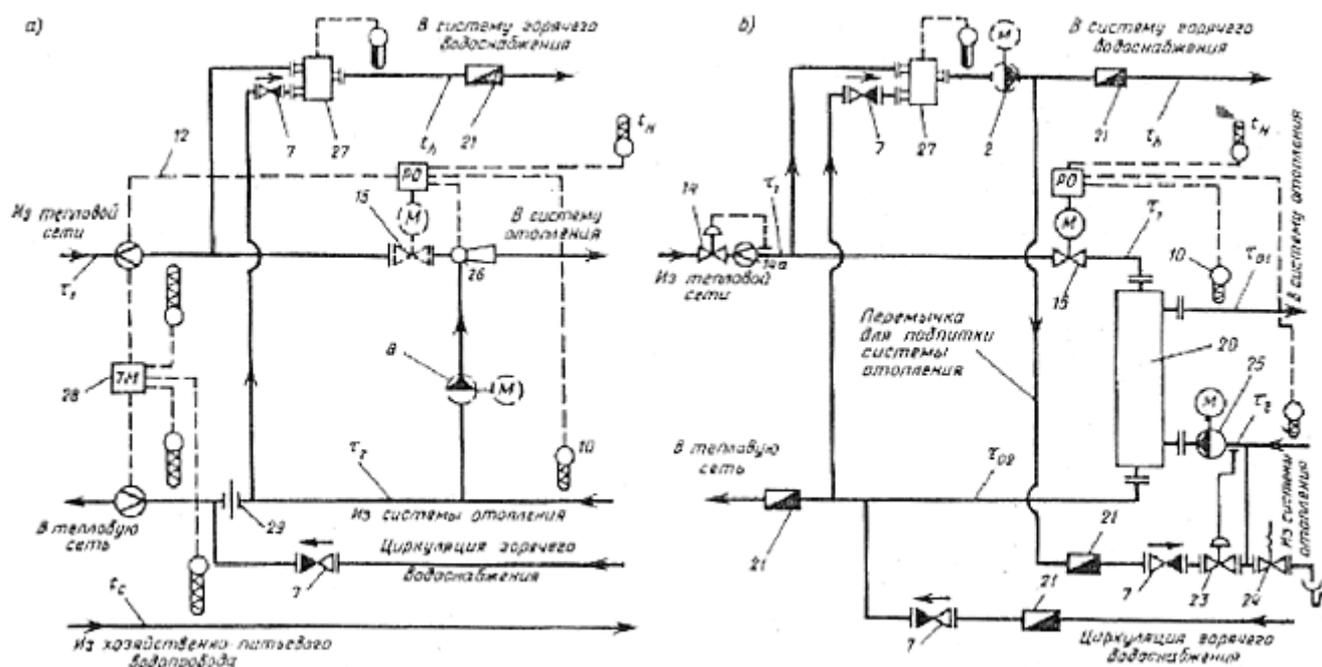


Двухступенчатая схема присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения с зависимым присоединением систем отопления при отсутствии регуляторов расхода теплоты на отопление при проектировании центральных и индивидуальных тепловых пунктов

- 1 - водоподогреватель горячего водоснабжения;
- 2 - повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения (пунктиром - циркуляционный насос);
- 3 - регулирующий клапан с электроприводом;
- 4 - регулятор перепада давлений (прямого действия);
- 5 - водомер для холодной воды;
- 6 - регулятор подачи теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения максимального расхода сетевой воды на ввод;
- 7 - обратный клапан;
- 8 - корректирующий подмешивающий насос;
- 9 - теплосчетчик;
- 10 - датчик температуры;
- 11 - датчик расхода воды;
- 12 - сигнал ограничений максимального расхода воды из тепловой сети на ввод;
- 13 - датчик давления воды в трубопроводе;
- 14 - регулятор ограничений максимального расхода воды на ввод (прямого действия);
- 14а - датчик расхода воды в виде сужающего устройства (камерная диафрагма);
- 15 - регулятор подачи теплоты на отопление;
- 16 - задвижка, нормально закрытая;
- 17 - регулятор подачи теплоты на горячее водоснабжение (прямого действия);
- 18 - сигнал включения насоса при закрытии клапана К-2;
- 19 - регулятор перепада давлений (электронный);
- 20 - водоподогреватель отопления;
- 21 - водомер горячеводный

9. Схемы присоединения систем горячего водоснабжения и отопления при проектировании индивидуальных тепловых пунктов при зависимом (а) присоединении системы отопления через элеватор (пунктиром - с циркуляционным насосом) с учетом теплоты по тепломеру и независимом (б) - с учетом теплоты по водомеру. (схема9)

Схема 9



Схемы присоединения систем горячего водоснабжения и отопления при проектировании индивидуальных тепловых пунктов при зависимом (а) присоединении системы отопления через элеватор (пунктиром - с циркуляционным насосом) с учетом теплоты по тепломеру и независимом (б) - с учетом теплоты по водомеру

- 1 - водоподогреватель горячего водоснабжения;
- 2 - повысительно-циркуляционный насос горячего водоснабжения (пунктиром - циркуляционный насос);
- 3 - регулирующий клапан с электроприводом;
- 4 - регулятор перепада давлений (прямого действия);
- 5 - водомер для холодной воды;
- 6 - регулятор подачи теплоты на отопление, горячее водоснабжение и ограничения максимального расхода сетевой воды на ввод;
- 7 - обратный клапан;
- 8 - корректирующий подмешивающий насос;
- 9 - теплосчетчик;
- 10 - датчик температуры;
- 11 - датчик расхода воды;
- 12 - сигнал ограничений максимального расхода воды из тепловой сети на ввод;
- 13 - датчик давления воды в трубопроводе;
- 14 - регулятор ограничений максимального расхода воды на ввод (прямого действия);
- 14а - датчик расхода воды в виде сужающего устройства (камерная диафрагма);
- 15 - регулятор подачи теплоты на отопление;
- 16 - задвижка, нормально закрытая;

- 17 - регулятор подачи теплоты на горячее водоснабжение (прямого действия);
- 18 - сигнал включения насоса при закрытии клапана К-2;
- 19 - регулятор перепада давлений (электронный);
- 20 - водоподогреватель отопления;
- 21 - водомер горячеводный;
- 22 - подпиточный насос отопления;
- 23 - регулятор подпитки;
- 24 - предохранительный клапан;
- 25 - циркуляционный насос отопления;
- 26 - водоструйный элеватор;
- 27 - регулятор смешения горячей воды;
- 28 - тепломер двухпоточный трехточечный;
- 29 - дроссельная диафрагма

При отсутствии в проекте системы горячего водоснабжения баков-аккумуляторов, проектируется два способа подачи тепла в систему отопления: нормальная и связанная подача.

При нормальной системе подачу тепла проектируют в систему отопления независимо от системы горячего водоснабжения. Поэтому, любые непроектные изменения в расходе тепла на горячее водоснабжение не отражаются на количестве тепла, получаемого системой отопления.

При проектировании связанной подачи, количество тепла, получаемого системой отопления, зависит от расхода тепла в системе горячего водоснабжения. Достигается это лимитированием (ограничением) общего количества тепла, поступающего на ввод из расчёта часового расхода тепла на отопление и среднечасового расхода тепла на горячее водоснабжение. При этом мощность системы горячего водоснабжения не ограничивается, а её рост приводит к соответствующему снижению температуры воздуха в помещении. Отклонение температуры внутреннего воздуха под влиянием горячего водоснабжения жёстко не нормируется, но большинство проектировщиков считают, что такие отклонения не должны превышать $\pm 1-1,5^{\circ}\text{C}$.

С развитием строительства и укрупнением монтажных блоков развилось производство, так называемых, **модульных или блочных тепловых пунктов**. Многие предприятия готовы предложить готовые решения теплового пункта на раме, который достаточно только присоединить к сетям.

Автоматика и контрольно-измерительные приборы

Тепловые сети, тепловые пункты и насосные станции должны быть оснащены в соответствии с действующими НТД средствами тепловой автоматики, измерений и контроля, обеспечивающими правильность и экономичность ведения технологического режима, безопасную эксплуатацию оборудования, контроль и учет расхода тепловой энергии.

В тепловых сетях должны быть предусмотрены:

а) автоматические регуляторы и блокировки, обеспечивающие:

- заданное давление воды в подающем и обратном трубопроводах водяных тепловых сетей с поддержанием в подающем трубопроводе постоянного давления «после себя» и в обратном - «до себя» (регулятор подпора);

- деление (рассечку) водяной сети на гидравлически независимые зоны при повышении давления воды сверх допустимого;
- включение подпиточных устройств в узлах рассечки для поддержания статического давления воды в отключенной зоне на заданном уровне;

б) отборные устройства с необходимой запорной арматурой для измерения:

- температуры воды в подающем (выборочно) и обратных трубопроводах перед секционирующими задвижками и, как правило, в обратном трубопроводе ответвлений диаметром 300 мм и выше перед задвижкой по ходу воды;
- давления в подающих и обратных трубопроводах до и после секционирующих задвижек и регулирующих устройств и, как правило, в подающих и обратных трубопроводах ответвлений диаметром 300 мм и более перед задвижкой;
- расхода воды в подающих и обратных трубопроводах ответвлений диаметром 400 мм и выше;
- давления пара в трубопроводах ответвлений перед задвижкой.

В камерах тепловых сетей должны предусматриваться местные показывающие контрольно-измерительные приборы для измерения температуры и давления в трубопроводах.

Автоматизация подкачивающих насосных станций на подающих и обратных трубопроводах водяных тепловых сетей должна обеспечивать:

- постоянное заданное давление в подающем или обратном трубопроводах насосной станции при любых режимах работы сети:
 - включение резервного насоса, установленного на обратном трубопроводе, при повышении давления сверх допустимого во всасывающем трубопроводе насосной станции или установленного на подающем трубопроводе - при снижении давления в напорном трубопроводе насосной станции;
 - автоматическое включение резервного насоса (АВР) при отключении работающего или падении давления в напорном патрубке.

Автоматизация смесительных насосных должна обеспечивать постоянство заданной температуры смешения и защиту тепловых сетей после смесительных насосов от повышения температуры воды против заданной при остановке насосов.

Насосные станции должны быть оснащены комплектом показывающих и регистрирующих приборов, включая измерение расходов воды, устанавливаемых по месту или на щите управления, сигнализацией состояния и неисправности оборудования на щите управления.

Автоматизация тепловых пунктов должна обеспечивать:

- регулирование расхода тепла в системе отопления и ограничения максимального расхода сетевой воды у потребителя;
- заданную температуру воды в системе горячего водоснабжения;
- поддержание статического давления в системах теплоснабжения при их независимом присоединении:
 - заданное давление в обратном трубопроводе или требуемый перепад давлений в подающем и обратном трубопроводах тепловых сетей;
 - защиту систем теплоснабжения от повышенного давления или температуры воды в случае возникновения опасности превышения допустимых предельных параметров;

- включение резервного насоса при отключении рабочего;
- прекращение подачи воды в бак-аккумулятор при достижении верхнего уровня воды в баке и разбора воды из бака при достижении нижнего уровня;
- защиту системы отопления от опорожнения;
- включение и выключение дренажных насосов в подземных тепловых пунктах по заданным уровням воды в дренажном приемнике.

Для учета расхода тепловой энергии и теплоносителя должны предусматриваться приборы учета в соответствии с Правилами учета тепловой энергии и теплоносителя [17];

ЦТП водяной системы теплоснабжения должен быть оборудован контрольно-измерительными приборами:

показывающими манометрами на подающем и обратном трубопроводах до и после входных задвижек, на каждом подающем трубопроводе после задвижек на распределительном коллекторе, на всасывающих и нагнетательных патрубках каждого насоса;

показывающими термометрами на общих подающих и обратных трубопроводах, на всех обратных трубопроводах перед сборными коллекторами (применение в открытых системах теплоснабжения и системах горячего водоснабжения термометров с ртутным заполнением не допускается);

регистрирующими расходомерами и термометрами на подающем и обратном трубопроводах;

приборами учета расхода тепловой энергии и теплоносителя.

Тепловые пункты паровой системы теплоснабжения должны быть оборудованы контрольно-измерительными приборами:

регистрирующими и суммирующими расходомерами пара;

регистрирующими и показывающими манометрами и термометрами на вводе паропроводов;

суммирующими расходомерами, показывающими манометрами и термометрами на конденсатопроводах;

показывающими манометрами и термометрами до и после редукционных клапанов.

Гильзы термометров должны устанавливаться:

на трубопроводах диаметром 70-200 мм наклонно к оси трубопровода против течения потока или вдоль оси трубы в колене трубопровода:

на трубопроводах диаметром менее 70 мм в специальных расширителях;

на трубопроводах диаметром более 200 мм перпендикулярно оси трубопровода.

На все средства измерений должны быть составлены паспорта с отметкой о периодических поверках и произведенных ремонтах, а также вестись журналы записи результатов поверок и ремонтов приборов и автоматических регуляторов.

. Для измерения расходов, температур и давлений должны применяться приборы, отвечающие пределам параметров измеряемого теплоносителя и установленному классу точности в соответствии с государственными стандартами.

Максимальное рабочее давление, измеряемое прибором, должно быть в пределах 2/3 максимума шкалы при постоянной нагрузке и 1/2 максимума шкалы - при переменной. Минимальное давление рекомендуется измерять в пределах не менее 1/3 максимума шкалы.

Верхний предел шкалы регистрирующих и показывающих термометров должен быть равен максимальной температуре измеряемой среды. Верхний предел шкалы самопишущих манометров должен соответствовать полуторакратному рабочему давлению измеряемой среды.

Минимальный расход измеряемой среды, учитываемой расходомерами переменного перепада давления, должен быть не меньше 30 % максимума шкалы.

На местном щите управления тепловых пунктов должна предусматриваться световая сигнализация о включении резервных насосов и достижении следующих предельных параметров:

- температуры воды, поступающей в систему горячего водоснабжения (минимальная-максимальная);
- давление в обратных трубопроводах систем отопления иди в обратном трубопроводе распределительных сетей отопления на выходе из ЦТП (минимальные-максимальные);
- минимального перепада давлений в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети на входе и выходе из ЦТП;
- уровней воды или конденсата в баках и водосборных приемках.

При применении регуляторов расхода тепла на отопление должна предусматриваться сигнализация о превышении заданной величины отклонения регулируемого параметра.

Организация должна обеспечить:

своевременное представление в поверку средств измерений (СИ), подлежащих государственному контролю и надзору;

проведение работ по калибровке СИ, не подлежащих поверке;

обслуживание, ремонт СИ, метрологический контроль и надзор. Выполнение работ по метрологическому обеспечению, контроль и надзор за их выполнением должны осуществлять службы КИП и автоматики.

. Оперативное обслуживание СИ должен вести дежурный или оперативно-ремонтный персонал подразделений, определенных решением главного инженера организации.

Техническое обслуживание и ремонт СИ должен осуществлять персонал службы КИП и автоматики организации.

Ремонт первичных запорных органов на отборных устройствах, вскрытие и установку сужающих и других устройств для измерения расхода, защитных гильз датчиков измерения температуры должен выполнять персонал, ремонтирующий технологическое оборудование, а приемку - персонал службы КИП и автоматики.

Персонал, обслуживающий оборудование, на котором установлены СИ, несет ответственность за их сохранность и чистоту внешних элементов. Обо всех нарушениях в работе СИ должно сообщаться службе КИП и автоматики.

Вскрытие регистрирующих приборов, не связанное с работой по обеспечению их нормальной записи, разрешается только персоналу службы КИП и автоматики, а СИ, используемых для расчетов с поставщиком или потребителями - совместно с их представителями.

5. РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ

Тепловая нагрузка в течение отопительного сезона меняется. Поэтому для поддержания требуемого теплового режима тепловую нагрузку необходимо регулировать.

Различают центральное, групповое, местное и индивидуальное регулирование. Центральное регулирование осуществляется на ТЭЦ и котельных. Групповое – на групповых тепловых подстанциях. Местное – на местных тепловых подстанциях. Индивидуальное – непосредственно у абонентов.

Если тепловая нагрузка у всех потребителей примерно одинакова, то можно ограничиться центральным регулированием. В большинстве же случаев тепловая нагрузка неоднородна. В этом случае центральное регулирование ведется по характерной тепловой нагрузке для большинства потребителей. В первую очередь это отопительная нагрузка и совместная нагрузка отопления и ГВС. Во втором случае расход воды в ТС увеличивается незначительно по сравнению с регулированием по отопительной нагрузке или не меняется.

Основное количества тепла в абонентских системах расходуется на нагрев. Поэтому тепловая нагрузка в первую очередь зависит от режима теплопередачи. Теплопередача описывается уравнением теплопередачи

$$Q = kF\Delta t n \quad (2.1)$$

где n - длительность работы системы; F - площадь поверхности теплообмена; k - коэффициент теплопередачи; Δt - средняя разность температур теплообменивающихся сред. В первом приближении

$$\Delta t = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} - \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (2.2)$$

τ - температура сетевой воды; t - температура нагреваемой воды; индексы 1 и 2 относятся ко входу и выходу теплообменника. Из уравнения теплового баланса

$$Q = Gc_p(\tau_1 - \tau_2)$$

найдем τ_2 и подставим в (2.2).

$$\tau_2 = \tau_1 - \frac{Q}{c_p G}$$

Решая совместно (2.1) и уравнение баланса, получим

$$Q = \frac{\tau_1 - 0.5(t_1 + t_2)}{\frac{1}{kFn} + \frac{0.5}{Gc}}$$

Т.о., тепловую нагрузку в принципе можно регулировать изменением пяти параметров - k , F , n , τ_1 , G_1 . Изменение τ_1 и G_1 имеют ограничения. Температура сетевой воды не может быть ниже 60°C , необходимой для обеспечения температуры воды ГВС и не может быть выше температуры насыщения для данного давления. Расход воды определяется располагаемым перепадом давления на ГТП и МТП. Если один из теплоносителей - пар, то его температуру можно изменять меняя давление (дресселированием).

В водяных системах реально можно менять тепловую нагрузку тремя способами:

1. изменением температуры сетевой воды - качественное регулирование;
2. изменением расхода сетевой воды - количественное регулирование;
3. изменением расхода и температуры воды - качественно-количественное регулирование.

Регулирование путем изменения длительности работы n называется регулированием пропусками. Применяется как местное в дополнение к центральному.

Выбор метода регулирования зависит от гидравлической устойчивости системы. Гидравлическая устойчивость - это способность системы поддерживать заданный гидравлический режим и характеризуется коэффициентом гидравлической устойчивости

$$y = f(\Delta p_{аб} / \Delta p_c)$$

Здесь $\Delta p_{аб}$ - располагаемый перепад давления у наиболее удаленного потребителя;

Δp_c - перепад давления, срабатываемый в сети. Если $y \leq 0,4$, то применяется качественное регулирование. Если $y > 0,4$, то применяется качественно-количественное регулирование. Центральное регулирование ориентируется на основной вид нагрузки района. Таковой может быть нагрузка отопления (регулирование по отопительной нагрузке), либо совмещенная нагрузка отопления и ГВС (регулирование по совмещенной нагрузке).

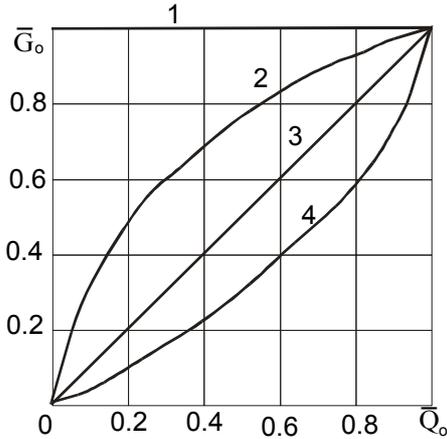
Обозначим через $Q'_o, \tau'_1, \tau'_2, \delta\tau', G'_o$ расчетные значения величин при $t_n = t_{n\sigma}$.

Текущие значения этих же величин обозначим через $Q_o, \tau, \tau_2, \delta\tau, G_o$.

Относительные безразмерные величины:

$$\bar{Q}_o = Q_o / Q'_o; \quad \bar{G}_o = G_o / G'_o; \quad \bar{\delta\tau} = \delta\tau / \delta\tau'.$$

Связь между \bar{Q}_o и \bar{G}_o можно представить в виде $\bar{G}_o = \bar{Q}_o^m$.



- 1 – качественное регулирование, $m=0$.
- 2 – качественно-количественное регулирование, $0 \leq m \leq 1$.
- 3,4 – количественное регулирование, $m > 1$

Рис.2.1. Закон изменения расхода при различных видах регулирования тепловой нагрузки

2.1 Тепловые характеристики теплообменных аппаратов

В проектных расчетах теплообменников применяются уравнение теплопередачи

$$Q = kF\Delta t_n \tag{2.3}$$

и уравнение теплового баланса

$$Q = G_1 c_1 \delta\tau = G_2 c_2 \delta t \quad \text{или} \quad Q = G_m c_m \delta t_{\bar{o}} = G_{\bar{o}} c_{\bar{o}} \delta t_m \tag{2.4}$$

В уравнении (2.3)

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\bar{o}} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\bar{o}}}{\Delta t_m}} \tag{2.5}$$

Если $\frac{\Delta t_{\bar{o}}}{\Delta t_m} \leq 2$, то можно пользоваться среднеарифметической разностью температур.

$$\Delta t = (t_1 + t_2) / 2. \tag{2.6}$$

Для целей расчета регулирования тепловой нагрузки уравнение (2.3) неудобно, т.к. заранее величина Dt неизвестна. Поэтому удобнее пользоваться максимальной разностью температур.

$$Q = \varepsilon Gc\Delta \tag{2.7}$$

где $\Delta = \tau_{ex} - t_{ex}$ - максимальная разность температур сред. Пользуясь (2.5), можно получить аналитические выражения для D только для прямотока и противотока. Для более сложных схем этого сделать не удастся. Поэтому пользуются приближенным выражением.

$$\Delta t = \Delta - a \delta t_m - b \delta t_{\delta} \quad (2.8)$$

Если вычислять Δt по (2.5), то $b=0.65$ для всех схем, $0.35 < a < 0.65$ в зависимости от схемы.

Если вычислять Δt по (2.6), то $a=b=0.5$.

Тепловая нагрузка, отнесенная к максимальной разности температур, называется удельной теплопроизводительностью.

$$q = \frac{Q}{\Delta} = \frac{kF\Delta t}{\Delta t + a\delta t_m + b\delta t_{\delta}} = \frac{kF\Delta t}{\Delta t + \frac{kF\Delta t}{(Gc)_{\delta}} a + \frac{kF\Delta t}{(Gc)_m} b}, \text{ или}$$

$$q = \frac{1}{\frac{1}{kF} + \frac{a}{(Gc)_{\delta}} + \frac{b}{(Gc)_m}} \quad (2.9)$$

Отношение удельной теплопроизводительности к полной теплоемкости называется безразмерной теплопроизводительностью, или коэффициентом эффективности.

$$\varepsilon = \frac{q}{(Gc)_m} = \frac{1}{\frac{(Gc)_m}{kF} + a \frac{(Gc)_m}{(Gc)_{\delta}} + b} \quad (2.10)$$

Применительно к системам отопления $(Gc)_{\delta}$ относится к воздуху, а $(Gc)_m$ - к воде.

Если один из теплоносителей пар, то $(Gc)_{\delta} \Rightarrow \infty$ и

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{(Gc)_m}{kF} + b}$$

Зависимость (2.10) действует в диапазоне

$$0 \leq \frac{(Gc)_m}{(Gc)_{\delta}} \leq 1 \quad 0 \leq \frac{kF}{(Gc)_m} < \infty.$$

Зависимости (2.9) и (2.10) универсальны и справедливы для любых схем движения теплоносителей. В отопительных установках отношение $(Gc)_m / (Gc)_{\delta} \Rightarrow 0$. Значение $b = 0,5$ если на абонентском вводе нет узла смешения и $b = (0.5 + u) / (1 + u)$ при наличии узла смешения, где u - коэффициент смешения.

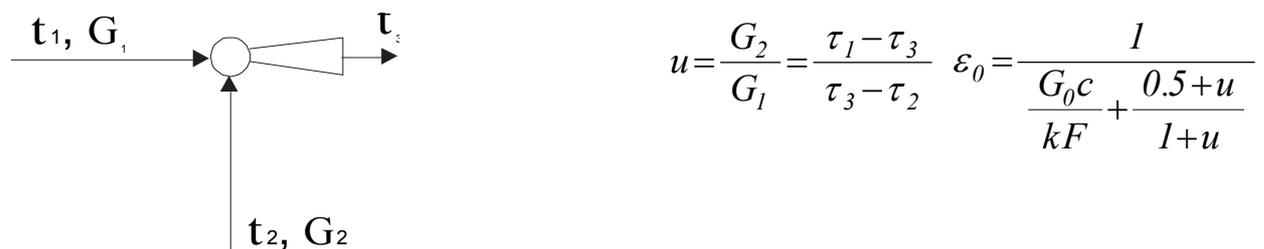


Рис.2.2. Расчетная схема узла смешения

Для любого теплообменного аппарата

$$kF = \phi \bar{Q}^{\frac{n}{n+1}}, \text{ где } \phi - \text{ постоянный параметр, } \phi = Q' / \Delta t'.$$

Для системы отопления $n = 0,25$, тогда:

$$kF = \frac{Q_0'}{\Delta t_0'} \bar{Q}_0^{0.2} \quad \varepsilon_0 = \frac{I}{\frac{\Delta t_0' G_0 c}{Q_0' \bar{Q}_0^{-0.2}} + \frac{0.5+u}{I+u}}$$

Качественное регулирование однородной нагрузки

Рассмотрим регулирование отпуска тепла при наличии только отопительной нагрузки (вентиляционной нагрузки и ГВС нет).

Качественное регулирование предполагает $G_o' = \text{const}$.

Требуется определить $\tau_{o1} = f(t_n)$, $\tau_{o2} = f(t_n)$. Для отопительной установки максимальная разность температур $\Delta = \tau_{o1} - t_e$. Тогда

$$\varepsilon_o = \frac{Q_o}{G_o' c (\tau_{o1} - t_e)}.$$

$$\text{Поскольку } Q_o = Q_o' \bar{Q}_o = G_o' c \delta \tau_o' \bar{Q}_o, \quad (2.11)$$

то

$$\varepsilon_o = \frac{\bar{Q}_o \delta \tau_o'}{(\tau_{o1} - t_e)}. \quad (2.12)$$

Далее

$$\varepsilon_o = \frac{I}{\frac{\Delta t' G_o c}{Q_o' \bar{Q}_o^{0.2}} + \frac{0.5+u}{I+u}}, \quad u = \frac{\tau_{o1} - \tau_{o3}}{\tau_{o3} - \tau_{o2}}. \quad (2.13)$$

На расчетном режиме

$$u = \frac{\tau_{o1}' - \tau_{o3}' + \tau_{o2}' - \tau_{o2}'}{\tau_{o3}' - \tau_{o2}'} = \frac{\delta \tau_o'}{\theta_o'} - 1. \quad (2.14)$$

Подставив (2.14) в (2.13) с учетом (2.11), получим

$$\varepsilon_o = \frac{1}{\frac{\Delta t'}{\bar{Q}_o^{0.2} \delta \tau_o'} + \frac{\delta \tau_o' - 0.5 \theta_o'}{\delta \tau_o'}}. \quad (2.15)$$

Приравнявая (2.12) и (2.15), найдем

$$\frac{\bar{Q}_o \delta\tau'_o}{\tau'_{o1} - t_\theta} = \frac{1}{\frac{\Delta t'}{0.2} + \frac{\delta\tau'_o - 0.5\theta'_o}{\delta\tau'_o}}, \text{ откуда получим}$$

$$\tau_{o1} = t_\theta + \Delta t_o^1 \bar{Q}_o + \bar{Q}_o (\delta\tau'_o - 0.5\theta'_o), \quad (2.16)$$

$$\tau_{o2} = t_\theta + \Delta t_o^1 \bar{Q}_o - 0.5 \bar{Q}_o \theta'_o. \quad (2.17)$$

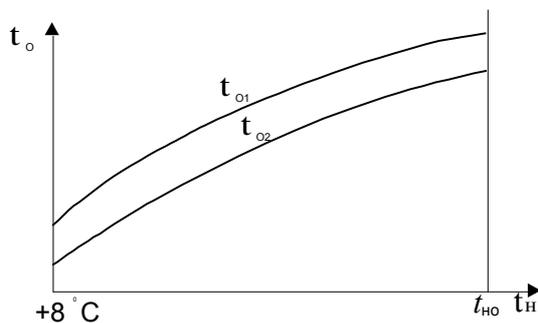


Рис.2.2. График температур сетевой воды при качественном регулировании отопительной нагрузки

Качественное регулирование разнородной нагрузки

Если кроме отопительной нагрузки есть еще и нагрузка ГВС, то, независимо от метода регулирования, температура воды в подающем трубопроводе не должна быть ниже уровня, определяемого условиями ГВС. Для поддержания такой температуры делается подрезка температурного графика при $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ - для открытой системы и $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ - для закрытой системы. График температур приобретает вид ломаной. Точке излома температурного графика соответствует температура наружного воздуха t_n'' .

При $t_n > t_n''$ происходит смена регулирования с качественного на количественное, либо регулирование пропусками. При $t_n < t_n''$ график температур сетевой воды рассчитывается для случая регулирования либо по отопительной нагрузке, либо по совмещенной нагрузке отопления и ГВС.

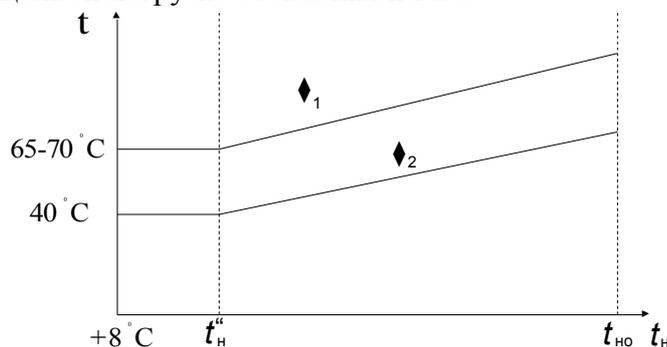


Рис.2.4. График температур при совмещенной нагрузке

Качественное регулирование по отопительной нагрузке.

При этом методе регулирования постоянным поддерживается расход только через систему отопления.

$$\text{При } t_H \leq t_H'' \quad G_o' = \frac{Q_o'}{c \delta \tau_o'} = \text{const.}$$

$$\text{При } t_H > t_H'' \quad G_o = \frac{Q_o}{c_o (\tau_{o1}'' - \tau_{o2}'')},$$

где Q_o – текущая отопительная нагрузка.

Температуры сетевой воды рассчитываются только по отопительной нагрузке по уравнениям (2.16) и (2.17). Расход в сети переменен и равен в прямом трубопроводе:

$$G_{np} = G_o + G_g + G_{zvc}^{np} + G_{yt}, \text{ где } G_{zvc}^{np} - \text{расход воды на ГВС из прямого трубопровода;}$$

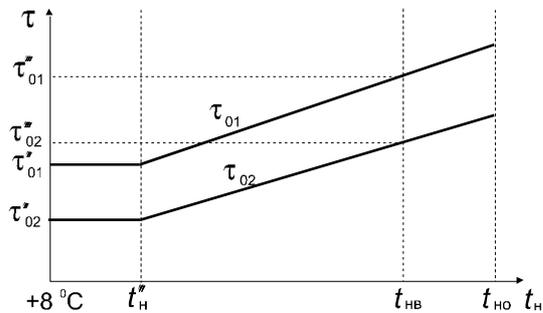
G_{yt} - потери или утечки из сети.

В обратном трубопроводе в закрытых системах:

$$G_{o\delta} = G_o + G_g + G_{zvc}^{o\delta}$$

В обратном трубопроводе в открытых системах:

$$G_{o\delta} = G_o + G_g - G_{zvc}^{o\delta} = G_o + G_g + G_{zvc}^{np} - G_{zvc}$$



τ_{o1}'' , τ_{o2}'' - температуры сетевой воды в точке подрезки температурного графика при $t_H = t_H''$.
 τ_{o1}''' , τ_{o2}''' - температуры сетевой воды при $t_H = t_{Hв}$

Рис.2.5.График температур в системе отопления

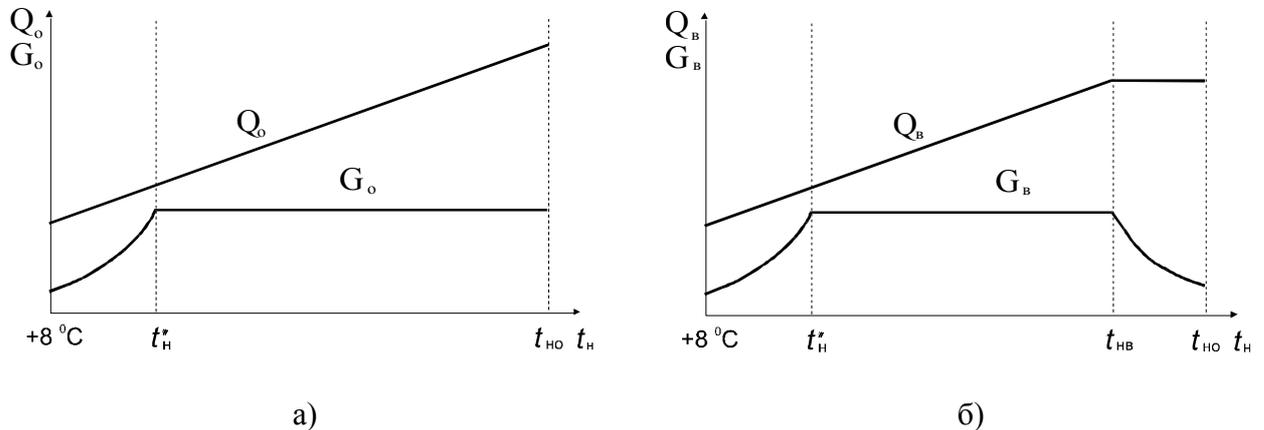


Рис.2.6. Графики расходов и тепловых нагрузок
 а – отопление; б – вентиляция.

Система вентиляции проектируется таким образом, чтобы при $t_n = t_{нв}$ температура сетевой воды после вентиляционной установки была равна τ''_{02} . Желательно, чтобы в диапазоне температур $t''_n \geq t_n \geq t_{нв}$ графики температур τ_{02} и $\tau_{2в}$ совпадали. При проектировании источников тепла допускается, чтобы в течение всего отопительного периода принимать $\tau_{2в} = \tau_{02}$.

Графики расхода воды и температуры на ГВС

В открытых системах вода на ГВС частично забирается из подающего трубопровода и частично – из обратного. Это необходимо для поддержания нужной температуры ГВС.

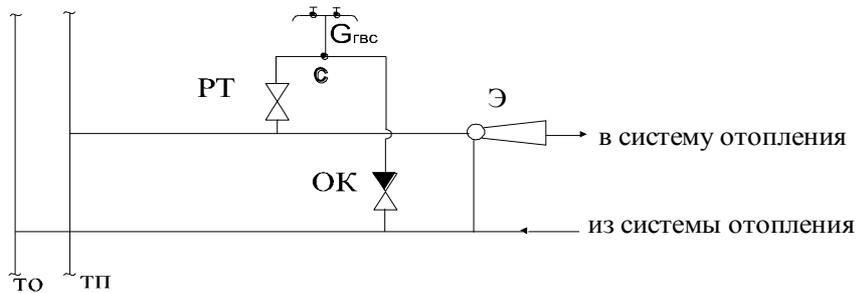


Рис.2.7. Схема открытой системы

При $t_2 \geq \tau_{02}$

$$G_{2вс} = \frac{Q_{2вс}}{c_2(t_2 - t_x)}$$

При $t_2 < \tau_{02}$

$$G_{2вс} = \frac{Q_{2вс}}{c_2(\tau_{02} - t_x)}$$

Обозначим через b долю расхода воды на ГВС из подающего трубопровода.

$$\beta = \frac{t_2 - \tau_{02}}{\tau_{01} - \tau_{02}}; \quad 1 - \beta = \frac{\tau_{01} - t_2}{\tau_{01} - \tau_{02}}$$

Расходы воды из подающего и обратного трубопроводов равны

$$G_{2вс}^{np} = G_{2вс} \beta, \quad G_{2вс}^{об} = (1 - \beta) G_{2вс}, \text{ соответственно.}$$

Рассмотрим построение графика температур и расхода воды на ГВС в закрытых системах при параллельном присоединении абонентской установки к тепловой сети.

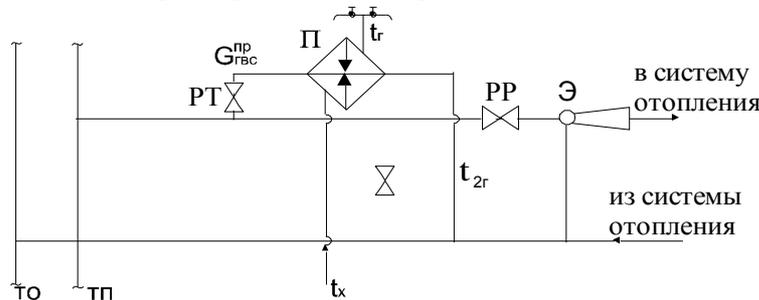
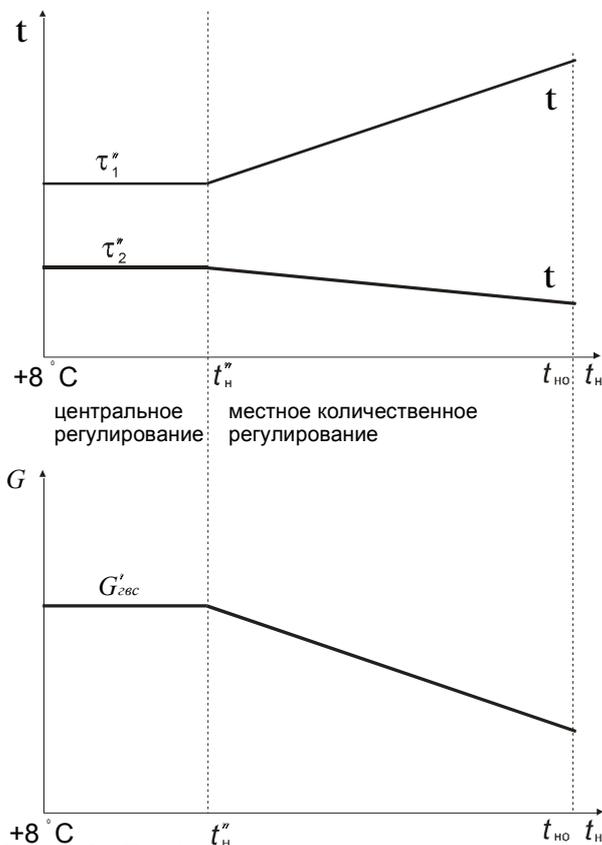


Рис.2.8. Схема параллельного присоединения абонентской установки



Максимальный расход сетевой воды на ГВС имеет место при минимальной температуре в подающем трубопроводе τ_1'' в часы максимальной нагрузки ГВС. Расчетное значение расхода на ГВС определяется по

$$G'_{звс} = \frac{Q'_{звс}}{c(\tau_1'' - \tau_2'')}.$$

При постоянной температуре греющей воды перед подогревателем ГВС изменение нагрузки ГВС, т.е. расхода горячей воды приводит к пропорциональному изменению расхода греющей воды из тепловой сети. При этом температура сетевой воды после подогревателя остается постоянной.

Рис.2.9. Графики температуры и расхода сетевой воды на ГВС в закрытой системе при параллельном присоединении

При проектировании источников тепла принимают $\tau_{2z} = \tau_{02}$. При параллельном присоединении тепло воды из обратного трубопровода не используется для нагрева вторичной воды. Это приводит к увеличению расхода сетевой воды и снижению эффективности системы теплоснабжения. Параллельную схему рекомендуется применять при $Q_{звс}^{max} / Q'_0 \geq 1.2$. В большинстве случаев применяется двухступенчатые схемы. Водопроводная вода сначала подогревается водой из обратной магистрали, а затем окончательно подогревается водой из подающего трубопровода.

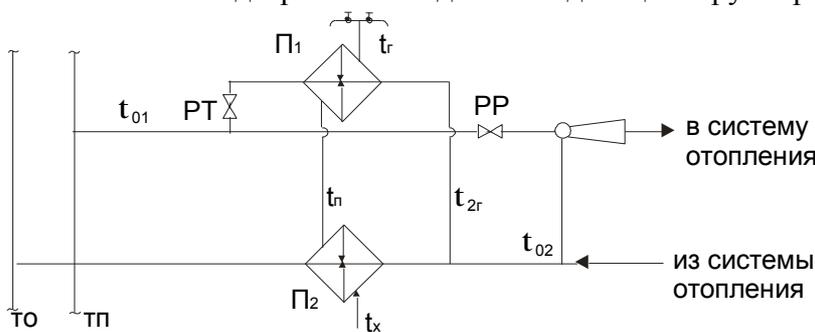


Рис.2.10. Двухступенчатая последовательная схема.

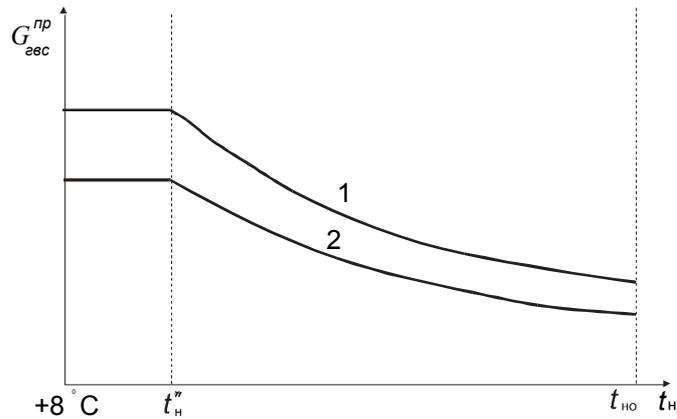
Температура водопроводной воды после подогревателя второй ступени П_2 $t_{2z} = t_{02} - \text{Dt}_{нед}$. Величина недогрева $\text{Dt}_{нед}$ принимается равной $5 \dots 10^\circ\text{C}$. Запишем уравнения баланса тепла для подогревателя П_1 .

$$Q_{\text{П}1} = G_{звс}^{np} c (\tau_{01} - \tau_{2z}); \quad Q_{\text{П}1} = G_{звс} c (t_2 - t_n).$$

Расход водопроводной воды определяется как

$G_{\text{звс}} = \frac{Q_{\text{звс}}}{c(t_2 - t_x)}$. Подставив величину расхода во второе из уравнений баланса и приравняв их, получим

$$G_{\text{звс}}^{\text{np}} = Q_{\text{звс}} \frac{t_2 - t_n}{t_2 - t_x} \frac{1}{c(\tau_{01} - \tau_{22})}$$



1 – одноступенчатая схема
2 – двухступенчатая схема
При одноступенчатой схеме $t_{п1} = t_x$

Рис.2.11. График расходов в подающем трубопроводе.

В двухступенчатой схеме температура воды, возвращаемой на станцию, ниже, чем в одноступенчатой.

$$\tau_2 = \tau_{02} - \frac{Q_{\text{П}2}}{c(G_o + G_{\text{звс}}^{\text{np}} + G_в)} = \tau_{02} - Q_{\text{звс}} \frac{t_n - t_x}{t_2 - t_x} \frac{1}{c(G_o + G_{\text{звс}}^{\text{np}} + G_в)}$$

Расчет тепловой схемы станции нужно вести по τ_2 . В закрытых и открытых схемах расходы сетевой воды на отопление и вентиляцию одинаковы. Однако расходы сетевой воды на нагрузку ГВС отличаются.

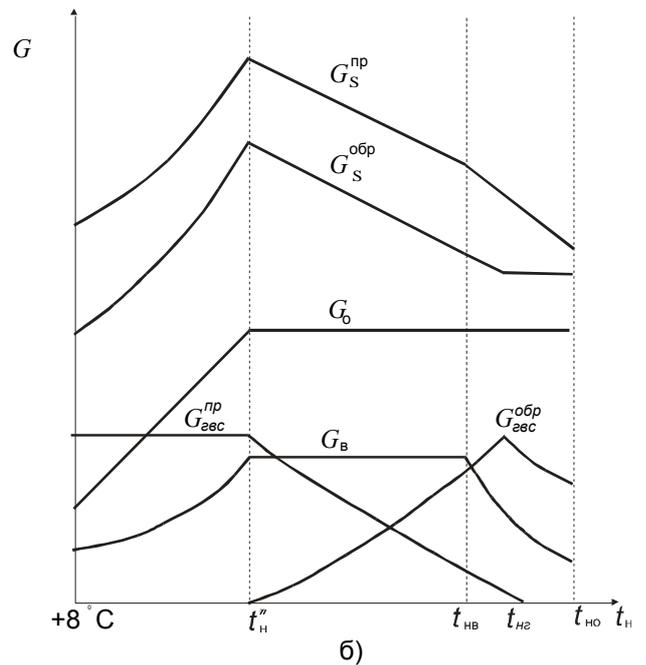
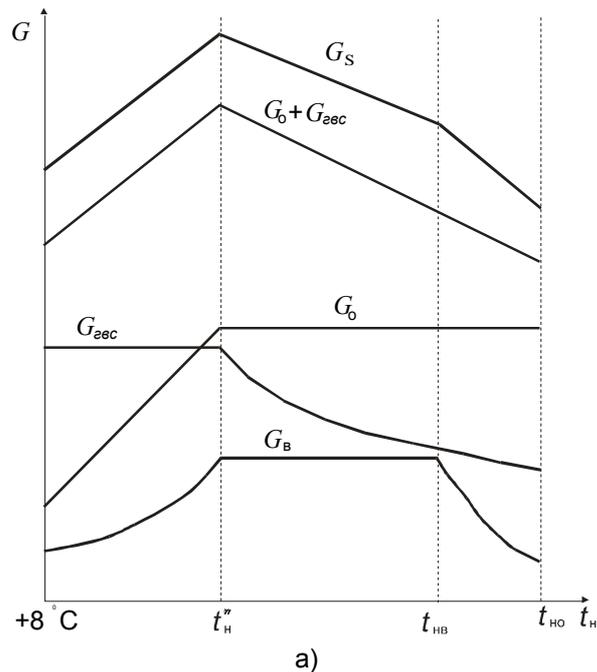


Рис. 2.12. Графики расходов в тепловой сети при регулировании по отопительной нагрузке
а) – закрытая система; б) – открытая система

$$G_o^{\text{откр}} = G_o^{\text{закр}}; \quad G_в^{\text{откр}} = G_в^{\text{закр}}$$

В открытых системах расход воды в подающем трубопроводе

$$G_{\Sigma}^{np} = G_o + G_g + \beta G_{гвс}$$

В обратном трубопроводе

$$G_{\Sigma}^{обп} = G_o + G_g - (1 - \beta) G_{гвс}, \quad G_{\Sigma}^{np} > G_{\Sigma}^{обп}.$$

При одинаковых Q и одинаковых t_1 в открытых системах $G_{np}^{откр} < G_{np}^{закр}$, а в обратном трубопроводе $G_{обп}^{откр} \ll G_{обп}^{закр}$.

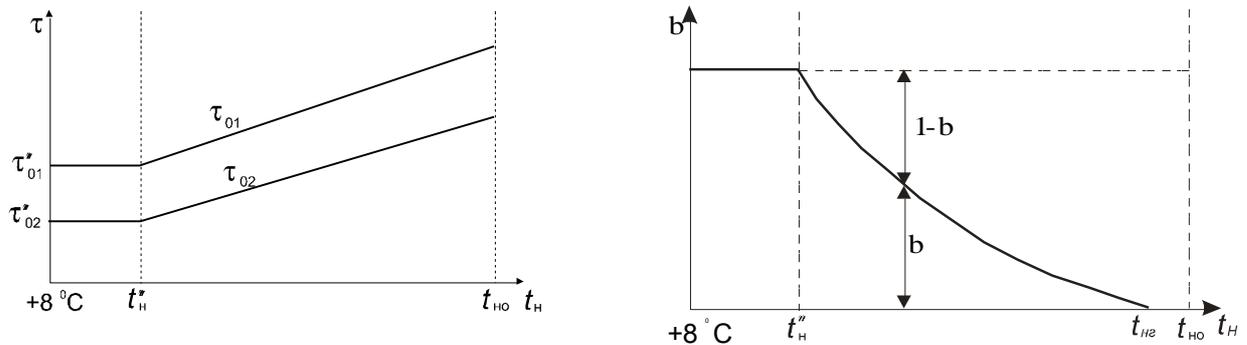


Рис.2.13. Графики температур и доли расхода вода на ГВС в открытой системе

Центральное регулирование по совмещенной нагрузке отопления и ГВС

Там, где есть кроме отопительной нагрузки и нагрузка ГВС, можно значительно уменьшить расчетный расход в тепловой сети при переходе от центрального регулирования нагрузки отопления к центральному регулированию совмещенной нагрузки отопления и ГВС. При таком методе регулирования можно обеспечить нагрузку ГВС без дополнительного увеличения расхода сетевой воды или с небольшим его увеличением.

В этом случае ориентируются на типичную для данного района относительную нагрузку ГВС.

$$\rho_{гвс}^{ср.н} = Q_{гвс}^{ср.н} / Q_o'$$

Для обеспечения качественного теплоснабжения при регулировании по совмещенной нагрузке необходимо, чтобы наряду с центральным регулированием на ТЭЦ или котельной проводилось дополнительно групповое или местное регулирование всех видов нагрузки на ГТП и МТП.

2.2.1. Центральное регулирование по совмещенной нагрузке закрытых систем теплоснабжения

Наиболее распространенной схемой присоединения абонентов является двухступенчатая последовательная схема (см.рис.2.10). Когда регулятор температуры увеличивает расход воды через подогреватель Π_2 , регулятор расхода снижает расход так, что на сопло элеватора поступает практически постоянный расход сетевой воды. Если расход воды становится равным G_1' , то регулятор расхода полностью закрывается, и весь расход воды идет через подогреватель Π_2 .

При качественном регулировании расход воды на абонентском вводе поддерживается постоянным и равным

$$G_o' = \frac{Q_o'}{c \delta \tau_o} = const.$$

Температуры сетевой воды τ_1 и τ_2 должны быть рассчитаны с учетом нагрузки отопления и ГВС.

$\tau_1 = \tau_{01} + \delta_1$, $\tau_2 = \tau_{02} - \delta_2$. Значения τ_{01} и τ_{02} рассчитываются по уравнениям (2.16) и (2.17); δ_1 и δ_2 - снижение температуры воды в подогревателях ГВС. Расход воды в прямом трубопроводе есть $G_{np} = G_o + G_g + G_{ym}$, в обратном трубопроводе - $G_{o\phi} = G_o + G_g$. Расход воды на вентиляцию рассчитывается как для отопительной нагрузки, но по температурам воды τ_1 и τ_2 . Для двух подогревателей $\delta = \delta_1 + \delta_2 = const$. Величины δ , δ_1 и δ_2 найдем с помощью уравнений баланса тепла для системы в целом и подогревателей 1 и 2.

$$\delta = \frac{Q_{гвс}}{c \dot{G}} = \frac{Q_{гвс}}{Q_o'} \delta \tau_o'; \quad \delta_2 = \frac{Q_{П2}}{c G_o'} = \frac{Q_{гвс}}{Q_o'} \frac{t_n - t_x}{t_2 - t_x} \delta \tau_o'.$$

Порядок расчета.

1. По уравнениям (2.16) и (2.17) рассчитывают значения температур τ_{01} и τ_{02} .
2. Задают величину недогрева водопроводной воды в подогревателе второй ступени Π_2 при $t_n = t_n'' - \Delta t_{нед}'' = \tau_{02}'' - t_n'' = 5 \dots 10^\circ C$. Если

$$\Delta t_{нед}'' = \frac{\tau_{02}' - t_x}{\tau_{01}' - t_x} (\tau_{02}'' - t_x), \text{ то при } t_n = t_{но} \quad \delta_1 = 0.$$

3. Рассчитывают $\delta \tau_2$, принимая $t_n'' = \tau_{02}'' - \Delta t_{нед}''$.
4. Затем рассчитывают δ_2 и $\delta_1 = \delta - \delta_2$. Если для какого-либо режима получается $\delta_2 = \delta$, то в последующих расчетах принимают $\delta_2 = \delta$, а $\delta_1 = 0$. Таким образом, в этом случае все тепло на ГВС обеспечивается подогревателем Π_2 . На рис.2.14 представлены графики сетевой воды для рассмотренного случая.

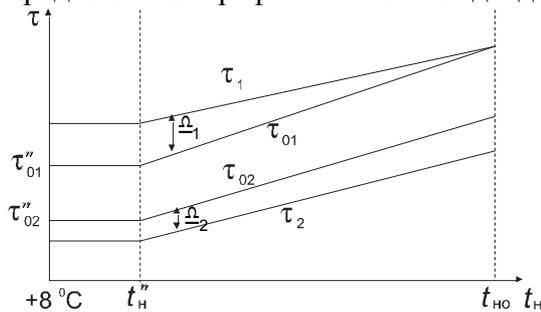


Рис.2.14. Графики температур сетевой воды

Качественное регулирование по совмещенной нагрузке в открытых системах

Схема открытой системы представлена на рис.2.7. Расход воды на абонентском вводе поддерживается постоянным.

$$G_o' = \frac{Q_o'}{c \delta \tau_o'} = const.$$

Расход воды на отопление равен

$$G_o = G_o' - \beta G_{гвс}, \text{ где } \beta = (t_2 - \tau_2) / (\tau_1 - \tau_2) \quad (2.18)$$

В подающем трубопроводе $\tau_1 > \tau_{01}$, в обратном - $\tau_2 < \tau_{02}$.

По определению

$$\varepsilon_0 = \frac{Q_0}{cG_0(\tau_1 - t_\varepsilon)} = \frac{\bar{Q}_0 c G'_0 \delta\tau'_0}{cG_0(\tau_1 - t_\varepsilon)} = \frac{\bar{Q}_0 \delta\tau'_0}{\bar{G}_0(\tau_1 - t_\varepsilon)}. \quad (2.19)$$

С другой стороны (см. раздел 2.2)

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{\frac{cG'_0 \Delta t'_0}{Q'_0 \bar{Q}_0} + \frac{\delta\tau'_0 - 0.5\Theta'_0}{\delta\tau'_0}} = \frac{1}{\frac{\bar{G}_0 \Delta t'_0}{\bar{Q}_0} + \frac{\delta\tau'_0 - 0.5\Theta'_0}{\delta\tau'_0}}. \quad (2.20)$$

Приравняв (2.19) и (2.20), найдем τ_1 и τ_2 .

$$\tau_1 = t_\varepsilon + \bar{Q}_0^{0.8} \Delta t'_0 + \frac{\bar{Q}_0}{\bar{G}_0} (\delta\tau'_0 - 0.5\Theta'_0); \quad (2.21)$$

$$\tau_2 = t_\varepsilon - \bar{Q}_0^{0.8} \Delta t'_0 - \frac{\bar{Q}_0}{\bar{G}_0} 0.5\Theta'_0. \quad (2.22)$$

Подставим τ_1 и τ_2 в формулу для b .

$$\beta = \left[t_2 - t_\varepsilon - \bar{Q}_0^{0.8} \Delta t'_0 + 0.5 \frac{\bar{Q}_0}{\bar{G}_0} \Theta'_0 \right] \frac{\bar{G}_0}{\bar{Q}_0 \delta\tau'_0}. \quad (2.23)$$

В безразмерном виде (2.18) можно записать как

$$\bar{G}_0 = 1 - \beta \frac{G_{zbc}}{G'_0} = 1 - \beta \frac{G_{zbc} c \delta\tau'_0}{Q'_0} = 1 - \beta \frac{Q_{zbc} \delta\tau'_0}{Q'_0 (t_2 - t_x)}. \quad (2.24)$$

Здесь учтено, что

$$G'_0 = \frac{Q'_0}{c \delta\tau'_0}; \quad G_{zbc} = \frac{Q_{zbc}}{c(t_2 - t_x)}.$$

Подставив (2.23) в (2.24), получим

$$\bar{G}_0 = \frac{1 - 0.5 \frac{\Theta'_0 Q_{zbc}}{Q'_0 (t_2 - t_x)}}{1 + \frac{t_2 - t_\varepsilon}{t_2 - t_x} \frac{Q_{zbc}}{Q'_0 \bar{Q}_0} - \frac{\Delta t'_0}{t_2 - t_x} \frac{Q_{zbc}}{Q'_0 \bar{Q}_0^{0.2}}}. \quad (2.25)$$

Порядок расчета.

1. Для заданной температуры t_H определяем

$$\bar{Q}_0 = \frac{t_\varepsilon - t_H}{t_\varepsilon - t_{H0}}.$$

2. По формуле (2.25) находим \bar{G}_o . Если получается, что $\bar{G}_o > 1$, то принимают в дальнейшем $\bar{G}_o = 1$.

3. По формулам (2.21), (2.22) находим τ_1 и τ_2 .

Расход воды в прямом трубопроводе есть $G_{np} = G_o + G_6 + G_{ym}$. В обратном трубопроводе $G_{обр} = G_o + G_6 - G_{звс}$.

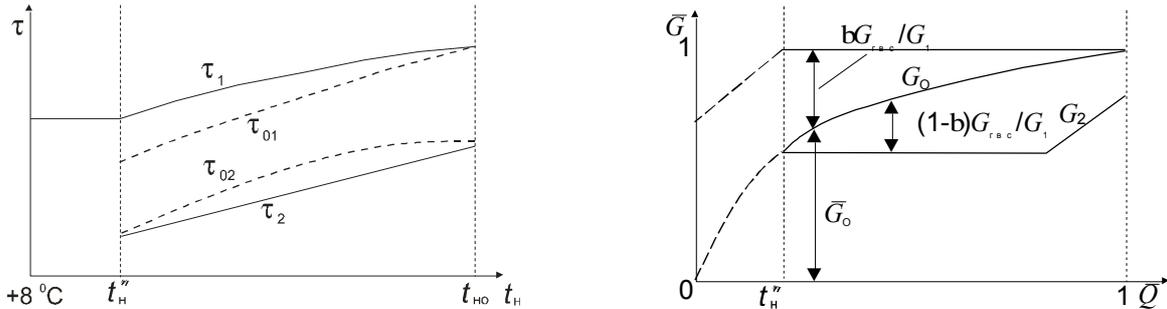


Рис.2.15. Графики температур и расходов в открытой системе

Качественно-количественное регулирование

Для получения одинакового закона изменения расхода воды у всех абонентов необходимо при выключенном расходе ГВС установить одинаковые напоры в подающем и обратном трубопроводах на всех абонентских вводах.

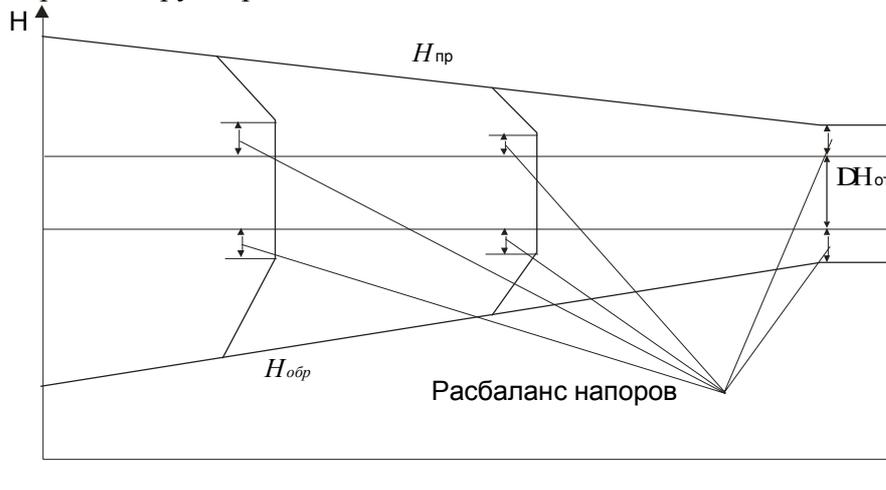


Рис.2.16. Пьезометрический график

Расбаланс напоров на абонентских вводах гасится шайбами или диафрагмами.

На всех абонентских вводах должны быть обеспечены условия: $H_{np} = idem$, $H_{обр} = idem$, $H_{аб} = idem$. Степень изменения расхода воды у всех потребителей будет одинакова, если

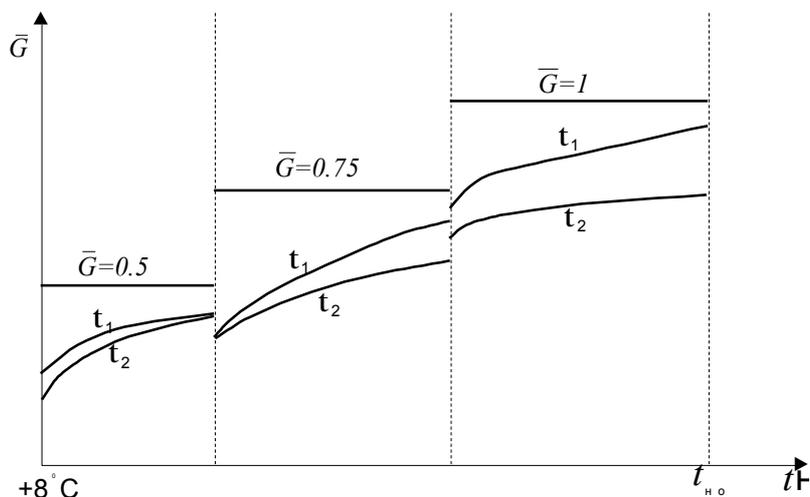
$$\left(\frac{Q_{звс}}{Q_o'} \right)_{пот.р.} = \left(\frac{Q_{звс}}{Q_o'} \right)_{рай.}$$

Если равенство не соблюдается, то требуется местная подрегулировка у этого потребителя.

Качественно – количественное регулирование нагрузки может выполняться:

- 1) с заданным напором на станции;
- 2) с искусственным изменением расхода воды в сети.

Разновидностью качественно-количественного регулирования является ступенчатое регулирование.



6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

В задачу гидравлического расчета входят:

- определение диаметра трубопроводов;
- определение падения давления (напора);
- определение давлений (напоров) в различных точках сети;
- увязка всех точек сети при статическом и динамическом режимах с целью обеспечения допустимых давлений и требуемых напоров в сети и абонентских системах.

По результатам гидравлического расчета можно решить следующие задачи.

1. Определение капитальных затрат, расхода металла (труб) и основного объема работ по прокладке тепловой сети.
2. Определение характеристик циркуляционных и подпиточных насосов.
3. Определение условий работы тепловой сети и выбора схем присоединения абонентов.
4. Выбор автоматики для тепловой сети и абонентов.
5. Разработка режимов эксплуатации.

а. Схемы и конфигурации тепловых сетей.

Схема тепловой сети определяется размещением источников тепла по отношению к району потребления, характером тепловой нагрузки и видом теплоносителя.

Удельная протяженность паровых сетей на единицу расчетной тепловой нагрузки невелика, поскольку потребители пара – как правило, промышленные потребители – находятся на небольшом расстоянии от источника тепла.

Более сложной задачей является выбор схемы водяных тепловых сетей вследствие большой протяженности, большого количества абонентов. Водяные ТС менее долговечны, чем паровые вследствие большей коррозии, больше чувствительны к авариям из-за большой плотности воды.

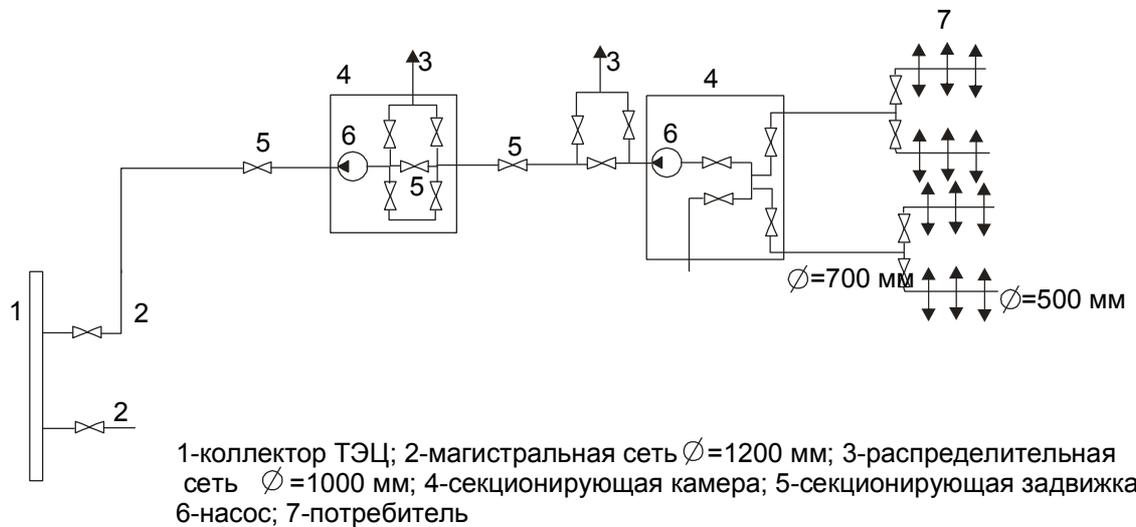


Рис.6.1. Однолинейная коммуникационная сеть двухтрубной тепловой сети

Водяные сети разделяют на магистральные и распределительные. По магистральным сетям теплоноситель подается от источников тепла в районы потребления. По распределительным сетям вода подается на ГТП и МТП и к абонентам. Непосредственно к магистральным сетям абоненты присоединяются очень редко. В узлах присоединения распределительных сетей к магистральным устанавливаются секционирующие камеры с задвижками. Секционирующие задвижки на магистральных сетях обычно устанавливаются через 2-3 км. Благодаря установке секционирующих задвижек уменьшаются потери воды при авариях ТС. Распределительные и магистральные ТС с диаметром меньше 700 мм делаются обычно тупиковыми. В случае аварий для большей части территории страны допустим перерыв в теплоснабжении зданий до 24 часов. Если же перерыв в теплоснабжении недопустим, необходимо предусматривать дублирование или закольцовку ТС.

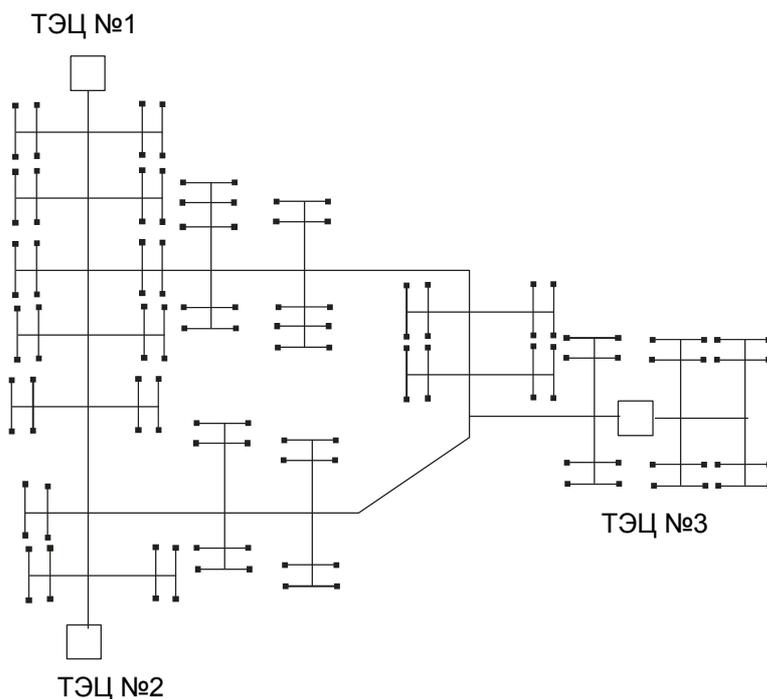


Рис.6.2. Кольцевая тепловая сеть от трех ТЭЦ

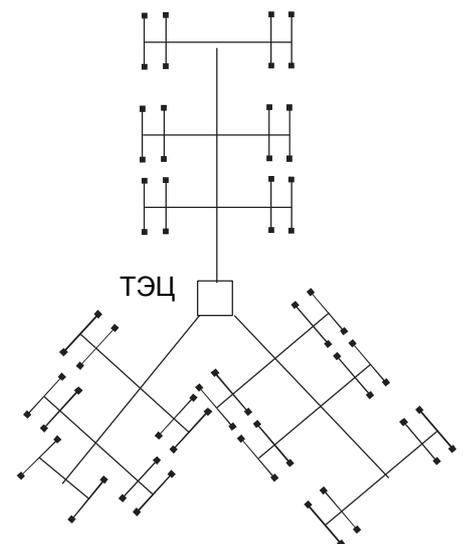


Рис.6.3. Радиальная тепловая сеть

При теплоснабжении крупных городов от нескольких ТЭЦ целесообразно предусмотреть взаимную блокировку ТЭЦ путем соединения их магистралей блокировочными связями. В этом случае получается кольцевая тепловая сеть с несколькими источниками питания. Подобная схема имеет более высокую надежность, обеспечивает передачу резервирующих потоков воды при аварии на каком-либо участке сети. При диаметрах магистралей, отходящих от источника тепла 700 мм и менее, обычно применяют радиальную схему тепловой сети с постепенным уменьшением диаметра трубы по мере удаления от источника и снижения присоединенной нагрузки. Такая сеть наиболее дешевая, но при аварии теплоснабжение абонентов прекращается.

в. Основные расчетные зависимости

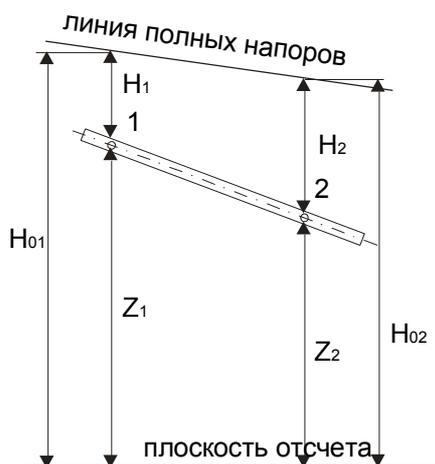


Рис.6.1. Схема движения жидкости в трубе

Одномерное установившееся движение жидкости в трубе описывается уравнением Бернулли.

$$Z_1 g + \frac{w_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = Z_2 g + \frac{w_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + \frac{\Delta p}{\rho}, \text{ где}$$

Z_1, Z_2 – геометрическая высота оси трубы в сечениях 1 и 2; w_1 и w_2 – скорости движения жидкости в сечениях 1 и 2; p_1 и p_2 – давление жидкости на оси трубы в сечениях 1 и 2; Δp – падение давления на отрезке 1-2; g – ускорение свободного падения. Уравнение Бернулли можно записать относительно напоров, разделив обе части на g .

Скорость жидкости в трубопроводах невелика, поэтому кинетической энергией потока можно пренебречь. Выражение $H=p/rg$ называется пьезометрическим напором, а сумма высоты Z и пьезометрического напора называют полным напором.

$$H_0 = Z + p/rg = Z + H. \quad (6.1)$$

Падение давления в трубе представляет собой сумму линейных потерь давления и потерь давления на местных гидравлических сопротивлениях.

$$\Delta p = \Delta p_{\text{л}} + \Delta p_{\text{м}}. \quad (6.2)$$

В трубопроводах $\Delta p_{\text{л}} = R_{\text{л}} L$, где $R_{\text{л}}$ – удельное падение давления, т.е. падение давления единицы длины трубы, определяемое по формуле д'Арсси.

$$R_{\text{л}} = \lambda \frac{\rho w^2}{2d} = 0.812 \lambda \frac{G^2}{d^5 \rho}. \quad (6.3)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления λ зависит от режима течения жидкости и абсолютной эквивалентной шероховатости стенок трубы $k_{\text{э}}$. Можно в расчетах принимать следующие значения $k_{\text{э}}$ – в паропроводах $k_{\text{э}} = 0.2$ мм; в водяных сетях $k_{\text{э}} = 0.5$ мм; в конденсаторопроводах и системах ГВС $k_{\text{э}} = 1$ мм.

При ламинарном течении жидкости в трубе ($Re < 2300$)

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (6.4)$$

В переходной области $2300 < Re < 4000$

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{k_{\text{э}}}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}. \quad (6.5)$$

При $Re > \frac{568d}{k_{\vartheta}} = Re_{np}$

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{k_{\vartheta}}{d} \right)^{0.25}. \quad (6.6)$$

Обычно в тепловых сетях $Re > Re_{np}$, поэтому (6.3) можно привести к виду

$$R_L = A_R \frac{G^2}{(\rho d^{5.25})}, \text{ где } A_R = 0.812 * 0.11 * k_{\vartheta}^{0.25}. \quad (6.7)$$

Потери давления на местных сопротивлениях определяются по формуле

$$\Delta p_M = \xi \frac{\rho w^2}{2} = 0.812 \xi \frac{G^2}{\rho d^4}. \quad (6.8)$$

Значения коэффициента местного гидравлического сопротивления ξ приводятся в справочниках. При гидравлических расчетах можно учитывать потери давления на местных сопротивлениях через эквивалентную длину.

$$l_{\text{эк}} = \frac{1}{\lambda} \xi d.$$

Тогда $\Delta p = R_L (l + l_{\text{эк}}) = R_L l (1 + \alpha)$, где $\alpha = l_{\text{эк}}/l$ – доля местных потерь давления.

а. Порядок гидравлического расчета

Обычно при гидравлическом расчете задаются расход теплоносителя и суммарное падение давления на участке. Требуется найти диаметр трубопровода. Расчет состоит из двух этапов – предварительного и поверочного.

Предварительный расчет.

2. Задаются долей местных падений давления $\alpha = 0.3 \dots 0.6$.
3. Оценивают удельные потери давления

$$R_L = \frac{\Delta p}{2l(1+\alpha)}. \text{ Если падение давления на участке неизвестно, то задаются}$$

величиной $R_L < 20 \dots 30$ Па/м.

4. Рассчитывают диаметр трубопровода из условия работы в турбулентном режиме
Для водяных тепловых сетей плотность принимают равной 975 кг/м^3 .

Из (6.7) найдем

$$d = \left(\frac{A_R G^2}{\rho R_L} \right)^{0.19}, \quad (6.9)$$

где ρ – средняя плотность воды на данном участке. По найденному значению диаметру выбирают по ГОСТ трубу с ближайшим внутренним диаметром. При выборе трубы указывают либо d_y и d , либо d_n и d .

2. Поверочный расчет.

Для концевых участков следует проверить режим движения. Если окажется, что режим движения переходный, то, если есть возможность, нужно уменьшить диаметр трубы. Если это невозможно, то нужно вести расчет по формулам переходного режима.

1. Уточняются значения R_L ;
2. Уточняются типы местных сопротивлений и их эквивалентные длины. Задвижки устанавливаются на выходе и входе коллектора, в местах присоединения распределительных сетей к магистральным, ответвлений к потребителю и у

потребителей. Если длина ответвления менее 25 м, то допускается устанавливать задвижку только у потребителя. Секционирующие задвижки устанавливаются через 1 – 3 км. Кроме задвижек возможны и другие местные сопротивления – повороты, изменения сечения, тройники, слияние и разветвление потока и т.д.

Для определения количества температурных компенсаторов длины участков делятся на допустимое расстояние между неподвижными опорами. Результат округляется до ближайшего целого числа. Если на участке есть повороты, то они могут быть использованы для самокомпенсации температурных удлинений. При этом количество компенсаторов уменьшается на число поворотов.

5. Определяются потери давления на участке. Для закрытых систем $\Delta p_{yч} = 2R_l(l+l_3)$. Для открытых систем предварительный расчет ведется по эквивалентному расходу

$$G_{эк \bar{в}} = \sqrt{G_{о \bar{в}}^2 + (G_{г \bar{в}}^{np})^2} - 0.5G_{о \bar{в}}G_{г \bar{в}}^{np}$$

При поверочном расчете удельные линейные потери давления рассчитываются отдельно для подающего и обратного трубопроводов для действительных расходов.

$$\Delta p_y^{np} = R_l^{np}(l+l_m), \quad \Delta p_y^{об} = R_l^{об}(l+l_m).$$

По окончании гидравлического расчета строится пьезометрический график.

6.2. Пьезометрический график тепловой сети

На пьезометрическом графике в масштабе нанесены рельеф местности, высота присоединенных зданий, напор в сети. По этому графику легко определить напор и располагаемый напор в любой точке сети и абонентских системах.

За горизонтальную плоскость отсчета напоров принят уровень 1 – 1. Линия П1 – П4 – график напоров подающей линии. Линия О1 – О4 – график напоров обратной линии. Н_{о1} – полный напор на обратном коллекторе источника; Н_{сн} – напор сетевого насоса; Н_{ст} – полный напор подпиточного насоса, или полный статический напор в тепловой сети; Н_к – полный напор в т.К на нагнетательном патрубке сетевого насоса; ДН_т – потеря напора в теплоприготовительной установке; Н_{п1} – полный напор на подающем коллекторе, Н_{п1} = Н_к - ДН_т. Располагаемый напор сетевой воды на коллекторе ТЭЦ Н₁ = Н_{п1} - Н_{о1}. Напор в любой точке сети *i* обозначается как Н_{п*i*}, Н_{о*i*} – полные напоры в прямом и обратном трубопроводе. Если геодезическая высота в точке *i* есть *Z_i*, то пьезометрический напор в этой точке есть Н_{п*i*} – *Z_i*, Н_{о*i*} – *Z_i* в прямом и обратном трубопроводах, соответственно. Располагаемый напор в точке *i* есть разность пьезометрических напоров в прямом и обратном трубопроводах – Н_{п*i*} – Н_{о*i*}. Располагаемый напор в ТС в узле присоединения абонента Д есть Н₄ = Н_{п4} – Н_{о4}.

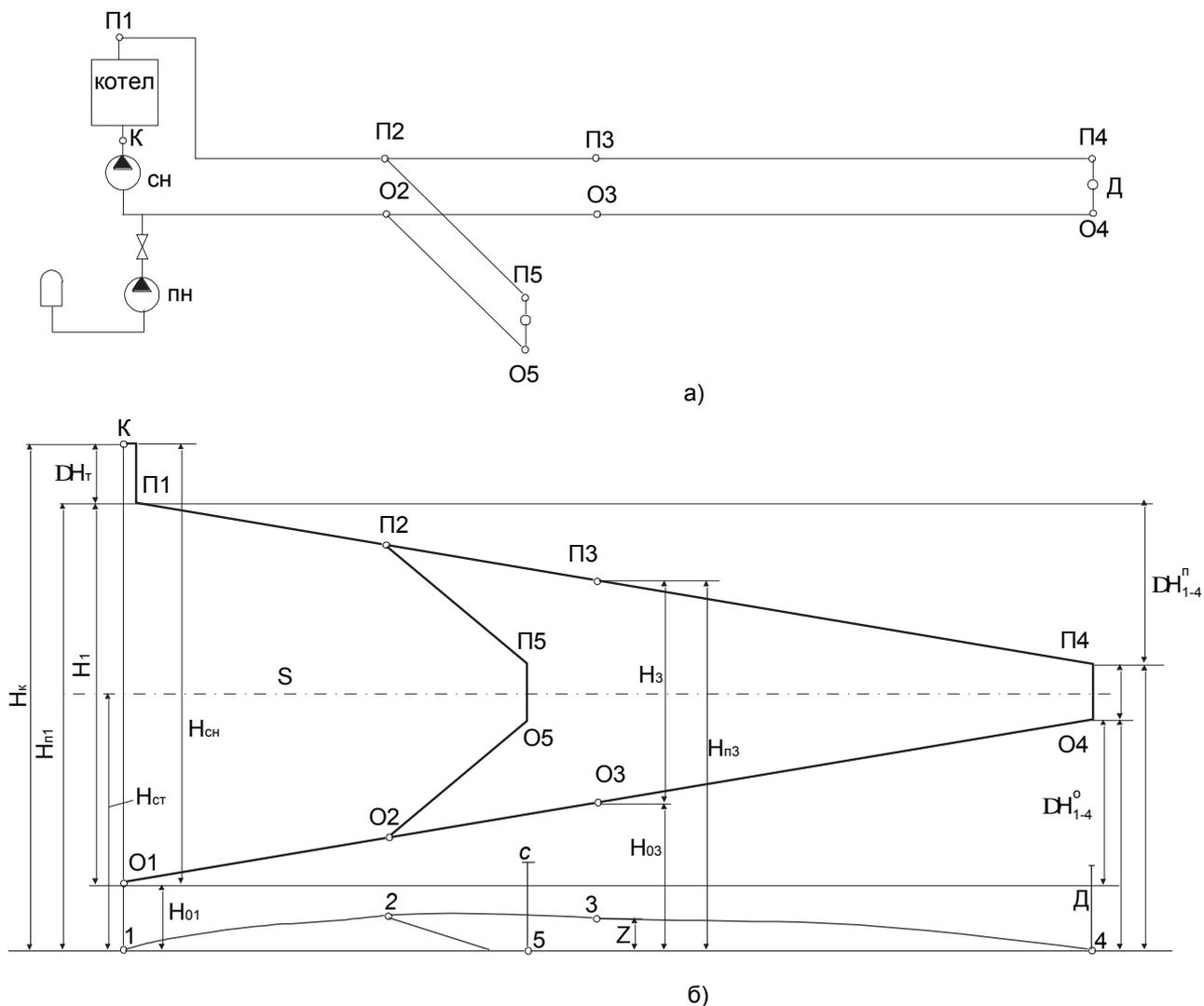


Рис.6.2. Схема (а) и пьезометрический график (б) двухтрубной тепловой сети

Потеря напора в подающей линии на участке 1 – 4 есть $\Delta H_{1-4}^n = H_{n1} - H_{n4}$. Потеря напора в обратной линии на участке 1 – 4 есть $\Delta H_{1-4}^o = H_{o4} - H_{o1}$. При работе сетевого насоса напор $H_{ст}$ подпиточного насоса регулируется регулятором давления до H_{o1} . При остановке сетевого насоса в сети устанавливается статический напор $H_{ст}$, развиваемый подпиточным насосом. При гидравлическом расчете паропровода можно не учитывать профиль паропровода из-за малой плотности пара. Потери напора у абонентов, например $\Delta H_5 = H_{n5} - H_{o5}$ зависит от схемы присоединения абонента. При элеваторном смешении $DH_{э} = 10...15$ м, при безэлеваторном вводе – $DH_{бэ} = 2...5$ м, при наличии поверхностных подогревателей $DH_{п} = 5...10$ м, при насосном смешении $DH_{нс} = 2...4$ м.

Требования к режиму давления в тепловой сети:

- в любой точке системы давление не должно превышать максимально допустимой величины. Трубопроводы системы теплоснабжения рассчитаны на 16 ата, трубопроводы местных систем – на давление 6-7 ата;
- во избежание подсосов воздуха в любой точке системы давление должно быть не менее 1.5 ата. Кроме того это условие необходимо для предупреждения кавитации насосов;
- в любой точке системы давление должно быть не меньше давления насыщения при данной температуре во избежание вскипания воды;

. Особенности гидравлического расчета паропроводов.

Диаметр паропровода рассчитывают исходя либо из допустимых потерь давления, либо из допустимой скорости пара. Предварительно задается плотность пара на расчетном участке.

- расчет по допустимым потерям давления.

Оценивают $R_{л} = \frac{P_n - P_k}{l(1 + \alpha)}$, $\alpha = 0.3 \dots 0.6$. По (6.9) рассчитывают диаметр трубы.

- задаются скоростью пара в трубе. Из уравнения для расхода пара – $G = w r F$ находят диаметр трубы.

По ГОСТу подбирается труба с ближайшим внутренним диаметром. Уточняются удельные линейные потери и виды местных сопротивлений, рассчитываются эквивалентные длины. Определяется давление на конце трубопровода. Рассчитываются потери тепла на расчетном участке по нормируемым потерям тепла.

$Q_{nom} = q_l l$, где q_l – потери тепла на единицу длины при заданной разности температур пара и окружающей среды с учетом потерь тепла на опорах, задвижках и т.п. Если q_l определено без учета потерь тепла на опорах, задвижках и т.п., то

$Q_{nom} = q_l (t_{cp} - t_o)(1 + b)$, где t_{cp} – средняя температура пара на участке, t_o – температура окружающей среды, зависящая от способа прокладки. При наземной прокладке $t_o = t_{но}$, при подземной бесканальной прокладке $t_o = t_{zp}$ (температура грунта на глубине укладки), при прокладке в проходных и полупроходных каналах $t_o = 40 \dots 50$ °С. При прокладке в непроходных каналах $t_o = 5$ °С. По найденным потерям тепла определяют изменение энтальпии пара на участке и значение энтальпии пара в конце участка.

$$D_{iуч} = Q_{nom} / D, \quad i_k = i_n - D_{iуч}.$$

По найденным значениям давления и энтальпии пара в начале и конце участка определяется новое значение средней плотности пара $r_{cp} = (r_n + r_k) / 2$. Если новое значение плотности отличается от ранее заданного более чем на 3 %, то поверочный расчет повторяют с уточнением одновременно и $R_{л}$.

а. Особенности расчета конденсатопроводов

При расчете конденсатопровода необходимо учитывать возможное парообразование при понижении давления ниже давления насыщения (вторичный пар), конденсацию пара за счет тепловых потерь и пролетный пар после конденсатоотводчиков. Количество пролетного пара определяется по характеристике конденсатоотводчика. Количество сконденсировавшегося пара определяется по потере тепла и теплоте парообразования. Количество вторичного пара определяется по средним параметрам на расчетном участке.

Если конденсат близок к состоянию насыщения, то расчет нужно вести как для паропровода. При транспорте переохлажденного конденсата расчет выполняется так же, как и для водяных сетей.

б. Режим давления в сети и выбор схемы абонентского ввода.

1. Для нормальной работы потребителей тепла напор в обратной линии должен быть достаточен для заполнения системы, $P_o > P_{Hмс}$.
2. Давление в обратной линии должно быть ниже допустимого, $P_o > P_{доп}$.
3. Действительный располагаемый напор на абонентском вводе должен быть не меньше расчетного, $P_{Наб} \geq P_{Hрасч}$.

- Напор в подающей линии должен быть достаточен для заполнения местной системы, $H_{п} - D_{Наб} > H_{мс}$.
- В статическом режиме, т.е. при выключении циркуляционных насосов, не должно быть опорожнения местной системы.
- Статическое давление не должно превышать допустимое.

Статическое давление это давление, которое устанавливается после отключения циркуляционных насосов. Уровень статического давления (напора) обязательно указывается на пьезометрическом графике. Величина этого давления (напора) устанавливается исходя из ограничения величины давления для отопительных приборов и не должна превышать 6 ати (60 м). При спокойном рельефе местности уровень статического давления может быть одним и тем же для всех потребителей. При больших колебания рельефа местности может быть два, но не более трех статических уровней.

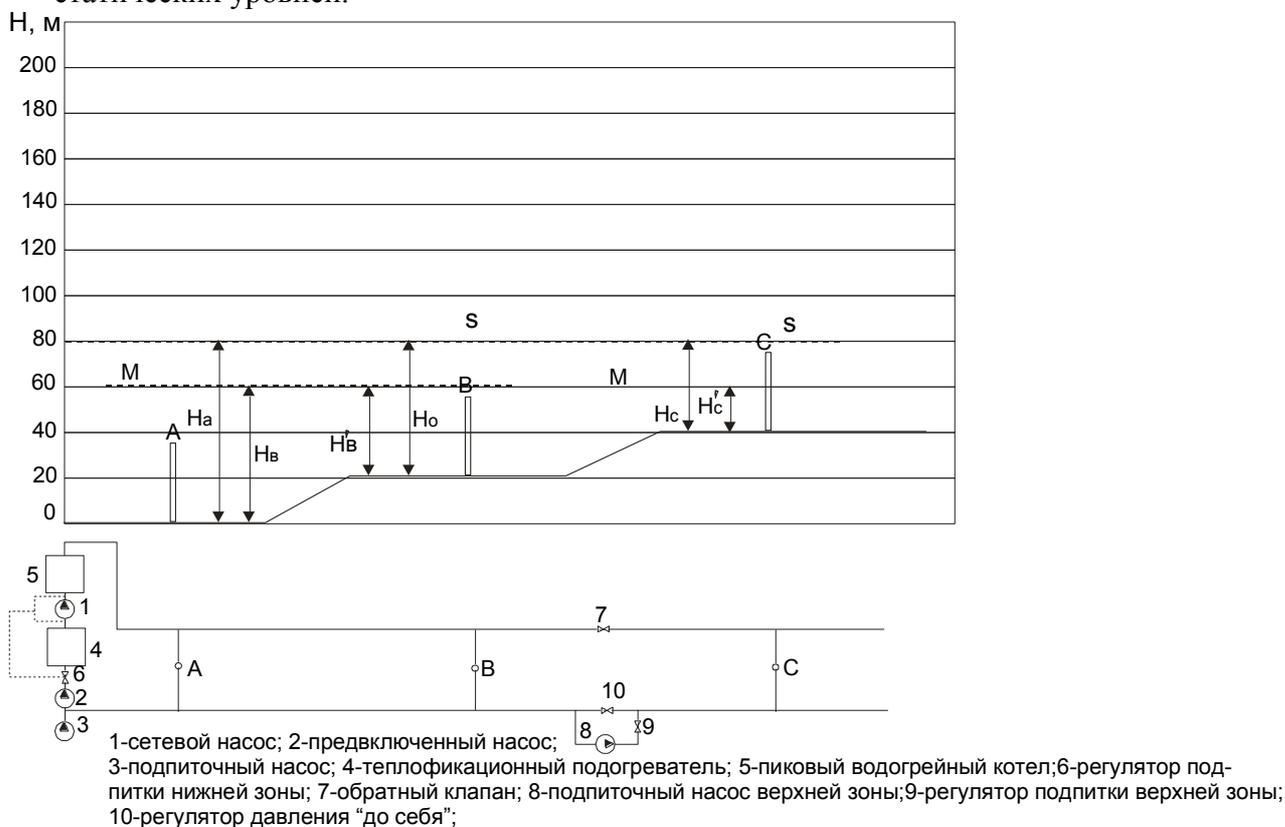


Рис.6.3. График статических напоров системы теплоснабжения

На рис.6.3 изображен график статических напоров и схема системы теплоснабжения. Высота зданий А, В и С одинакова и равна 35 м. Если провести линию статического напора на 5 метров выше здания С, то здания В и А окажутся в зоне напора в 60 и 80 м. Возможны следующие решения.

- Отопительные установки зданий А присоединяются по независимой схеме, а в зданиях В и С – по зависимой. В этом случае для всех зданий устанавливается общая статическая зона. Водо-водяные подогреватели будут находиться под напором в 80 м, что допустимо с точки зрения прочности. Линия статических напоров – S - S.
- Отопительные установки здания С присоединяются по независимой схеме. В этом случае полный статический напор можно выбрать по условиям прочности установок зданий А и В – 60 м. Этот уровень обозначен линией М – М.

9. Отопительные установки всех зданий присоединены по зависимой схеме, но зона теплоснабжения разделена на две части – одна на уровне М-М для зданий А и В, другая на уровне S-S для здания С. Для этого между зданиями В и С устанавливается обратный клапан 7 на прямой линии и подпиточный насос верхней зоны 8 и регулятор давления 10 на обратной линии. Поддержание заданного статического напора в зоне С осуществляется подпиточным насосом верхней зоны 8 и регулятором подпитки 9. Поддержание заданного статического напора в нижней зоне осуществляется насосом 2 и регулятором 6.

При гидродинамическом режиме работы сети вышеперечисленные требования тоже должны соблюдаться в любой точке сети при любой температуре воды.

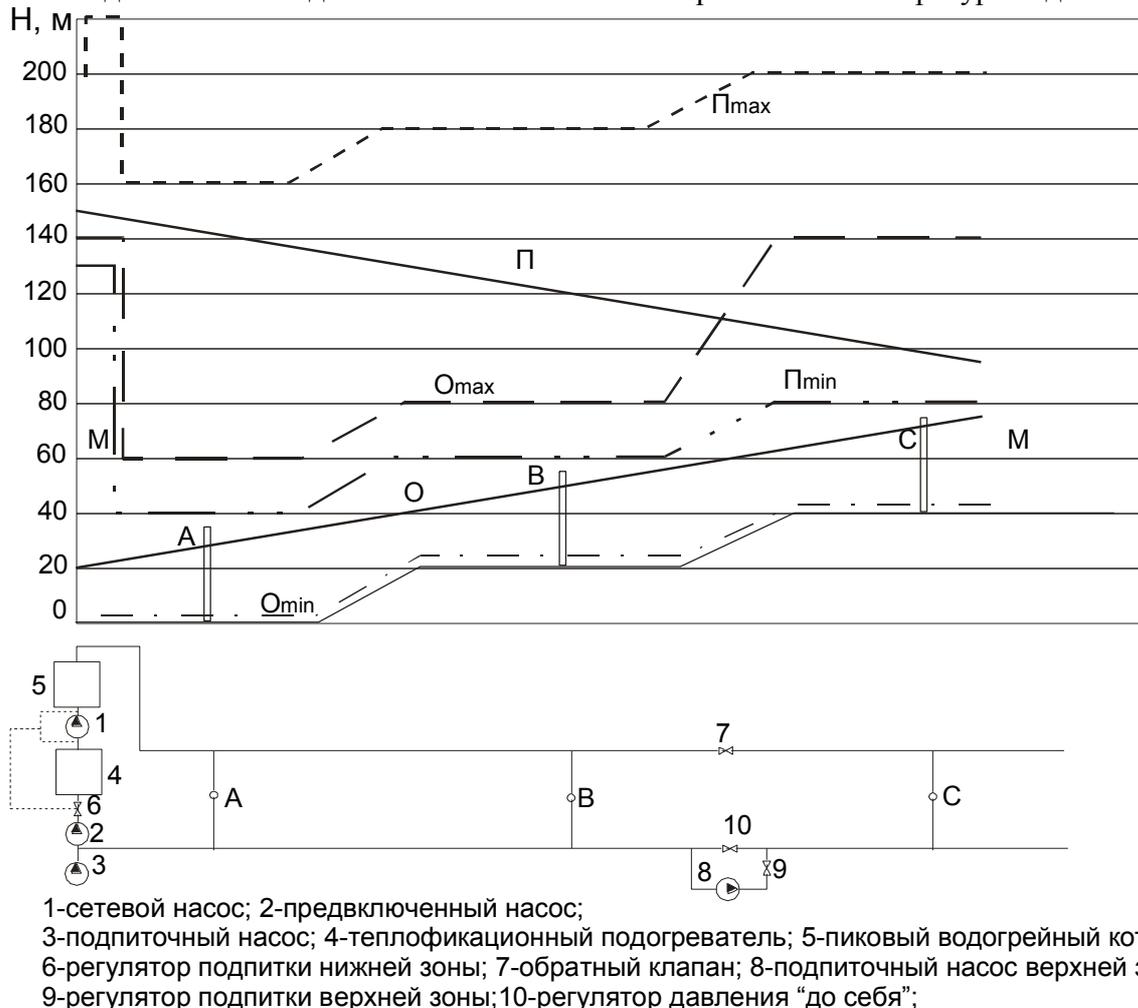


Рис.6.4. Построение графика гидродинамических напоров системы теплоснабжения

10. Построение линий максимальных и минимальных пьезометрических напоров. Линии допустимых напоров следуют за рельефом местности, т.к. принято, что трубопроводы прокладываются в соответствии с рельефом. Отсчет – от оси трубы. Если оборудование имеет существенные размеры по высоте, то минимальный напор отсчитывают от верхней точки, а максимальный – от нижней.

1.1. Линия P_{max} – линия максимально допустимых напоров в подающей линии. Для пиковых водогрейных котлов максимально допустимый напор отсчитывают от нижней точки котла (принимают, что она находится на уровне земли), а минимально допустимый напор – от верхнего коллектора котла. Допустимое давление для стальных водогрейных котлов 2.5 Мпа. С учетом потерь принято на выходе из котла $H_{max}=220$ м. Максимально допустимый напор в подающей линии ограничен прочностью трубопровода ($p_{max}=1.6$ Мпа). Поэтому на входе в подающую линию $H_{max}=160$ м.

а. Линия O_{max} – линия максимально допустимых напоров в обратной линии. По условию прочности водоводяных подогревателей максимальное давление не должно быть выше 1.2 Мпа. Поэтому максимальное значение напора равно 140 м. Величина напора для отопительных установок не может превышать 60 м.

Минимально допустимый пьезометрический напор определяют по температуре кипения, превышающую на 30°C расчетную температуру на выходе из котла.

б. Линия P_{min} – линия минимально допустимого напора в прямой линии. Минимально допустимый напор на выходе из котла определяется из условия нескипания в верхней точке – для температуры 180°C . Устанавливается 107 м. Из условия нескипания воды при температуре 150°C минимальный напор должен быть 40 м.

1.4. Линия O_{min} – линия минимально допустимого напора в обратной линии. Из условия недопустимости подсосов воздуха и кавитации насосов принят минимальный напор в 5 м.

Действительные линии напоров в прямой и обратной линиях ни при каких режимах не могут выходить за пределы линий максимальных и минимальных напоров.

Пьезометрический график дает полное представление о действующих напорах при статическом и гидродинамическом режимах. В соответствии с этой информацией выбирается тот или иной метод присоединения абонентов.

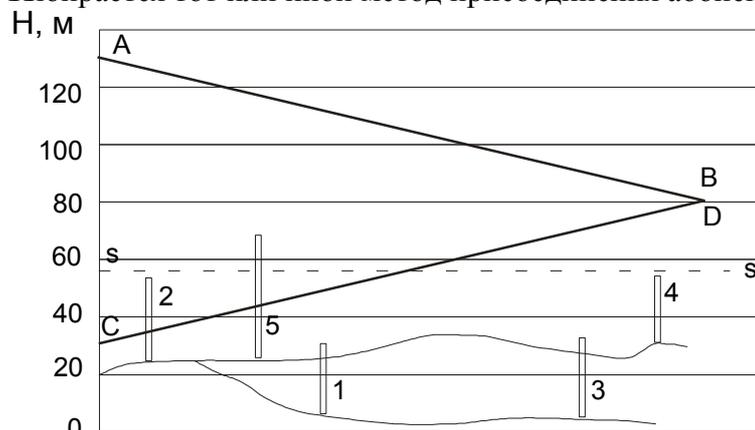


Рис.6.5. Пьезометрический график

Здание 1. Располагаемый напор больше 15 м, пьезометрический – меньше 60 м. Можно отопительную установку присоединить по зависимой схеме с элеваторным узлом.

Здание 2. В этом случае также можно применить зависимую схему, но т.к. напор в обратной линии меньше высоты здания в узле присоединения нужно установить регулятор давления "до себя". Перепад давления на регуляторе должен быть больше разницы между высотой установки и пьезометрическим напором в обратной линии.

Здание 3. Статический напор в этом месте больше 60 м. Лучше всего применить независимую схему.

Здание 4. Располагаемый напор в этом месте меньше 10 м. Поэтому элеватор работать не будет. Нужно устанавливать насос. Его напор должен быть равен потерям напора в системе.

Здание 5. Нужно использовать независимую схему – статический напор в этом месте больше 60 м.

6.8. Гидравлический режим тепловых сетей

Потери давления в сети пропорциональны квадрату расхода

$\Delta p = S V^2$. Пользуясь формулой для расчета потерь давления, найдем S .

$$S = A_R \frac{\rho(l+l_3)}{d^{5.25}}.$$

Потери напора в сети определяются как $\Delta H = S_H V^2$, где $S_H = A_R \frac{l+l_3}{gd^{5.25}}$.

При определении сопротивления всей сети действуют следующие правила.

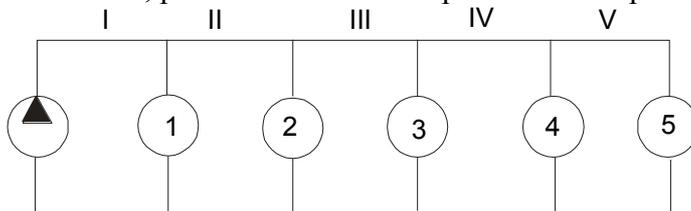
1. При последовательном соединении элементов сети суммируются их сопротивления S .

$$S_S = S_i.$$

11. При параллельном соединении элементов сети суммируются их проводимости.

$$a = \frac{1}{\sqrt{S}} = \frac{G}{\sqrt{\Delta p}}. \quad a_\Sigma = a_1 + a_2 + \dots + a_n.$$

Одна из задач гидравлического расчета ТС – определение расхода воды у каждого абонента и в сети в целом. Обычно известны: схема сети, сопротивление участков и абонентов, располагаемый напор на коллекторе ТЭЦ или котельной.



1-5 - абонентские установки с ответвлениями;

I-V - участки магистрали

Рис. 6.6. Схема тепловой сети

Обозначим $SI - SV$ – сопротивления участков магистрали; $S1 - S5$ – сопротивления абонентов вместе с ответвлениями; V – суммарный расход воды в сети, m^3/c ; V_m – расход воды через абонентскую установку m ; $SI-5$ – сопротивление элементов сети от участка I до ответвления 5; $SI-5 = SI + S1-5$, где $S1-5$ – суммарное сопротивление абонентов 1-5 с соответствующими ответвлениями.

Расход воды через установку 1 найдем из уравнения

$$S_1 V_1^2 = S_{1-5} V^2, \text{ отсюда } \bar{V}_1 = \frac{V_1}{V} = \sqrt{\frac{S_{1-5}}{1} \frac{1}{S_1}}.$$

Для абонентской установки 2

$$S_2 V_2^2 = S_{2-5} (V - V_1)^2. \text{ Разность расходов } V - V_1 \text{ найдем из уравнения}$$

$$S_{II-5} (V - V_1)^2 = S_{1-5} V^2, \text{ где } S_{II-5} = S_{II} + S_{2-5}. \text{ Отсюда}$$

$$\bar{V}_2 = \frac{V_2}{V} = \sqrt{\frac{S_{1-5}}{1} \frac{S_{2-5}}{S_{II-5}} \frac{1}{S_2}}.$$

Для установки 3 получим

$$\bar{V}_3 = \sqrt{\frac{S_{1-5}}{1} \frac{S_{2-5}}{S_{II-5}} \frac{S_{3-5}}{S_{III-5}} \frac{1}{S_3}}$$

S_{3-5} - сопротивление тепловой сети со всеми ответвлениями от абонента 3 до последнего абонента 5 включительно; $S_{III-5} = S_{III} + S_{3-5}$, S_{III} - сопротивление участка III магистрали.

Для некоторого m -го потребителя из n относительный расход воды находится по формуле

$$\bar{V}_m = \sqrt{\frac{S_{1-n} S_{2-n} S_{3-n} \dots S_{m-n}}{1 S_{II-n} S_{III-n} \dots S_{M-n}} \frac{1}{S_m}} .$$

По этой формуле можно найти расход воды через любую абонентскую установку, если известен суммарный расход в сети и сопротивления участков сети.

12. Относительный расход воды через абонентскую установку зависит от сопротивления сети и абонентских установок и не зависит от абсолютного значения расхода воды.

13. Если к сети присоединены n абонентов, то отношение расходов воды через установки d и m , где $d < m$, зависит только от сопротивления системы, начиная от узла d до конца сети, и не зависит от сопротивления сети до узла d .

Если на каком-либо участке сети изменится сопротивление, то у всех абонентов, расположенных между этим участком и концевой точкой сети, расход воды изменится пропорционально. В этой части сети достаточно определить степень изменения расхода только у одного абонента. При изменении сопротивления любого элемента сети изменится расход как в сети, так и у всех потребителей, что приводит к разрегулировке. Разрегулировки в сети бывают соответственные и пропорциональные. При соответственной разрегулировке совпадает знак изменения расходов. При пропорциональной разрегулировке совпадает степень изменения расходов.

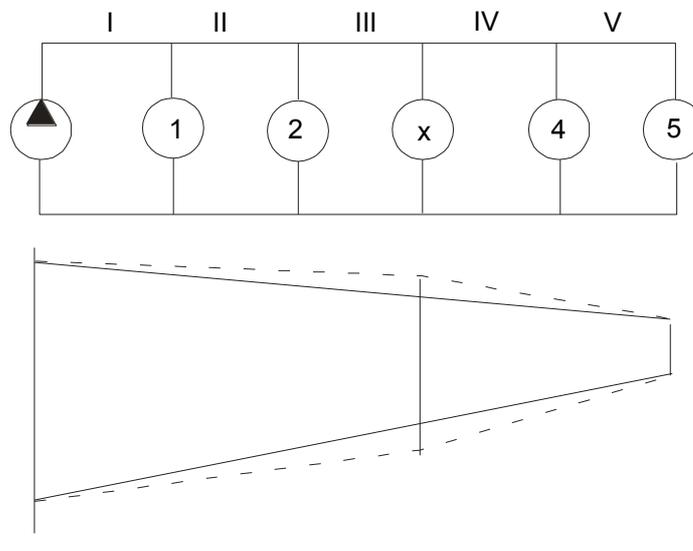


Рис. 6.7. Изменение напоров сети при отключении одного из потребителей

Если от тепловой сети отключится абонент X, то суммарное сопротивление сети увеличится (параллельное соединение). Расход воды в сети уменьшится, потери напора между станцией и абонентом X уменьшатся. Поэтому график напора (пунктир) пойдет выше. Располагаемый напор в точке X увеличится, поэтому расход в сети от абонента X до концевой точки сети увеличится. У всех абонентов от точки X до концевой точки степень изменения расхода будет одинакова – пропорциональная разрегулировка.

$$\varphi = \frac{V_{n \text{ о с л е } i d e m}}{V_{\partial o}}$$

У абонентов между станцией и точкой X степень изменения расхода будет разной. Минимальная степень изменения расхода будет у первого абонента непосредственно у станции – $f=1$. По мере удаления от станции $f > 1$ и увеличивается. Если на станции

изменится располагаемый напор, то суммарный расход воды в сети, а также расходы воды у всех абонентов изменятся пропорционально корню квадратному из располагаемого напора на станции.

6.9. Сопротивление сети.

Суммарная проводимость сети

$$\frac{1}{\sqrt{S_{1-n}}} = \frac{1}{\sqrt{S_I}} + \frac{1}{\sqrt{S_{II-n}}}, \text{ отсюда}$$

$$S_{1-n} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_{II-n}}}\right)^2} = S_1 \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{S_1}{S_{II-n}}}\right)^2}.$$

По аналогии

$$S_{2-n} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{S_2}} + \frac{1}{\sqrt{S_{III-n}}}\right)^2} = S_2 \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{S_2}{S_{III-n}}}\right)^2} \text{ и}$$

$$S_{m-n} = S_m \frac{1}{\left(1 + \sqrt{\frac{S_m}{S_N + S_n}}\right)^2}. \text{ Расчет сопротивления сети ведется от наиболее}$$

удаленного абонента.

а. Включение насосных подстанций.

Насосные подстанции могут устанавливаться на подающем, обратном трубопроводах,

а также на перемычке между ними. Сооружение подстанций вызывается неблагоприятным рельефом, большой дальностью передачи, необходимостью увеличения пропускной способностью и т.д.

а). Установка насоса на подающей или обратной линиях.

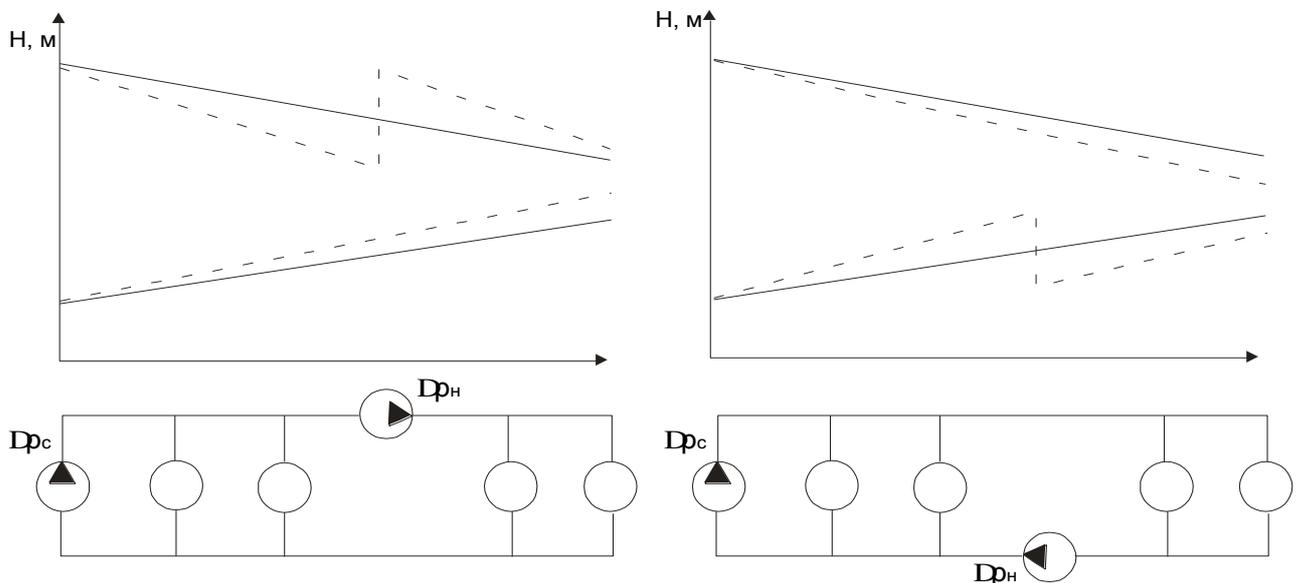


Рис.6.8. Установка насоса на подающей или последовательной линиях (последовательная работа)

При установке насосной подстанции (НП) на подающей или обратной линиях расходы воды у потребителей, расположенных между станцией и НП уменьшаются, а у потребителей после НП – возрастают. В расчетах насос учитывается как некоторое гидравлическое сопротивление. Расчет гидравлического режима сети с НП ведут методом последовательных приближений.

- Задаются отрицательным значением гидравлического сопротивления насоса

$$S_n = -\frac{\Delta p_n}{V_n^2} \quad (*)$$

- Рассчитывают сопротивление в сети, расходы воды в сети и у потребителей

- Уточняются расход воды и напор насоса и его сопротивление по (*).

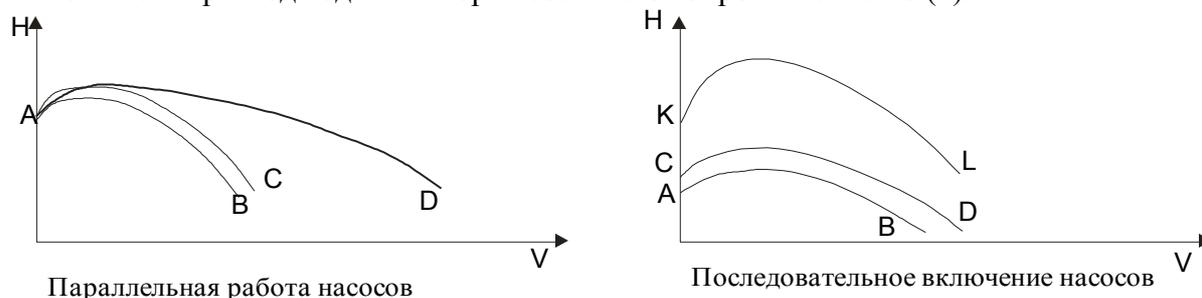
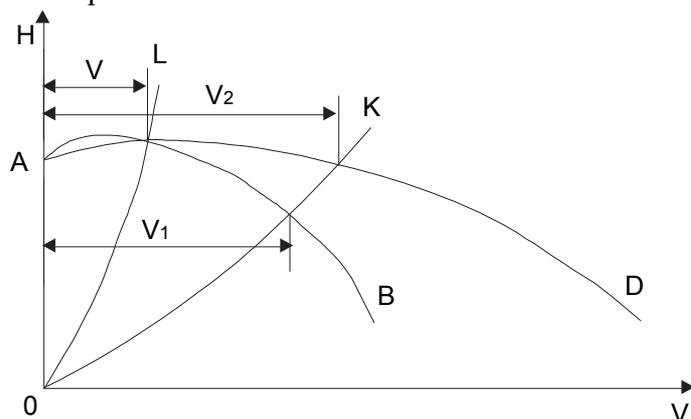


Рис.6.10. Суммарные характеристики последовательно и параллельно включенных насосов

При параллельном включении насосов суммарная характеристика получается путем суммирования абсцисс характеристик. При последовательном включении насосов суммарная характеристика получается суммированием ординат характеристик. Степень изменения подачи при параллельном включении насосов зависит от вида характеристики сети. Чем меньше сопротивление сети, тем эффективнее параллельное включение и наоборот.



AB – характеристика одного насоса; AD – суммарная характеристика двух насосов. Если характеристика сети OK, то при работе одного насоса в сеть подается расход воды V_1 , а при работе двух насосов – V_2 . То есть, два насоса подают воды больше, чем один. Если характеристика сети имеет вид OL, то подача воды остается одной и той же при работе и одного насоса, и двух.

Рис.6.11. Параллельное включение насосов

При последовательном включении насосов суммарная подача воды всегда больше, чем подача воды каждым из насосов в отдельности. Чем больше сопротивление сети, тем эффективнее последовательное включение насосов.

б). Установка насоса на перемычке между подающей и обратной линиях.

При установке насоса на перемычке температурный режим до и после НП неодинаков.

Для построения суммарной характеристики двух насосов предварительно характеристику насоса А переносят в узел 2, где установлен насос Б (см.рис.6.12). На приведенной характеристике насоса А2 - 2 напора при любом расходе равны разности действительного напора этого насоса и потери напора в сети С для этого же расхода.

$H_{A2} = H_{A1} - \Delta H_c$. После приведения характеристик насосов А и Б к одному и тому же общему узлу они складываются по правилу сложения параллельно работающих насосов. При работе одного насоса Б напор в узле 2 равен H'_B , расход воды V'_B . При подключении второго насоса А напор в узле 2 возрастает до $H > H'_B$, а суммарный расход воды увеличивается до $V > V'_B$. Однако непосредственная подача насоса Б при этом уменьшается до $V''_B < V'_B$.

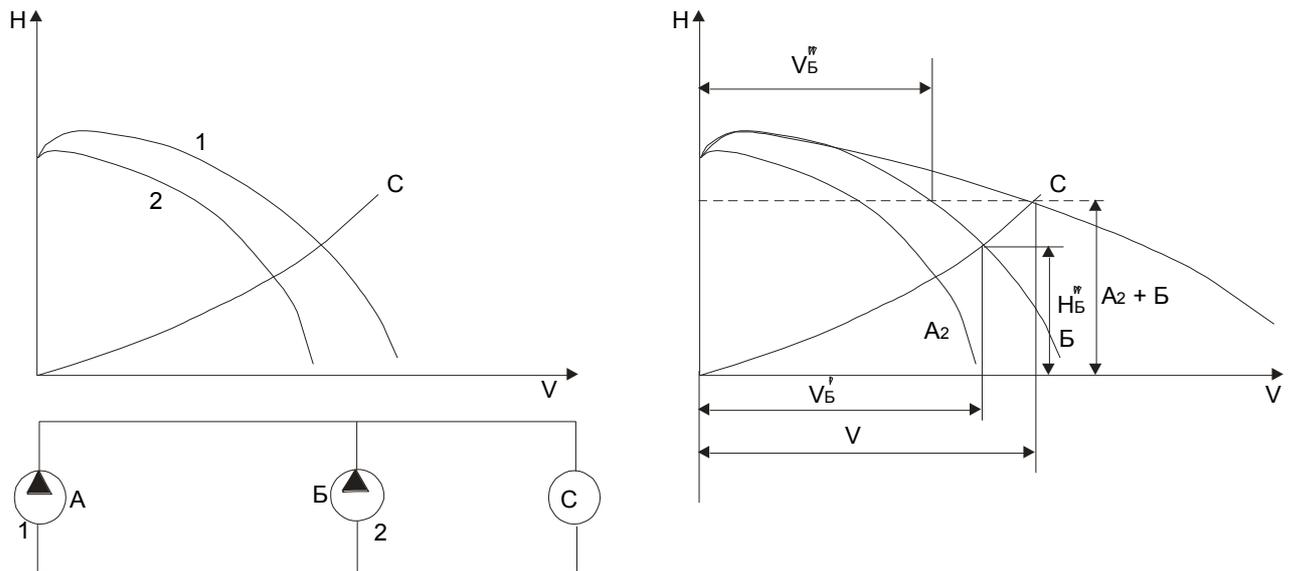


Рис.6.12. Построение гидравлической характеристики системы с двумя насосами в разных узлах

а. Работа сети с двумя источниками питания

Если ТС питается от нескольких источников тепла, то в магистральных линиях возникают точки встречи потоков воды от разных источников. Положение этих точек зависит от сопротивления ТС, распределения нагрузки вдоль магистрали, располагаемых напоров на коллекторах ТЭЦ. Суммарный расход воды в таких сетях, как правило, задан.

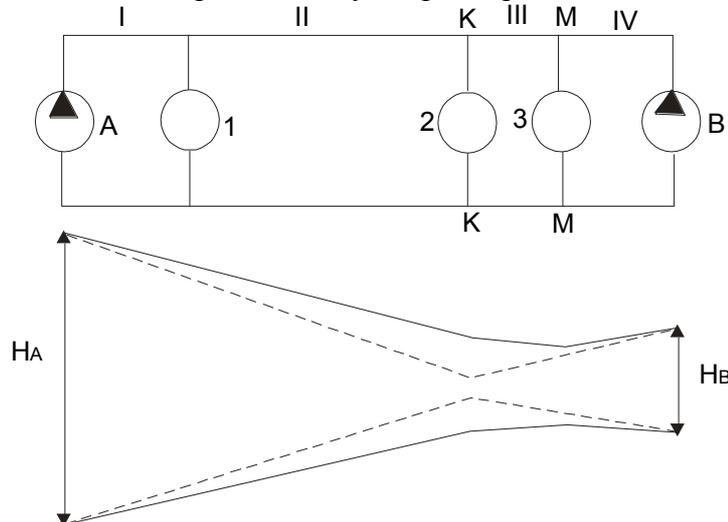


Рис.6.13. Схема ТС, питаемой от двух источников

Точка водораздела находится следующим образом. Задаются произвольными значениями расхода воды на участках магистрали исходя их 1-го закона Кирхгофа. Определяют невязки напора на основе 2-го закона Кирхгофа. Если при предварительно выбранном распределении расхода водораздел выбран в т.К, то второе уравнение Кирхгофа запишется в виде

$$S_I V_I^2 + S_{II} V_{II}^2 - S_{III} V_{III}^2 - S_{IV} V_{IV}^2 - \Delta H \rho g = \Delta p, \quad \Delta H = H_A - H_B.$$

По 2-му закону Кирхгофа определяется невязка потерь давления Dp . Чтобы сделать невязку давления равной нулю, нужно ввести в расчет поправку расхода – увязочный расход. Для этого в уравнении полагают $Dp=0$ и вместо V вводят $V+dV$ или $V-dV$. Получим

$$\delta V = \frac{\Delta p}{2 \sum_{i=1}^N S_i V_i}. \quad \text{Знак } Dp \text{ равен знаку } dV. \quad \text{Далее уточняется распределение}$$

расхода на участках сети. Для поиска точки водораздела проверяются два расположенных рядом потребителя.

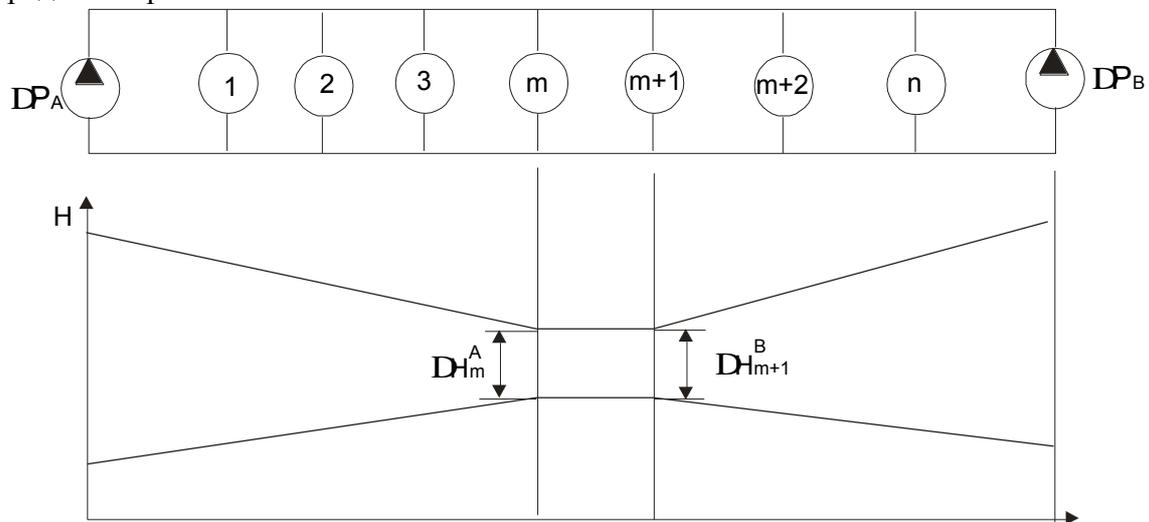


Рис.6.14. Определение положения точки водораздела

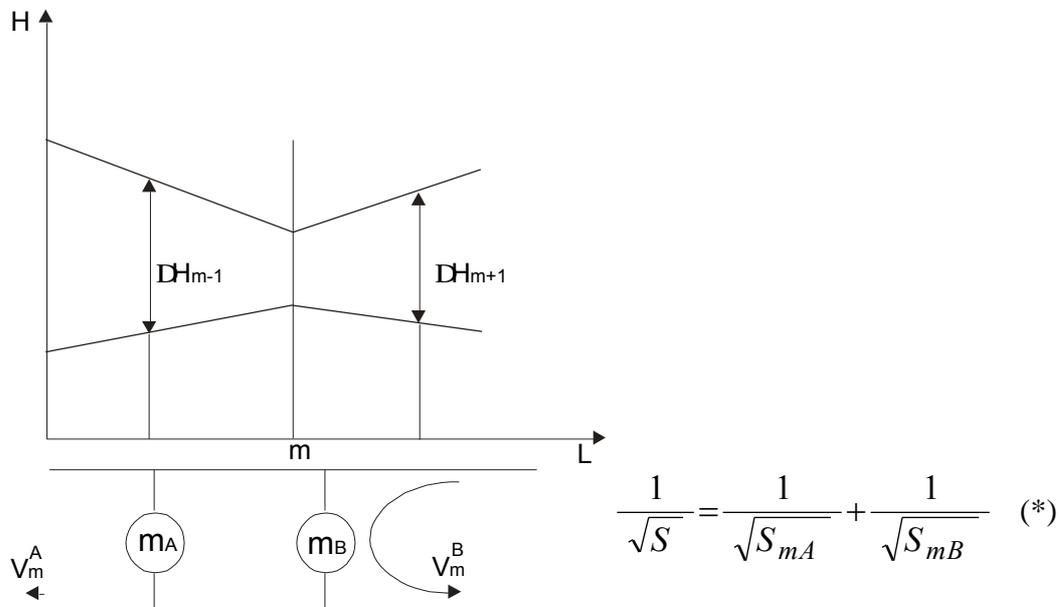
а). Точка водораздела находится между потребителями m и $m+1$. В этом случае $\Delta P_m^A = \Delta P_{m+1}^B$. Здесь ΔP_m^A - перепад давления у потребителя m при питании от станции А. ΔP_{m+1}^B - перепад давления у потребителя $m+1$ при питании от станции В.

Пусть точка водораздела находится между потребителями 1 и 2. Тогда

$$\Delta P_1^A = \Delta P_A \frac{S_1}{S_I + S_1}; \quad \Delta P_2^B = \Delta P_B \frac{S_{n-2}}{S_{N+1-2}} \frac{S_{n-1,2}}{S_{N,2}} \dots \frac{S_2}{S_{II}}. \quad \text{Если эти два перепада}$$

давления равны, то точка водораздела находится между потребителями 1 и 2. Если нет, то проверяется следующая пара потребителей, и т.д. Если ни для одной пары потребителей не обнаружено равенство располагаемых напоров, это означает, что точка водораздела находится у одного из потребителей.

б). Точка водораздела находится у потребителя m , у которого $\Delta P_{m-1}^A > \Delta P_m^B$, $\Delta P_m^A < \Delta P_{m+1}^B$.



Расчет ведется в следующем порядке.

1. Задаются одним из сопротивлений S_{mA} или S_{mB} .
2. По уравнению (*) рассчитывают второе.
3. Рассчитывают сопротивление сети и расходы воды, питаемой от станций А и В.
4. Рассчитывают расходы воды у потребителя - V_m^A и V_m^B .
5. Проверяется выполнение условия

$$\Delta P_{mA}^A = \Delta P_{mB}^B, \quad S_{mA} (V_m^A)^2 = S_{mB} (V_m^B)^2.$$

а. Кольцевая сеть.

Кольцевую сеть можно рассматривать как сеть с двумя источниками питания с равными напорами сетевых насосов. Положение точки водораздела в подающей и обратной магистралях совпадает, если сопротивления подающей и обратной линий одинаковы и нет подкачивающих насосов. В противном случае положения точки водораздела в подающей и обратной линиях нужно определять отдельно. Установка подкачивающего насоса приводит к смещению точки водораздела только в той линии, на которой он установлен.

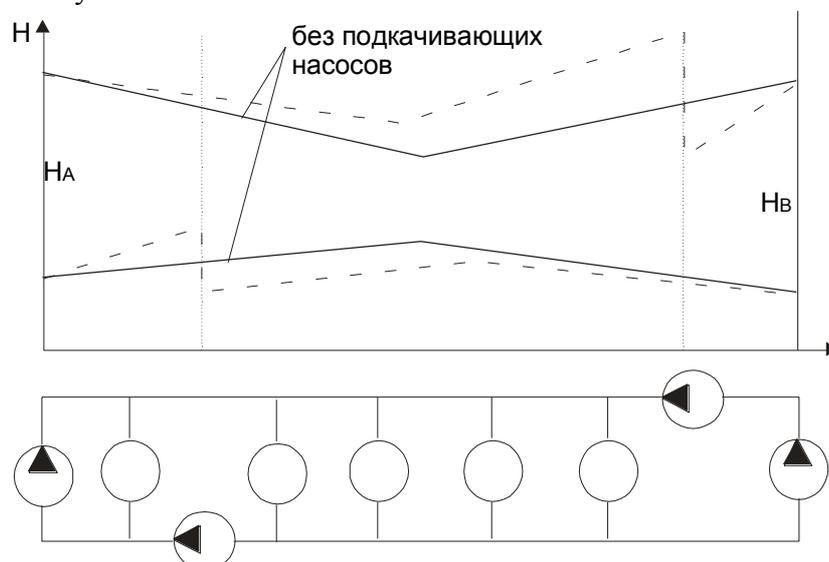
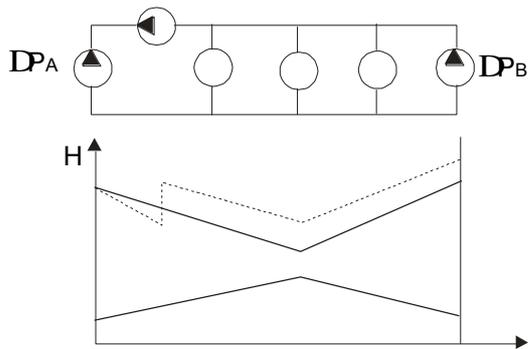


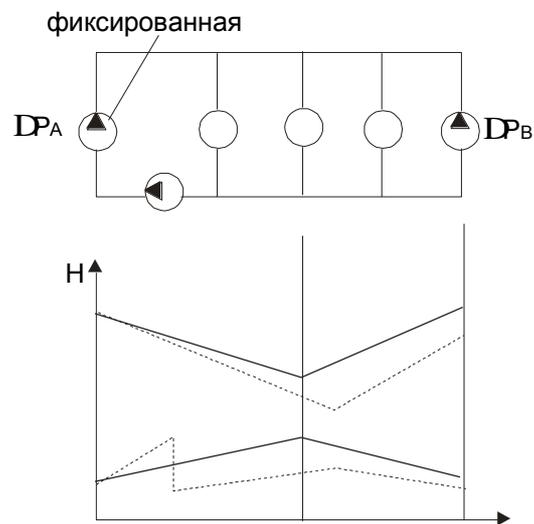
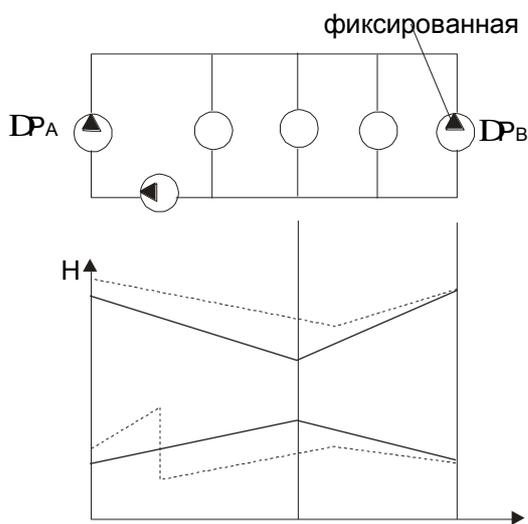
Рис.6.15. График напоров в кольцевой сети

В этом случае $H_A = H_B$.

б. Включение насосных подстанций в сети с двумя источниками питания



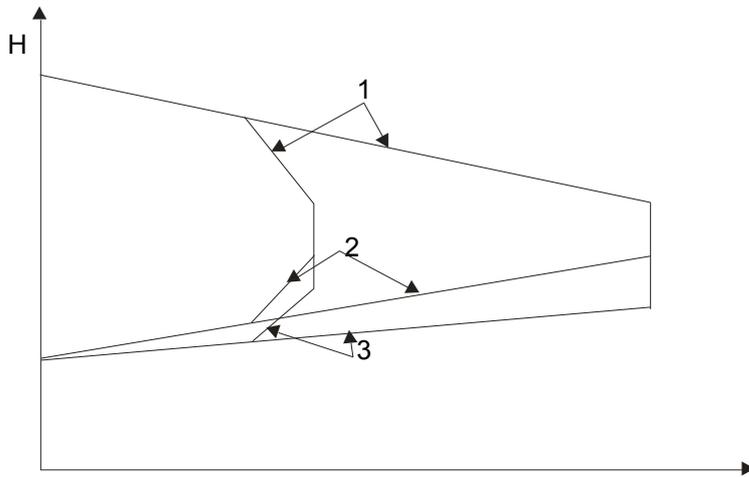
При установке подкачивающих насосов на подающей или обратной линии положение точки водораздела смещается в направлении подкачивающего насоса (по подающей линии). Новое положение точки водораздела может быть определено так же, как и ранее, принимая напор на станции равным $\Delta P_A + \Delta P_{пн}$



Для стабилизации режима давления при наличии подкачивающего насоса на одной из станций напор на входном коллекторе поддерживается постоянным. Эту станцию называют фиксированной, другие станции – свободными. При установке подкачивающего насоса напор во входном коллекторе свободной станции меняется на величину $\pm \Delta H_{пн} / 2$.

а. Гидравлический режим открытых систем теплоснабжения

Основная особенность гидравлического режима открытых систем теплоснабжения заключается в том, что при наличии водоразбора расход воды в обратной линии меньше, чем в подающей. Практически эта разность равна водоразбору.



1 - подающая линия; 2 - обратная линия при отсутствии водоразбора; 3 - обратная линия при наличии водоразбора

Рис.6.18. Пьезометрический график открытой системы

Пьезометрический график подающей линии остается постоянным при любом водоразборе из обратной линии, так как расход в подающей линии поддерживается постоянным с помощью регуляторов расхода на абонентских вводах. С увеличением водоразбора уменьшается расход в обратной линии и пьезометрический график обратной линии становится более пологим. Когда водоразбор равен расходу в подающей линии, расход в обратной равен нулю и пьезометрический график обратной линии становится горизонтальным. При одинаковых диаметрах прямой и обратной линий и отсутствии водоразбора графики напора в прямой и обратной линиях симметричны. При отсутствии водоразбора на ГВС расход воды равен расчетному расходу на отопление – V_o – в прямом и обратном трубопроводах. При водоразборе полностью из прямой линии расход воды в обратной линии равен расходу на отопление, а в подающей линии – сумме расходов на отопление и ГВС. При этом снижается располагаемый напор на системе отопления и расход воды V_o меньше расчетного. При водоразборе только из обратной линии располагаемый напор на систему отопления выше расчетного. Потери давления складываются из потерь давления в подающей линии, системе отопления и обратной линии.

$$\Delta P_c = \Delta P_n + \Delta P_o + \Delta P_{o\delta}, \text{ где}$$

При отсутствии нагрузки ГВС

$$\Delta P_c = S_n (V_o^p)^2 + S_o (V_o^p)^2 + S_{o\delta} (V_o^p)^2 = (S_n + S_o + S_{o\delta}) (V_o^p)^2 \quad (*)$$

При наличии водоразбора на ГВС

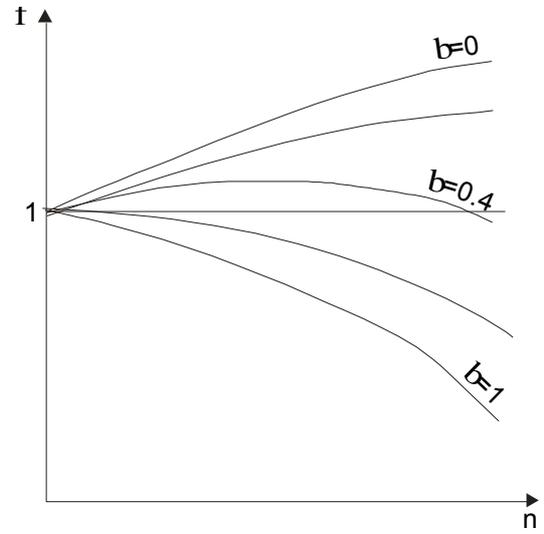
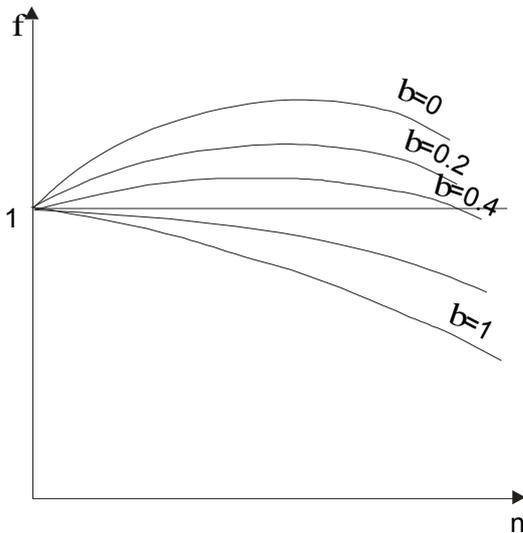
$$\Delta P_c = S_n (V_o + \beta V_{2\text{вс}})^2 + S_o V_o^2 + S_{o\delta} [V_o - (1 - \beta) V_{2\text{вс}}]^2 \quad (**)$$

Делим (**) на (*). Обозначим

$$\alpha = \frac{\Delta P_c}{\Delta P_c^p}; \quad \bar{S}_i = \frac{S_i}{S_n + S_o + S_{o\delta}}; \quad \varphi = \frac{V_o}{V_o^p}; \quad n = \frac{V_{2\text{вс}}}{V_o^p}.$$

$$\alpha = \bar{S}_n (\varphi + \beta n)^2 + \bar{S}_o \varphi^2 + \bar{S}_{o\delta} [\varphi - (1 - \beta) n]^2 \quad (***)$$

Из уравнения (***) можно найти f .



$$\bar{S}_{o1} > \bar{S}_{o2}$$

1. При разборе воды на ГВС из подающей линии расход через систему отопления падает. При разборе из обратной линии – растет. При $b=0.4$ расход воды через систему отопления равен расчетному.
2. Степень изменения расхода воды через систему отопления – n - тем выше, чем выше нагрузка ГВС.
3. Степень изменения расхода воды через систему отопления тем больше, чем меньше сопротивление системы.

Увеличение водоразбора на ГВС может привести к ситуации, когда вся вода после системы отопления будет поступать на водоразбор ГВС. При этом расход воды в обратном трубопроводе будет равен нулю.

$$\Delta P_{o\delta} = 0. \text{ Из (***)}: \quad \bar{S}_{o\delta} \left[\varphi - (1-\beta)n_{кр}^{o\delta} \right]^2 = 0, \text{ откуда } \varphi = (1-\beta)n_{кр}^{o\delta} \quad \text{(***)}$$

Подставим (***) в (***) и найдем $n_{кр}^{o\delta}$.

$$n_{кр}^{o\delta} = \sqrt{\frac{\alpha}{\bar{S}_n + \bar{S}_o(1-\beta)^2}}.$$

При $n > n_{кр}^{o\delta}$ вода на ГВС начинает поступать из обратной линии и после системы отопления. При этом давление в системе отопления падает и при некотором значении нагрузки ГВС избыточное давление станет равным 0. В этом случае вода в систему отопления поступать не будет, а на ГВС вода будет поступать из подающей и обратной линий. Это – критический режим для системы отопления – $f=0$. Из (***):

$$\alpha = \bar{S}_n \left(\beta n_{кр}^{om} \right)^2 - \bar{S}_o \alpha (1-\beta)^2 \left(n_{кр}^{om} \right)^2. \text{ Знак "-" означает, что направление движения в обратной линии изменилось на противоположное. Отсюда найдем}$$

$$n_{кр}^{om} = \sqrt{\frac{\alpha}{\bar{S}_n \beta^2 - \bar{S}_o \alpha (1-\beta)^2}}.$$

Условие выравнивания режима - $\bar{S}_n \beta^2 > \bar{S}_o \alpha (1-\beta)^2$. Для поддержания V_o на расчетном уровне целесообразно работать с переменным напором сетевых насосов на станции.

9. Общая характеристика теплоизоляционных материалов и изделий

Теплоизоляционные конструкции тепловых сетей предназначены для поддержания заданной температуры теплоносителя, сокращения тепловых потерь трубопроводов и оборудования, а также для снижения температуры их наружных поверхностей, что имеет значение при размещении в помещениях, предназначенных для постоянного или временного пребывания людей. В таких помещениях во избежание ухудшения санитарно-гигиенических условий (опасность ожогов) в нормах оговаривается максимальная температура этих поверхностей, которая составляет 45 °С для трубопроводов и оборудования, размещенных в жилых, общественных и производственных зданиях (при температуре воздуха в них не выше 25 °С), и 60 °С для трубопроводов, проложенных в туннелях, коллекторах, а также в доступных для обслуживания местах при наземной прокладке тепловых сетей.

Для изготовления теплоизоляционных конструкций используются специальные теплоизоляционные материалы, характерной особенностью которых являются низкие значения теплопроводности в интервале температур, соответствующем условиям работы конструкции. Чем ниже эти значения, тем при прочих равных условиях меньше тепловые потери и соответствующее снижение температур теплоносителя.

Согласно ГОСТ 16381-77 теплоизоляционные материалы в зависимости от теплопроводности подразделяются на три группы: низкой теплопроводности не более 0,06 Вт/(м·К) при средней температуре материала в конструкции 25 °С и не более 0,08 Вт/(м·К) при 125 °С; средней теплопроводности 0,06-0,115 Вт/(м·К) при 25 °С и 0,08-0,14 Вт/(м·К) при 125 °С; повышенной теплопроводности 0,115 — 0,175 Вт/(м·К) при 25 °С и 0,14-0,21 Вт/(м·К) при 125 °С. Следует учитывать, что из таких теплоизоляционных материалов выполняется только основной слой теплоизоляционной конструкции. Помимо него в эту конструкцию обычно входят другие слои (покровный, гидроизоляционный), а также используются различные вспомогательные материалы (армирующие, крепежные, окрасочные), теплопроводность которых не ограничивается.

По нормам для тепловых сетей с максимальной температурой теплоносителя до 150 °С основной слой теплоизоляционных конструкций должен выполняться из материалов с теплопроводностью не более 0,14 Вт/(м·К) при средней температуре слоя 100 °С, т. е. только из мало- и среднетеплопроводных материалов. Это ограничение, однако, не распространяется на подземную бесканальную прокладку тепловых сетей.

Важным свойством теплоизоляционных материалов является их температуроустойчивость — способность сохранять свою структуру и физические свойства при температурах, соответствующих условиям их длительной эксплуатации. Материалы с малой температуроустойчивостью пригодны при температурах изолируемых поверхностей не выше 50 °С. Если эти температуры не

превышают 300 °С, то для их теплоизоляции могут применяться материалы, характеризующиеся повышенной температуростойкостью, а при температурах выше 300 °С — только материалы с высокой температуростойкостью. Для тепловых сетей с температурами теплоносителя не выше 200 °С достаточно использование материалов с повышенной температуростойкостью, но по технико-экономическим соображениям вместо них иногда применяются материалы с высокой температуростойкостью, если они обладают низкой теплопроводностью при умеренной стоимости.

Для обеспечения длительной и надежной работы теплоизоляции, а также защиты изолируемых объектов, выполняемых из подверженных коррозии материалов (как правило, из обычной углеродистой стали), необходимо соблюдение дополнительных требований к теплоизоляционным материалам: они не должны загораться при максимальных температурах теплоносителя, а также выделять при нагревании до этих температур вредные или способствующие коррозии вещества (агрессивные газы, кислоты, крепкие щелочи, серу и т. д.). Изоляционные материалы не должны быть также подвержены гниению и разрушению микроорганизмами, грибами и г. п. Применение не удовлетворяющих этим требованиям материалов в тепловых сетях запрещено нормами и правилами.

Низкая теплопроводность теплоизоляционных материалов в основном связана с их структурой и прежде всего со значительной пористостью. Для таких материалов характерны большие значения пористости, определяемой как отношение объема части материала, занимаемого пораами, ко всему его объему.

Разнообразные теплоизоляционные материалы, применяемые в изоляционных конструкциях тепловых сетей, могут быть классифицированы прежде всего исходя из характеристики сырья, используемого для изготовления таких материалов. По этому признаку различаются материалы из неорганического и органического сырья. В качестве исходного сырья для изготовления органических изоляционных материалов используются торф (в особенности фрезерный), древесина хвойных пород, кора пробкового дуба, камыш, солома и т. п.

Основным ограничением в использовании органического сырья для производства теплоизоляционных материалов является его малая температуростойкость (как правило, не выше 100 °С). Кроме того, органические теплоизоляционные материалы легко загораются, подвержены гниению, плесневению и поражению насекомыми и грызунами.

Традиционным видом неорганического сырья для изготовления теплоизоляционных материалов являются минералы, обладающие высокой температуростойкостью в сочетании с волокнистой (различные виды асбеста), волокнисто-чешуйчатой (слюда и ее разновидности, например вермикулит) или микропористой (диатомит, трепел) структурой. Из этих видов сырья при термической обработке (обжиге, иногда сопровождаемом вспучиванием) и распушке или дроблении (помоле) могут быть получены сыпучие или волокнистые материалы, применяемые в виде засыпок или для изготовления изделий.

Использование других видов неорганического сырья для получения высококачественных теплоизоляционных материалов связано с технологией их изготовления из

расплава различных изверженных горных пород (граниты, базальты, диабазы, пемза и т. д.) или стеклянной шихты, а также из металлургических шлаков.

Полученный таким способом материал в зависимости от исходного сырья называется минеральной ватой (ГОСТ 4640-84), в частности базальтовой (ТУ 21 РСФСР 669-75), а также стеклянной ватой (например, по ТУ 21 РСФСР 224-75). Особенностью таких сортов ваты является их большая сжимаемость даже при малых нагрузках, приводящая к увеличению их плотности и соответственно теплопроводности. Поэтому основным способом использования минеральной и стеклянной ваты для теплоизоляции является изготовление на ее основе с некоторыми связующими добавками штучных изоляционных изделий различной конфигурации.

Перспективными являются также теплоизоляционные материалы и изделия, получаемые из синтетических полимерных материалов (полистирола, поливинилхлорида, полиуретана) с искусственно создаваемой пористостью за счет введения в жидкую массу порообразующих веществ. Такие теплоизоляционные материалы называются пенопластами (иногда поропластами). Для изготовления пенопластов, выдерживающих температуры до 120—150 °С, а потому пригодных в качестве теплоизоляции для тепловых сетей, применяются в основном фенолформальдегидные смолы.

Ассортимент выпускаемых промышленностью штучных теплоизоляционных изделий разнообразен как по материалам, используемым при их изготовлении, так и по форме изделий и их механическим свойствам. Различают жесткие, полужесткие и мягкие изделия, характеризующиеся их сжимаемостью под действием стандартной удельной нагрузки на поверхность изделий, равной 2 кПа. Изделия, показывающие под такой нагрузкой сжимаемость менее 6 %, относятся к жестким, а свыше 30% — к мягким. При промежуточных значениях сжимаемости (от 6 до 30 %) изделия называются полужесткими.

Форма жестких изделий должна соответствовать форме изолируемой поверхности, что особенно существенно при теплоизоляции трубопроводов малых диаметров (от 25 до 150-250 мм).

Наиболее удобной формой жестких изделий в таких случаях являются полые цилиндры с продольным разрезом или полуцилиндры с внутренним диаметром, на 4—10 мм превышающим наружный диаметр изолируемого трубопровода, и толщиной, примерно соответствующей заданной толщине основного изоляционного слоя, — обычно от 40 до 100 мм с интервалом 10 мм (иногда до 30 мм). Длина таких изделий составляет 250, 500 и 1000 мм, изредка 1500 мм. При наружном диаметре изолируемых труб более 150 — 250 мм вместо громоздких полых цилиндров или полуцилиндров изготавливаются более мелкие штучные изделия в виде сегментов (обычно 3—4, а иногда 6 — 8 шт. по окружности трубы).

Максимальный внутренний диаметр таких сегментов соответствует наружному диаметру изолируемых труб обычно до 420—470 мм, иногда до 1000 мм.

Для изоляции трубопроводов больших диаметров применяются сегменты, нарезанные из плит, предназначенных в основном для изоляции плоских и слабо искривленных поверхностей оборудования. Плиты изготавливаются шириной от 170 до 500 мм, иногда до 1000 мм, длиной от 250 до 1000 мм и толщиной 30 — 125 мм.

Для изготовления жестких штучных изделий из неорганического сырья используются смеси из различных порошкообразных материалов с распушенным асбестом, выполняющим функции армирующего каркаса для повышения прочности и жесткости изделий. Такие жесткие штучные изделия (совелитовые, вулканитовые, известково-кремнеземистые) могут применяться до температур 500- 600 °С.

Штучные изоляционные изделия изготавливаются также на основе минеральной ваты с добавлением связующих веществ. В этом случае в зависимости от вида и содержания этих веществ, а также от исходной плотности минеральной ваты помимо жестких могут быть получены полужесткие и мягкие штучные изделия.

Высокая температуроустойчивость штучных минераловатных изделий достигается за счет применения синтетического связующего в количестве 1,5 — 8% по массе.

Минераловатные плиты (по ГОСТ 9573-82) пригодны при температурах до 400 °С и изготавливаются жесткими, полужесткими и мягкими. Кроме мягких плит с теми же показателями плотности и теплопроводности выпускаются минераловатные маты (по ГОСТ 21880-76) в рулонах длиной 2—4 м, обычно с прошивкой проволокой и с одно- или двухсторонней обкладкой металлической сеткой, асбестовой или стеклянной тканью. Максимальная температура их применения определяется температуроустойчивостью обкладочного материала и доходит до 450 —600 °С.

Для облегчения монтажа на трубопроводах диаметром свыше 108 мм выпускаются (по ГОСТ 23307-78) минераловатные вертикально-слоистые маты, изготавливаемые из полос, нарезанных из мягких и полужестких плит и наклеенных при вертикальном расположении волокон на односторонний слой влагонепроницаемого материала. Максимальная температура их применения составляет 300 °С.

Наряду со штучными изделиями на основе минеральной ваты применяются аналогичные изделия на основе стеклянной ваты. Например, из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем выпускаются по ГОСТ 10499-78 маты длиной от 1 до 13 м при ширине 500—1500 мм и толщине 30 — 80 мм, а также жесткие и полужесткие плиты с максимальной температурой применения 180°С.

Теплоизоляционные конструкции при воздушной прокладке тепловых сетей

При всех видах воздушной прокладки теплоизоляционные конструкции выполняются как подвесные на соответствующих трубопроводах, а потому связанные с массой изоляции нагрузки передаются на опоры этих трубопроводов. Такие изоляционные конструкции являются, как правило, обособленными для каждой трубы и имеют круглое сечение, концентричное этой трубе.

Основным способом изготовления подвесных изоляционных конструкций является их сборка на изолируемых поверхностях из штучных изделий. В таких конструкциях могут использоваться жесткие, полужесткие и мягкие изделия. Преимуществом изоляции из жестких изделий является их значительная механическая прочность, исключая уплотнение при монтаже и облегчающая последующее нанесение кровного слоя. Вместе с тем крепление жестких изделий малых размеров по длине и ширине, особенно на трубопроводах большого диаметра

и при использовании сегментов в количестве 3 — 8 шт. по окружности, значительно усложняет монтаж, а также требует применения различных металлических деталей (колец, бандажей, стяжек, крючков, штырей и т. п.). Так как в условиях увлажнения изоляции эти крепежные детали при их изготовлении из обычной стали подвержены коррозии, в результате чего возможно обвисание и даже выпадение штучных изделий, то по нормам такие детали должны либо иметь антикоррозионное покрытие, например за счет оцинкования, либо изготавливаться из коррозионно-стойких материалов (латуни, жаростойкой стали).

Применение мягких штучных изоляционных изделий вместо жестких и полужестких позволяет значительно упростить их монтаж и крепление на изолируемых поверхностях, особенно на трубах небольшого диаметра.

В сочетании с использованием матов большой ширины и длины при этом появляется возможность обертывания трубопроводов по окружности одним штучным изделием с одним продольным швом (оберточная изоляция). Эластичность мягких изделий позволяет также изготавливать их в виде полых цилиндров с одним продольным разрезом, монтируемых с растяжкой и последующим насаживанием на трубу.

Основным недостатком, ограничивающим применение мягких изоляционных изделий, является их малая прочность, в связи с чем при креплении стяжками (бандажами) по их наружной поверхности они подвержены значительному уплотнению, снижающему толщину изоляции, что должно учитываться при выборе таких изделий.

При малых диаметрах изолируемых труб (до 50—100 мм) для их оберточной изоляции могут быть использованы шнуры из минеральной ваты или асбеста, а также жгуты длиной 8—10 м из стеклянных нитей, навиваемые спирально на трубы в один или несколько слоев.

Нормами для воздушной прокладки тепловых сетей при температурах теплоносителя до 400 °С рекомендуются или допускаются к применению изделия, характеристика которых по данным приведена в Приложении 1. Следует иметь в виду, что указанные в приложении значения теплопроводности в зависимости от температуры, а также плотности относятся к изделиям, смонтированным в качестве основного слоя теплоизоляционной конструкции, с учетом влияния на теплопроводность и плотность шовности конструкции и наличия крепежных деталей. В связи с этим такие значения несколько больше приведенных в ГОСТ или ТУ для соответствующих изделий.

Специальные требования к штучным изделиям предъявляются в случае выполнения изоляции на объектах сложной конфигурации, а также если такая изоляция должна быть съемной или разъемной. Согласно нормам полностью или частично съемные конструкции обязательны при теплоизоляции арматуры, сальниковых компенсаторов и фланцевых соединений в тепловых сетях. Кроме того, сложная конфигурация арматуры сама по себе требует применения специальных изоляционных изделий.

Аналогичная конфигурация часто встречается также у отдельных элементов оборудования тепловых сетей и тепловых пунктов. В подобных случаях могут быть использованы два типа изоляционных конструкций, а именно: либо из мягких

изоляционных изделий в виде матрасов с набивной изоляцией, либо из штучных изделий в съемных полуфутлярах.

Более универсальными являются конструкции набивной изоляции в матрасах, пригодные для любой конфигурации изолируемых объектов. В качестве набивки при этом могут быть использованы минеральная или стеклянная вата, а также порошкообразные материалы (совелит, перлит, обожженный вермикулит, асбест, асбозурит и т. п.).

В качестве материала для оболочки применяется асбестовая ткань или ткань из стекловолокна.

При съемной изоляции в цилиндрических полуфутлярах, изготавливаемых из оцинкованной стали или листов алюминиевых сплавов толщиной 0,5 — 1 мм, эти полуфутляры могут заполняться либо теми же засыпными материалами, что и матрасы, либо штучными изделиями из волокнистых материалов, в основном матами из минеральной ваты.

Нормами при воздушной прокладке тепловых сетей не предусматривается возможность применения для арматуры и сальниковых компенсаторов несъемной изоляции, изготавливаемой непосредственно при монтаже. Однако такие конструкции иногда используются для изоляции небольших объектов сложной конфигурации, а также при ремонтных работах в труднодоступных местах и т. п. В подобных случаях находит применение мастичный способ изготовления изоляционных конструкций, при котором затворяемые на воде порошкообразные материалы (асбозурит, совелит, ньювель) набрасываются вручную на изолируемую поверхность, обязательно нагретую до температуры не ниже 50 и не выше 150 °С.

Мастичный способ изготовления изоляции является наиболее трудоемким и требует нагрева изолируемых поверхностей, а получаемые таким способом конструкции характеризуются высокой теплопроводностью. По этим причинам такой способ, ранее широко применявшийся при изоляции оборудования и даже трубопроводов, прокладываемых в помещениях, в последнее время почти полностью вытеснен другими, более промышленными методами.

Теплоизоляционные конструкции для воздушной прокладки должны помимо основного слоя включать также покровный слой, иногда называемый наружным покрытием и выполняющий различные функции. Одной из них является придание этим конструкциям законченного оформления, обеспечивающего возможность обслуживания и ремонта, а также удовлетворяющего эстетическим требованиям. При некоторых типах конструкций, например при засыпной или набивной изоляции, покровный слой является оболочкой для изоляционного материала и поставляется вместе с ним. В конструкциях из штучных изделий покровный слой изготавливается из специальных материалов, наносимых на поверхность основного слоя. Такой слой должен придавать этой конструкции необходимую жесткость, а также предохранять ее от проникновения влаги, что особенно существенно при прокладке на открытом воздухе. Если применяются полужесткие и мягкие штучные изделия, не обладающие достаточной прочностью, то покровный слой должен обеспечивать такую прочность для конструкции в целом, препятствуя ее деформациям под действием нагрузок от собственного веса, случайных ударов и т. п.

При воздушной прокладке трубопроводов и оборудования основными рекомендуемыми для изготовления покровного слоя изделиями согласно нормам являются либо тонкие металлические листы, либо стальные оцинкованные (по ГОСТ 7118-78 или ГОСТ 14918-80), либо листы из алюминия и алюминиевых сплавов по ГОСТ 21631-76.

Допускается изготовление покровного слоя из тонколистовой кровельной стали по ГОСТ 17715-72, но в этом случае с обязательным покрытием снаружи алюминиевой краской БТ-177.

Покровные слои в виде металлических покрытий являются наиболее удобными в монтаже, полностью соответствуют эстетическим требованиям, а также наиболее долговечны в эксплуатации. Вместе с тем они требуют наибольших капитальных затрат по сравнению с другими видами покровных слоев, а при больших объемах изоляционных работ, характерных для прокладки трубопроводов на открытом воздухе, связаны с большими расходами дефицитных сортов металла. Поэтому вне помещений вместо таких покрытий для изготовления покровных слоев используются более дешевые, но и менее долговечные эластичные рулонные материалы. Обязательными требованиями, предъявляемыми к таким материалам, являются их достаточная температуроустойчивость, несгораемость или по крайней мере трудная воспламеняемость, а также водонепроницаемость или малое водопоглощение.

Домонтажная изоляция может выполняться с применением либо описанных выше изделий, либо специальных изоляционных конструкций монолитного типа, охватывающих трубу по всей ее длине. Последний способ является наиболее индустриальным, но связанные с ним капитальные вложения могут быть оправданы только при больших объемах работ. Поэтому при прокладке тепловых сетей на открытом воздухе, а тем более в помещениях, этот способ пока не нашел распространения. В применяемых при таких типах прокладки конструкциях домонтажной изоляции на трассу поступают конструкции, состоящие из мягких или полужестких изделий для основного слоя совместно с изделиями для покровного слоя из тонколистового металла или эластичных рулонных материалов. Если изделия для основного и покровного слоев поступают скрепленными между собой посредством скоб или шпильков, то такие конструкции называются полносборными (шифр ТК). На трассе такие конструкции накладываются на трубопроводы и стягиваются бандажными. Промышленное производство их налажено на базе мягких минераловатных или стекловатных изделий (плит, матов прошивных или вертикально-слоистых, полуцилиндров и полых цилиндров) в сочетании с тонколистовыми металлическими или полимерными покрытиями. Такие конструкции изготавливаются (по ТУ 36-1180-78) длиной 500-1000 мм и толщиной 40 — 70 мм для изоляции трубопроводов с наружными диаметрами 25 — 219 мм или толщиной 40— 100 мм при диаметрах более 219 мм, а также для изоляции плоских или слабо искривленных поверхностей [61, 103].

В качестве наружных покрытий в полносборных конструкциях при воздушной прокладке по нормам рекомендуется помимо описанных выше металлических покрытий применение рулонных материалов на основе синтетических или природных полимеров, а именно стеклопластика рулонного марки РСТ (по ТУ 6-11-145-180), стеклотекстолита (по ГОСТ 10292-74 или ТУ 6-11-270-73), стеклоцемента

текстолитового (по ТУ 36-940-77), стеклорубероида (по ГОСТ 15879-70) и фольгоизола (по ГОСТ 20249-84). Максимальная температура применения таких конструкций составляет 400^{°C} (при использовании стекловатных изделий 180^{°C}).

В нормах применение полносборных конструкций (по ТУ 36-1180-78) ограничивается диаметрами труб 25 — 250 мм. При средних и больших диаметрах, а именно от 100 до 1400 мм, рекомендуется вариант полносборных конструкций, при котором в качестве основного слоя используются вертикально-слоистые минераловатные маты (по ГОСТ 23307-78) с максимальной температурой применения 300 °С при сохранении перечисленных выше покрытий из металлических листов или полимерных материалов.

В сборных (комплектных) теплоизоляционных конструкциях (шифр СТК) те же изделия для основного и покровного слоев поставляются не скрепленными, а только вложенными одно в другое. При монтаже на трубопроводах сначала устанавливаются изделия для основного, а затем для покровного слоя. Последние стягиваются монтажными бандажами, после чего продольные швы скрепляются самонарезающими винтами, а монтажные бандажи снимаются.

Теплоизоляционные конструкции при подземной прокладке тепловых сетей

Все подземные теплопроводы, и в первую очередь теплопроводы бесканальные и в непроходных каналах, работают, как правило, в условиях высокой влажности и повышенной температуры окружающей среды, т.е. в условиях, весьма благоприятных для коррозии металлических сооружений. Поэтому важнейшим элементом является изоляционная конструкция, назначение которой не только защита теплопровода от тепловых потерь, но, что еще более важно, защита трубопровода от наружной коррозии.

От успешного решения этой задачи непосредственно зависит долговечность теплопровода.

Высокое тепловое сопротивление изоляционной конструкции, что практически означает низкий коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, необходимо для снижения тепловых потерь теплопровода.

Требование низкого влагопоглощения также связано с задачей снижения тепловых потерь, так как при увлажнении изоляционного слоя повышается его теплопроводность и возрастают тепловые потери. Однако этим не исчерпывается роль низкого влагопоглощения изоляционной конструкции. От влагопоглощения изоляционной конструкции, так же как и от ее воздухопроницаемости и электросопротивления, существенно зависит долговечность подземных теплопроводов.

Наружная поверхность стальных подземных трубопроводов подвержена воздействию часто взаимосвязанных процессов электрохимической и электрической коррозии. Основным агентом, вызывающим коррозию подземных теплопроводов, является кислород, растворенный во влаге, поступающей из окружающего грунта через изоляцию к поверхности трубы. Процесс коррозии интенсифицируется при наличии во влаге, поступающей из грунта, или в изоля-

ционном слое, через который проходит влага, агрессивных веществ: диоксида углерода (CO_2), сульфатов (SO_4) или хлоридов (Cl).

Другим источником поступления кислорода к наружной поверхности стального трубопровода является воздух. Обогащая влагу кислородом, воздух интенсифицирует коррозию. Поэтому для защиты наружной поверхности стальных трубопроводов от электрохимической коррозии необходимо обеспечить не только низкое водопоглощение, но и низкую воздухопроницаемость изоляционной конструкции.

В том случае, когда изоляционный слой выполнен из пористого материала, например минеральной ваты, пенобетона, битумоперлита и др., необходимо защитить его от внешней влаги и воздуха наружным покрытием из материала с низким водопоглощением и низкой воздухопроницаемостью, например из полиэтилена или изола. Основным методом защиты подземных теплопроводов от электрохимической коррозии заключается в выполнении изоляционного слоя из материала с высоким влаго-и электросопротивлением.

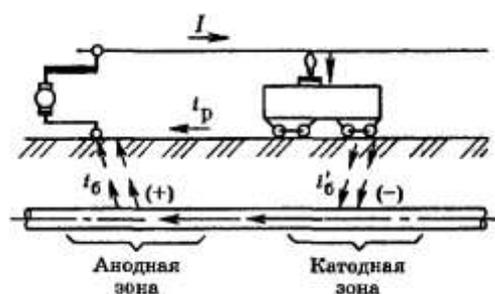
Другое возможное решение этой задачи заключается в электрической изоляции металла от электролита путем наложения на наружную поверхность стальных трубопроводов антикоррозионного покрытия, имеющего большое электрическое сопротивление, например путем эмалирования наружной поверхности или нанесения двухслойного покрытия температуростойчивым изолом или трехслойного покрытия органосиликатной краской АС-8а.

Из современных антикоррозионных покрытий наиболее надежным и долговечным при температуре теплоносителя до $200\text{ }^\circ\text{C}$ является стеклоэмалевое покрытие, выполняемое из рекомендованных Всероссийским научно-исследовательским институтом строительства трубопроводов (ВНИИСТ) силикатных эмалей 105Т и 64/64, накладываемых на предварительно очищенную поверхность стальных труб, разогретых электроиндукционным или печным методом.

Возможным решением может быть также металлизационное алюминиевое покрытие, предложенное Академией коммунального хозяйства имени К.Д. Памфилова.

Это покрытие наносится с помощью электродуговых или газопламенных аппаратов, в которых расплавляется проволока из технически чистого алюминия, и струей сжатого воздуха напыляется на наружную поверхность стального трубопровода, заранее очищенную от продуктов коррозии и загрязнений.

Алюминиевое покрытие не защищает трубопровод от блуждающих токов. Поэтому в зоне опасного влияния блуждающих токов должна осуществляться дополнительная защита этих трубопроводов от электрокоррозии.



Источниками электрической коррозии стальных подземных теплопроводов обычно служат установки постоянного тока, например электрифицированные железные дороги и трамваи, с рельсовых путей которых

Рис. 1 Схема коррозии
подземного
теплопровода блуждающими
токами

электрический ток стекает в землю. Принципиальная схема такого процесса показана на рис. 1. Электрический ток, поступающий с подвижного состава на рельсы и текущий далее к источнику тока, которым являются обычно шины электроустановок или питающей электроподстанции, разделяется на

а) ток i_p , текущий по рельсам, и б) так называемый блуждающий ток i_b , проходящий через грунт, в том числе и через подземные сооружения, проложенные в грунте.

В анодных зонах, где ток стекает с металлических трубопроводов в грунт, происходит разрушение трубопроводов. Соотношение между током, текущим по рельсам, и блуждающим током определяется соотношением электрических сопротивлений рельсов и системы почва—подземные сооружения.

Для ограничения натекания блуждающих токов на подземные теплопроводы могут быть использованы разные методы или их комбинации, в том числе:

1) Создание высокого электрического сопротивления между металлическим трубопроводом и окружающей средой на всем его протяжении (выполнение теплоизоляционной конструкции из материала с высоким электрическим сопротивлением или наложение на наружную поверхность трубопровода покровного слоя, имеющего высокое электросопротивление);

2) Увеличение переходного электрического сопротивления на границе рельсы— грунт (укладка рельсовых путей на основание из битумизированного гравия, имеющего повышенное электросопротивление);

3) Повышение электрического сопротивления грунта вокруг теплопровода;

4) Повышение продольного электрического сопротивления теплопровода путем его электрического секционирования (установка электроизолирующих прокладок между фланцами и электроизолирующих футляров на болтах в местах соединения отдельных секций трубопроводов);

5) увеличение продольной электропроводности рельсового пути посредством установки электропроводящих перемычек между отдельными звеньями рельсов в местах их стыковки.

Возможны также чисто электрические методы защиты, например создание вокруг теплопровода контртока, равного по значению, но направленного против блуждающих токов. Наиболее распространенными конструкциями теплопроводов являются подземные.

Все конструкции подземных теплопроводов можно разделить на две группы: канальные и бесканальные. В канальных теплопроводах изоляционная конструкция разгружена от внешних нагрузок грунта стенками канала.

В бесканальных теплопроводах изоляционная конструкция испытывает нагрузку грунта.

Каналы сооружаются проходными и непроходными.

В настоящее время большинство каналов для теплопроводов сооружается из

сборных железобетонных элементов, заранее изготовленных на заводах или специальных полигонах.

Из всех подземных тепловодов наиболее надежными, зато и наиболее дорогими по начальным затратам являются тепловоды в проходных каналах.

Канальные тепловоды.

Тепловоды в проходных каналах.

Основное преимущество проходных каналов — постоянный доступ к трубопроводам. Проходные каналы позволяют заменять и добавлять трубопроводы, проводить ревизию, ремонт и ликвидацию аварий на трубопроводах без разрушения дорожных покрытий и разрытия мостовых. Проходные каналы применяются обычно на выводах от теплоэлектроцентралей и на основных магистралях промплощадок крупных предприятий.

Требования к изоляционной конструкции тепловода в проходных и полупроходных каналах выполняются сравнительно простыми средствами — посредством защиты с помощью покровного слоя из гидрофобного рулонного материала, например полиэтилена или бризола; теплоизоляционной оболочки на трубопроводе от капельной влаги, могущей образоваться на перекрытии и стенках канала и, кроме того, установкой на подвижных и неподвижных опорах прокладок из материалов, обладающих диэлектрическими свойствами, например паронита для электрической изоляции металлического трубопровода от несущей конструкции канала и окружающего грунта.

В тех случаях, когда количество параллельно прокладываемых трубопроводов невелико (два-четыре), но постоянный доступ к ним необходим, например при пересечении автомагистралей с усовершенствованными покрытиями, тепловоды сооружаются в полупроходных каналах (рис. 2).

Тепловоды в непроходных каналах.

Каналы собираются из унифицированных железобетонных элементов разных размеров (рис. 3). Для надежной и долговечной работы тепловода необходима защита канала от поступления в него грунтовых или поверхностных вод. Как правило, нижнее основание канала должно быть выше максимального уровня грунтовых вод.

Для защиты от поверхностных вод наружная поверхность канала (стены и перекрытия) покрывается оклеенной гидроизоляцией из битумных материалов.

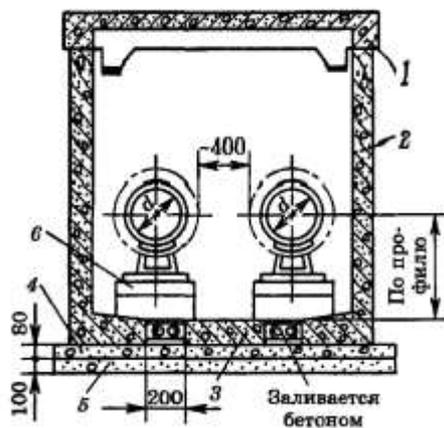


Рис. 2. Сборный полупроходной канал из

При прокладке тепловодов ниже максимального уровня грунтовых вод сооружаются попутные дренажи, снижающие местный уровень грунтовых вод по трассе тепловода ниже его основания.

Основное преимущество тепловода с воздушным зазором по сравнению с бесканальным заключается в создании благоприятных условий для высыхания

железобетонных блоков.

1 – ребристый блок перекрытия, 2 – стеновой блок, 3 – блок днища, 4 – бетонная подготовка, 5 – щебеичатая подготовка, 6 – опорные плиты.

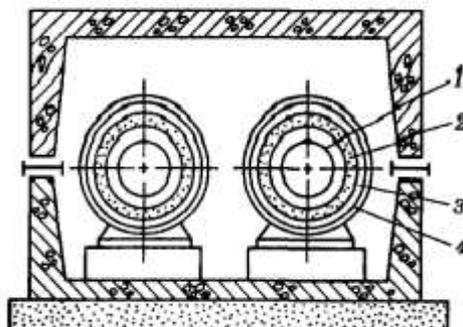


Рис. 3. Теплопровод в непроходном канале с воздушным зазором.

1 – трубопровод, 2 – антикоррозионное покрытие, 3 – теплоизоляционный слой, 4 – защитное механическое покрытие.

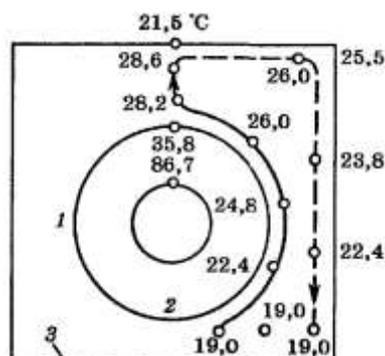


Рис. 4. Изменение температуры воздуха по поперечному сечению канала

1 – воздушный зазор, 2 – изоляционный слой, 3 – внутренняя поверхность канала.

тепловой изоляции, а сухая тепловая изоляция, как было сказано выше, уменьшает не только тепловые потери, но и опасность химической и электрохимической наружной коррозии подземного теплопровода.

На рис. 4. показано изменение температуры воздуха в непроходном канале теплопровода с воздушным зазором.

Воздух по сечению канала имеет неодинаковую температуру, которая растет в направлении от поверхности изоляционной оболочки к перекрытию канала (на рис. 4 показано сплошной линией) и снижается в направлении, указанном пунктирной линией, т.е. у верхнего перекрытия и вдоль наружной стенки канала от перекрытия к днищу.

В процессе охлаждения воздуха у верхнего перекрытия поверхности наружной стенки из него выпадает влага, которая в виде капель стекает со стен канала на его дно. Для защиты изоляционной конструкции теплопровода от капельной влаги, выпадающей на перекрытии, рекомендуется устанавливать поверхность верхнего перекрытия с поперечным наклоном к горизонту. Угол наклона для железобетонных перекрытий может быть принят равным 4—8°.

В каналах с воздушным зазором изоляционный слой может выполняться в виде подвесной или монолитной конструкции. На рис. 3 показан пример выполнения подвесной изоляционной конструкции. Она состоит из трех основных элементов:

- а) антикоррозийного защитного слоя 2 в виде наложенных в заводских условиях на стальной трубопровод 1 нескольких слоев эмали или изола, имеющих достаточную механическую прочность и обладающих высоким электросопротивлением и необходимой температуростойкостью;
- б) теплоизоляционного слоя 3, выполненного из материала с низким коэффициентом теплопроводности, например минеральной ваты или пеностекла, в виде мягких матов или твердых блоков, укладываемых поверх защитного антикоррозионного слоя;
- в) защитного механического покрытия 4 в виде металлической сетки, выполняющей роль несущей конструкции для теплоизоляционного слоя.

Для увеличения долговечности теплопровода несущая конструкция подвесной изоляции (вязальная проволока или металлическая сетка) покрывается сверху оболочкой из некорродирующих материалов или асбоцементной штукатуркой.

Бесканальные теплопроводы.

Бесканальные теплопроводы находят оправданное применение в том случае, когда они по надежности и долговечности не уступают теплопроводам в непроходных каналах и даже превосходят их, являясь более экономичными по сравнению с последними по начальной стоимости и трудозатратам на сооружение и эксплуатацию. Все конструкции бесканальных теплопроводов можно разделить на три группы: в монолитных оболочках, засыпные, литые.

Требования к изоляционным конструкциям бесканальных теплопроводов такие же, как и к изоляционной конструкции теплопроводов в каналах, а именно высокое и устойчивое в эксплуатационных условиях тепло-, влаго-, воздухо- и электросопротивление.

Теплопроводы в монолитных оболочках.

Применение бесканальных теплопроводов в монолитных оболочках — один из основных путей индустриализации строительства тепловых сетей. В этих теплопроводах на стальной трубопровод наложена в заводских условиях оболочка, совмещающая тепло- и гидроизоляционные конструкции. Звенья таких элементов теплопровода длиной до 12 м доставляются с завода на место строительства, где выполняется их укладка в подготовленную траншею, стыковая сварка отдельных звеньев между собой и накладка изоляционных слоев на стыковое соединение. Принципиально теплопроводы с монолитной изоляцией могут применяться не только бесканально, но и в каналах.

Современные требования к надежности и долговечности достаточно полностью удовлетворяют теплопроводы с монолитной теплоизоляцией из ячеистого полимерного материала типа пенополиуретана с замкнутыми порами и интегральной структурой, выполненной методом формования на стальной трубе в полиэтиленовой оболочке (типа «труба в трубе»).

Применение полимерного материала позволяет создавать изоляционную конструкцию с заранее заданными свойствами.

Особенность интегральной структуры теплогидроизоляционной конструкции заключается в том, что отдельные слои материала распределены по плотности в соответствии с их функциональным назначением. Периферийные слои изоляционного материала, прилегающие к наружной поверхности стальной трубы и к внутренней поверхности полиэтиленовой оболочки, имеют более высокую плотность и проч-

ность, а средний слой, выполняющий основные теплоизоляционные функции, имеет меньшую плотность, но зато и более низкую теплопроводность.

Благодаря хорошей адгезии периферийных слоев изоляции к поверхности контакта, т.е. к наружной поверхности стальной трубы и внутренней поверхности полиэтиленовой оболочки, существенно повышается долговременная прочность изоляционной конструкции, так как при тепловой деформации стальной трубопровод перемещается в грунте совместно с изоляционной конструкцией и не возникает торцевых зазоров между трубой и изоляцией, через которые влага может проникнуть к поверхности стальной трубы.

Средняя теплопроводность пенополиуретановой теплоизоляции составляет в зависимости от плотности материала 0,03— 0,05 Вт/(м · К), что примерно втрое ниже теплопроводности большинства широко применяемых теплоизоляционных материалов для тепловых сетей (минеральная вата, армопенобетон, битумоперлит и др.).

Благодаря высокому тепло- и электросопротивлению и низким воздухопроницаемости и влагопоглощению наружной полиэтиленовой оболочки, создающей дополнительную гидроизоляционную защиту, теплогидроизоляционная конструкция защищает теплопровод не только от тепловых потерь, но, что не менее важно, и от наружной коррозии. Поэтому при применении этой конструкции изоляции отпадает необходимость в специальной антикоррозийной защите поверхности стального трубопровода.

На базе пенополимерных материалов создан ряд модификаций изоляционных конструкций теплопроводов, проходящих в настоящее время стадию технологической доработки и опытной проверки.

К ним, в частности, относятся: а) полимербетонная изоляция, выполняемая методом формования из полимерных материалов с неорганическими наполнителями, в которой гидроизоляционной оболочкой служит плотный полимербетон; б) изоляция, накладываемая на стальную трубу методом напыления, предназначенная в основном для трубопроводов диаметром более 500 мм.

На рис. 5 показан разрез двухтрубного бесканального теплопровода в монолитных оболочках.

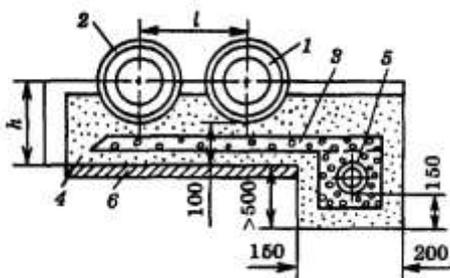


Рис. 5. Общий вид двухтрубного бесканального теплопровода в монолитных оболочках.

1 - подающий теплопровод; 2 - обратный теплопровод; 3 - гравийный фильтр; 4 - песчаный фильтр; 5 - дренажная труба; 6 - бетонное основание (при слабых грунтах)

Широкое применение в Санкт-Петербурге и некоторых других городах в 1960—1970 годах нашла конструкция бесканального теплопровода в армопенобетонной изоляции, предложенная А.Н. Крашенинниковым и П.А. Лазаревым.

На рис. 6 приведена конструкция монолитной армопенобетонной изоляционной оболочки. Особенности армопенобетона как изоляционного материала:

- высокая щелочность ($\text{pH} > 8,5$), что определяет его нейтральность по отношению к стали;
- способность образовывать подсушен-

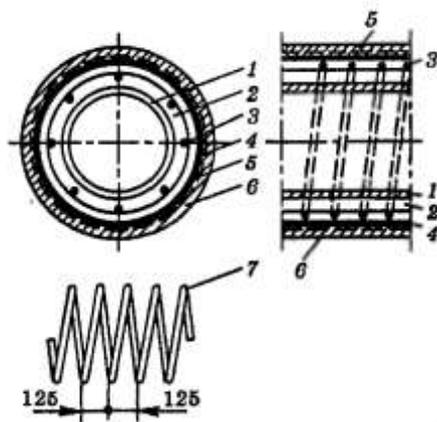


Рис. 6. Конструкция монолитной армопенобетонной изоляционной оболочки

1 - труба; 2 - автоклавный пенобетон; 3 - арматура; 4 - гидрозащитное трех-слойное покрытие из битумнорезино-вой мастики; 5 - стальная тканая сетка; 6 - слой асбоцементной штукатурки; 7 - деталь спирали.

ный слой около горячей трубы даже при относительно высокой средней влажности изоляции;

- высокое электросопротивление.

В монолитной армопенобетонной изоляции создается хорошая адгезия (сцепление) изоляционной оболочки к поверхности стального трубопровода. Так как коэффициенты линейного удлинения стали и пенобетона близки по значению, то адгезия не нарушается при изменении температуры теплоносителя в теплопроводе. Благодаря этому исключается появление зазора между трубой и оболочкой в процессе работы теплопровода и связанная с этим возможность коррозии наружной поверхности трубы из-за проникновения в зазор влаги и воздуха. Поскольку при тепловой деформации стальной трубопровод перемещается совместно с пенобетонной оболочкой, находящейся в массиве грунта, то возникающие при этом осевые усилия в трубопроводе существенно выше, чем при прокладке теплопроводов в каналах.

Другая модификация промышленных конструкций бесканальных теплопроводов в монолитных оболочках, имеющих адгезию к поверхности трубы, — теплопроводы с оболочками из фенольного поропласта марки ФЛ.

Слой изоляции накладывается на трубопроводы из предварительно подготовленной композиции способом литья в форму. После отвердения слоя изоляции на ее поверхность укладывается влаго- и воздухозащитное покрытие из полиэтилена, армированного стеклотканью.

В сухом состоянии, а также при низкой влажности фенольный поропласт является высокоэффективным теплоизоляционным материалом [при $\rho = 100 \text{ кг/м}^3$ и относительной объемной влажности 30 %, $\lambda = 0,05 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$]. Основным недостатком поропласта марки ФЛ как изоляционного материала — его гидрофильность, т.е. способность поглощать влагу.

Наряду с конструкциями бесканальных теплопроводов с монолитными оболочками, имеющими адгезию к поверхности стальных трубопроводов, сооружаются также теплопроводы с монолитными оболочками без адгезии к поверхности трубопроводов. При тепловой деформации таких теплопроводов стальной трубопровод перемещается внутри изоляционной оболочки. Это

обстоятельство при длительной работе теплопровода может привести к образованию зазора между трубой и изоляционной оболочкой, а при поступлении через зазор влаги и воздуха - к развитию коррозионных процессов на наружной поверхности трубы. Поэтому в конструкциях бесканальных теплопроводов в монолитных оболочках без адгезии к стальному теплопроводу необходимо наружную поверхность стальных труб защищать от коррозии, например путем эмалирования, алюминирования и применения других материалов с высокими антикоррозионными и диэлектрическими свойствами.

Одним из типов промышленных бесканальных теплопроводов в монолитных оболочках без адгезии к наружной поверхности трубы (при диаметрах теплопроводов 400 мм и менее) является теплопровод в битумоперлитной изоляции (рис. 7).

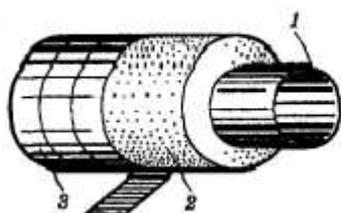


Рис. 7. Монолитная битумоперлитная изоляция

1 - теплопровод; 2 - битумоперлит по антикоррозионному покрытию; 3 - брызгозащитное покрытие в два слоя.

Битумоперлит, битумокерамзит и другие аналогичные изоляционные материалы на битумном вяжущем обладают существенными технологическими преимуществами, позволяющими сравнительно просто индустриализировать изготовление монолитных оболочек на теплопроводах. Но наряду с этим указанная технология изготовления оболочек нуждается в улучшении для обеспечения равномерной плотности и гомогенности битумоперлитной массы

как по периметру трубы, так и по ее длине.

Кроме того, битумоперлитная изоляция, как и многие другие материалы на битумном вяжущем, при длительном прогреве при температуре 150 °С теряет водостойкость из-за потери легких фракций, что приводит к снижению антикоррозионной стойкости этих теплопроводов. Для повышения антикоррозионной стойкости битумоперлита в процессе изготовления горячей формовочной массы вводят полимерные добавки в портландцемент, что повышает температуростойкость, влагостойкость, прочность и долговечность конструкции.

Теплопроводы в засыпных порошках.

Эти теплопроводы находят применение главным образом при теплопроводах малого диаметра — до 300 мм. Преимущество бесканальных теплопроводов в засыпных порошках по сравнению с теплопроводами с монолитными оболочками заключается в простоте изготовления изоляционного слоя. Для сооружения таких теплопроводов не требуется наличия в районе строительства тепловых сетей завода, на который должны предварительно поступать стальные трубы для наложения монолитной изоляционной оболочки. Изоляционный засыпной порошок в соответствующей упаковке, например в полиэтиленовых мешках, легко транспортируется на большие расстояния железнодорожным или автотранспортом.

Одной из конструкций такого типа, разработанной в нашей стране Всесоюзным теплотехническим институтом, является бесканальный теплопровод в засыпных самоспекающихся асфальтах. Основной компонент для изготовления самоспекающегося порошка — природный битум-асфальтит или искусственный битум-продукт заводов нефтепереработки.

Применяют также бесканальные теплопроводы с засыпной изоляцией из гидро-фобизированного порошкообразного мела.

Литые конструкции бесканальных теплопроводов.

Из литых конструкций бесканальных теплопроводов некоторое применение получили теплопроводы в пенобетонном массиве.

В качестве материала для сооружения таких теплопроводов может быть использован перлитобетон. Смонтированные в траншее стальные трубопроводы заливаются жидкой композицией, приготовленной непосредственно на трассе или доставленной в контейнере с производственной базы. После схватывания пенобетонный или перлитобетонный массив засыпается грунтом. Как известно, в двухтрубных тепловых сетях температурные режимы, а следовательно, и температурные деформации подающего и обратного трубопроводов неодинаковы. В этих условиях адгезия пенобетона или перлитобетона к наружной поверхности стальных трубопроводов недопустима.

Для защиты наружной поверхности стальных трубопроводов от адгезии с изоляционным массивом они покрываются снаружи слоем антикоррозионного мастичного материала, например асфальтовой мастикой, до заливки жидким пено-цементным раствором.

Конструкция имеет низкое влаго- и воздухопротiwление. Для повышения ее антикоррозионной стойкости необходимо надежно защитить от коррозии наружную поверхность стальных трубопроводов, например, путем предварительного эмалирования или наложения на нее другого защитного слоя.

Ограничение максимального диаметра бесканальных теплопроводов.

Территория, прилегающая к трассе бесканального теплопровода, более уязвима для размыва и образования опасных каверн при нарушении плотности стального трубопровода по сравнению с трубопроводом в канале. Поэтому в зависимости от надежности применяемых конструкций ограничивают максимальный диаметр бесканальных теплопроводов.

При изготовлении изоляционных конструкций из битумных материалов с различными наполнителями (битумоперлит, битумокеpамзит, битумовермикулит и др.), а также при применении засыпных и литых конструкций максимальный диаметр бесканальных теплопроводов в соответствии со СНиП ограничивают 400 мм.

Максимальный диаметр бесканальных теплопроводов в монолитных изоляционных оболочках из армопенобетона, а также в монолитных оболочках из феиольного поропласта с наружной гидрозащитой из полиэтилена ограничен обычно 800 мм.

На основе опыта эксплуатации отечественных конструкций бесканальных теплопроводов в монолитных изоляционных оболочках из ячеистых полимерных

материалов с замкнутыми порами типа полиуретана в дальнейшем будет проверена возможность снятия ограничения по максимальному диаметру для этих теплопроводов.

Защита подземных теплопроводов от затопления и увлажнения.

Одним из основных условий долговечности подземных теплопроводов считается защита их от затопления грунтовыми или верховыми водами. Затопление приводит к порче изоляции и наружной коррозии трубопроводов. Единственное надежное решение при прокладке теплопроводов ниже уровня грунтовых вод заключается в понижении этого уровня с помощью продольного дренажа. Конструкция самого теплопровода остается в этом случае такой же, как и для сухих грунтов.

Основное требование к дренажу грунтовых вод в зоне прокладки теплопровода состоит в том, чтобы кривая депрессии, т.е. уровень грунтовых вод при работе дренажа, была ниже днища канала (при прокладке в канале) или нижней отметки изоляционной конструкции теплопровода при бесканальной прокладке. Для защиты теплопровода от поверхностных вод в первую очередь необходима планировка поверхности земли над теплопроводом. Отметка поверхности земли над теплопроводом должна несколько превышать отметку окружающего грунта. Весьма желательно устройство над теплопроводом уличной одежды в виде асфальтового покрытия.

Состояние изоляции подземных теплопроводов зависит от режима их работы. Когда теплопровод непрерывно работает, тепловая изоляция, как правило, находится в сухом состоянии. При выведении теплопровода из работы по мере понижения температуры происходит перемещение влаги с поверхности изоляции к поверхности трубы.

Опыт показывает, что теплопроводы, работающие круглогодично, находятся в лучшем состоянии, чем работающие сезонно или периодически.

Основные требования к теплоизоляционным материалам.

Важное значение в устройстве теплопровода имеет тепловая изоляция. От качества изоляционной конструкции теплопровода зависят не только тепловые потери, но, что не менее важно, его долговечность. При соответствующем качестве материалов и технологии изготовления тепловая изоляция может одновременно выполнять роль антикоррозионной защиты наружной поверхности стального трубопровода. К таким материалам, в частности, относятся полиуретан и производные на его основе — полимербетон и бион.

Основные требования к теплоизоляционным конструкциям заключаются в следующем:

- 1) низкая теплопроводность как в сухом состоянии, так и в состоянии естественной влажности;
- 2) малое водопоглощение и небольшая высота капиллярного подъема жидкой влаги;
- 3) малая коррозионная активность;
- 4) высокое электрическое сопротивление;
- 5) щелочная реакция среды ($\text{pH} > 8,5$);
- 6) достаточная механическая прочность.

Требования к теплоизоляционным материалам и конструкциям подземных теплопроводов существенно отличаются от требований к теплоизоляционным материалам для теплопроводов, расположенных в помещениях электростанций, котельных или производственных цехов.

Так, основными требованиями для теплоизоляционных материалов паропроводов электростанций и котельных являются низкая теплопроводность и высокая температу-ростойкость. Такие материалы обычно характеризуются большим содержанием воздушных пор и малой объемной плотностью.

Последнее качество этих материалов предопределяет их повышенные гигроскопичность и водопоглощение.

Одно из основных требований к теплоизоляционным материалам для подземных теплопроводов заключается в малом водопоглощении. Поэтому высокоэффективные теплоизоляционные материалы с большим содержанием воздушных пор, легко впитывающие влагу из окружающего грунта, как правило, непригодны для подземных теплопроводов.

Выбор теплоизоляционной конструкции и ее размеров зависит от типа теплопровода и располагаемых исходных материалов и выполняется на основе технико-экономических расчетов. При современных масштабах теплофикации и централизованного теплоснабжения проблема тепловой изоляции тепловых сетей имеет большое народнохозяйственное значение.

Ежегодные тепловые потери действующих в настоящее время систем теплофикации и централизованного теплоснабжения могут быть оценены в 800 млн ГДж/год, т.е. в 8 % количества передаваемой теплоты.

Даже с учетом эффекта комбинированной выработки тепловой и электрической энергии расход топлива на покрытие теплопотерь составляет 18 млн т топлива в год в условном исчислении. При снижении теплопотерь вдвое, что вполне достижимо при современных теплоизоляционных конструкциях, можно получить экономию около 9 млн т топлива в год в пересчете на условное.

Кроме снижения теплопотерь тепловая изоляция облегчает обслуживание оборудования теплопроводов вследствие понижения температуры воздуха в подземных камерах и проходных каналах, а также устраняет опасность ожогов обслуживающего персонала. Одновременно со снижением тепловых потерь уменьшается падение температуры теплоносителя вдоль теплопровода, что повышает качество и экономичность теплоснабжения.

Очень важно сохранение теплоизоляционного материала в сухом состоянии. При увлажнении возрастает теплопроводность (рис. 8).

В сухом состоянии минеральная вата ($\rho = 350 \text{ кг/м}^3$) имеет теплопроводность $\lambda = 0,045 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; при объемной влажности $w = 20 \%$ теплопроводность $\lambda = 0,14 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, т.е. в 3 раза больше.

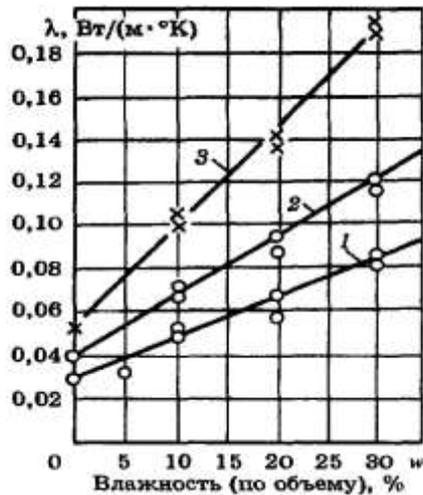


Рис. 8. Зависимость теплопроводности минеральной ваты от объемной влажности и плотности при $t = 20^{\circ}\text{C}$

1 - $\rho_{\text{сух}} = 120 \text{ кг/м}^3$; 2 - $\rho_{\text{сух}} = 200 \text{ кг/м}^3$; 3 - $\rho_{\text{сух}} = 350 \text{ кг/м}^3$.

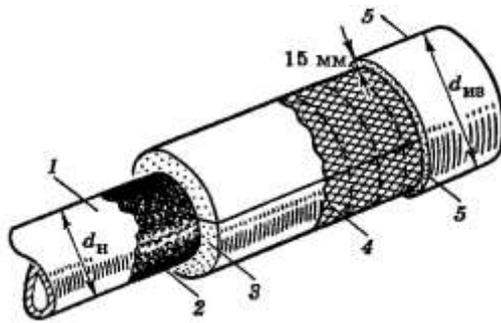


Рис. 8. Подвесная теплоизоляционная конструкция

1 - труба; 2 - антикоррозионное покрытие; 3 - мат из минеральной ваты; 4 - стальная сетка; 5 - асбоцементная штукатурка

При одной и той же влажности теплопроводность изоляционного материала обычно не совпадает с теплопроводностью изоляционной конструкции, выполненной из того же материала. Уплотнение изоляционного материала и применение различного рода добавок при изготовлении конструкции в большинстве случаев приводят к увеличению теплопроводности изоляционного слоя.

При сооружении теплопроводов в каналах в качестве тепловой изоляции часто применяются изделия из минеральной ваты, защищенные битумнировкой от увлажнения (рис. 9). На наружную поверхность стальной трубы накладывается антикоррозионное покрытие (эмаль, изол и др.). На антикоррозионное покрытие укладываются скорлупы из минеральной ваты, армированные стальной сеткой. Сверху скорлуп укладываются полукруглые асбоцементные футляры, закрепляемые на теплопроводе стальной сеткой, покрываемой сверху асбоцементной штукатуркой.

В приложении 26 приведены характеристики теплоизоляционных изделий отечественного производства, применяемых при прокладке теплопроводов в каналах.

9.2 Расчет толщины тепловой изоляции

В конструкциях теплоизоляции оборудования и трубопроводов с температурой содержащихся в них веществ в диапазоне от 20°C до 300°C для всех способов прокладки, кроме бесканальной, следует применять теплоизоляционные материалы и изделия с плотностью не более 200 кг/м^3 и коэффициентом теплопроводности в сухом состоянии не более $0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$.

Для теплоизоляционного слоя трубопроводов при бесканальной прокладке следует применять материалы с плотностью не более 400 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности не более 0,07 Вт/(м · К).

При бесканальной прокладке тепловых сетей следует преимущественно применять предварительно изолированные в заводских условиях трубы с изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке или армопенобетона с учетом допустимой температуры применения материалов и температурного графика работы тепловых сетей. Трубопроводы с изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке должны быть снабжены системой дистанционного контроля влажности изоляции.

Расчет толщины тепловой изоляции трубопроводов δ_k по нормированной плотности теплового потока выполняют по формуле

$$\delta_k = \frac{d \cdot (B - 1)}{2}, \quad (1)$$

где d - наружный диаметр трубопровода, м;

B - отношение наружного диаметра изоляционного слоя d_i к диаметру трубопровода d . ($B = \frac{d_i}{d}$);

Величину B определяют по формуле:

$$B = e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_k \cdot R_k}, \quad (2)$$

где e - основание натурального логарифма;

λ_k - коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя, Вт/(м · °С);

R_k - термическое сопротивление слоя изоляции, м · °С/Вт, величину которого определяют из следующего выражения

$$R_k = R_{\text{tot}} - \sum R_i, \quad (3)$$

где R_{tot} - суммарное термическое сопротивление слоя изоляции и других дополнительных термических сопротивлений на пути теплового потока определяемое по формуле:

$$R_{\text{tot}} = \frac{(t_w - t_e)}{q_e \cdot k_1} \quad (4)$$

где q_e - нормированная линейная плотность теплового потока, Вт/м;

t_w - средняя за период эксплуатации температура теплоносителя;

k_1 - коэффициент;

t_e - среднегодовая температура окружающей среды;

При подземной прокладке t_e - среднегодовая температура грунта, которая для большинства городов находится в пределах от $+1$ °С до $+5$ °С.

При прокладке в тоннелях, в помещениях, в неотапливаемых техподпольях, при надземной прокладке на открытом воздухе t_e - средняя за период эксплуатации температура окружающего воздуха, которая принимается:

при прокладке в тоннелях $t_e = 40$ °С; при прокладке в помещениях $t_e = 20$ °С;

в неотапливаемых техподпольях $t_e = 5$ °С; при надземной прокладке на открытом воздухе - средняя за период эксплуатации температура окружающего воздуха;

Виды дополнительных термических сопротивлений $\sum R_i$ зависят от способа прокладки тепловых сетей.

При надземной прокладке, а также прокладке в тоннелях и техподпольях

$$\sum R_i = R_{nc} \quad (5)$$

При подземной канальной прокладке

$$\sum R_i = R_{nc} + (1 + \psi) \cdot (R_{nc} + R_k + R_{гр}) \quad (6)$$

При подземной бесканальной прокладке

$$\sum R_i = R_{гр} + R_o \cdot \psi \quad (7)$$

где R_{nc} - термическое сопротивление поверхности изоляционного слоя, м·°С/Вт, определяемое по формуле

$$R_{nc} = \frac{1}{\alpha_e \cdot \pi \cdot (d + 0,1)}, \quad (8)$$

где α_e - коэффициент теплоотдачи с поверхности тепловой изоляции в окружающий воздух, Вт/(м²·°С) который принимается:

при прокладке в каналах $\alpha_e = 8$ Вт/(м²·°С);

при прокладке в техподпольях, закрытых помещениях и на открытом воздухе по табл. 5.1;

d - наружный диаметр трубопровода, м;

Таблица 5.1 Значения коэффициента теплоотдачи α , Вт/(М²·°С)

Изолированный объект	В закрытом помещении		На открытом воздухе при скорости ветра ³ , м/с		
	Покрытия с малым коэффициентом излучения ¹	Покрытия с высоким коэффициентом излучения ²	5	10	15
			20	26	35
Горизонтальные трубопроводы	7	10	20	26	35

Изолированный объект	В закрытом помещении		На открытом воздухе при скорости ветра ³ , м/с		
	Покрытия с малым коэффициентом излучения ¹	Покрытия с высоким коэффициентом излучения ²	5	10	15
¹ К ним относятся кожухи из оцинкованной стали, листов алюминиевых сплавов и алюминия с оксидной пленкой. ² К ним относятся штукатурки, асбестоцементные покрытия, стеклопластики, различные окраски (кроме краски с алюминиевой пудрой). ³ При отсутствии сведений о скорости ветра принимают значения, соответствующие скорости 10 м/с.					

$R_{пк}$ - термическое сопротивление поверхности канала, определяемое по формуле

$$R_{пк} = \frac{1}{\alpha_e \cdot \pi \cdot d_{вэ}}, \quad (9)$$

где α_e - коэффициент теплоотдачи от воздуха к внутренней поверхности канала;

$$\alpha_e = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$d_{вэ}$ - внутренний эквивалентный диаметр канала, м, определяемый по формуле

$$d_{вэ} = \frac{4 \cdot F}{P}, \quad (10)$$

где F - внутреннее сечение канала, м^2 ;

P - периметр сторон по внутренним размерам, м;

R_k - термическое сопротивление стенки канала определяемое по формуле

$$R_k = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ст}} \cdot \ln \frac{d_{нэ}}{d_{вэ}}, \quad (11)$$

где $\lambda_{ст}$ - теплопроводность стенки канала; для железобетона

$$\lambda_{ст} = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C});$$

$d_{нэ}$ - наружный эквивалентный диаметр канала, определяемый по наружным размерам канала, м;

$R_{гр}$ - термическое сопротивление грунта определяемое по формуле

$$R_{\text{гр}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{гр}}} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot h}{d_{\text{нз}}} + \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{d_{\text{нз}}^2} - 1} \right), \quad (12)$$

где $\lambda_{\text{гр}}$ - теплопроводность грунта, зависящая от его структуры и влажности.
 При отсутствии данных его значение можно принимать для влажных грунтов $\lambda_{\text{гр}} = 2-2.5$ Вт/(м·°С), для сухих грунтов

$$\lambda_{\text{гр}} = 1,0-1,5 \text{ Вт/(м·°С)};$$

h - глубина заложения оси теплопровода от поверхности земли, м;

R_0 - добавочное термическое сопротивление, учитывающее взаимное влияние труб при бесканальной прокладке, величину которого определяют по формулам:

- для подающего трубопровода

$$R_{01} = \psi_1 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{гр}}} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{b^2} + 1}; \quad (13)$$

- для обратного трубопровода

$$R_{02} = \psi_2 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{гр}}} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{b^2} + 1}, \quad (14)$$

где h - глубина заложения осей трубопроводов, м;

b - расстояние между осями трубопроводов, м, принимаемое в зависимости от их диаметров условного прохода по табл. 5.2

Таблица 5.2 Расстояние между осями трубопроводов.

d_y , мм	50-80	100	125- 150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
b , мм	350	400	500	550	600	650	700	600	900	1000	1300	1400

ψ_1, ψ_2 - коэффициенты, учитывающие взаимное влияние температурных полей соседних теплопроводов, определяемые по формулам:

$$\psi_1 = \frac{q_{e1}}{q_{e2}}, \quad (15)$$

$$\psi_2 = \frac{q_{e2}}{q_{e1}}, \quad (16)$$

где q_{e1}, q_{e2} - нормированные линейные плотности тепловых потоков соответственно для подающего и обратного трубопроводов, Вт/м.

Расчетную толщину теплоизоляционного слоя в конструкциях тепловой изоляции на основе волокнистых материалов и изделий (матов, плит, холстов) следует округлять до значений, кратных 10 мм.

В конструкциях на основе минераловатных цилиндров, жестких ячеистых материалов, материалов из вспененного синтетического каучука, пенополиэтилена и пенопластов следует принимать ближайшую к расчетной толщину изделий по нормативным документам на соответствующие материалы.

Допускается принимать ближайшую более низкую толщину теплоизоляционного слоя в случаях расчета по температуре на поверхности изоляции и нормам плотности теплового потока, если разница между расчетной и номенклатурной толщиной не превышает 3 мм.

Предельная толщина теплоизоляционного слоя в конструкциях тепловой изоляции оборудования и трубопроводов приведена в таблице 5.3.

Таблица 5.3 Предельные толщины теплоизоляционных конструкций для оборудовании и трубопроводах.

Наружный диаметр, мм	Способ прокладки трубопровода		
	Надземный	В тоннеле	В непроходном канале
	Предельная толщина теплоизоляционного слоя, мм, при температуре, °С		
	20 и более	20 и более	до 150 вкл.
32	140	100	80
45	140	100	80
57	150	120	90
76	160	140	90
89	170	160	100
108	180	160	100
133	200	160	100
159	220	160	120
219	230	180	120
273	230	180	120
325	240	200	120
377	240	200	120
426	250	220	140
476	250	220	140
530	260	220	140
630	280	240	140
720	280	240	140
820	300	240	140
920	300	260	140
1020 и более	320	260	140

Примечания

В случае если расчетная толщина изоляции больше предельной, следует принимать более эффективный теплоизоляционный материал и ограничиться предельной толщиной тепловой изоляции, если это допустимо по условиям технологического процесса.

Минимальную толщину теплоизоляционного слоя следует принимать:

- при изоляции цилиндрами из волокнистых материалов - равной минимальной толщине, предусматриваемой государственными стандартами или техническими условиями;
- при изоляции тканями, полотном стекловолокнистым, шнурами - 20 мм.
- при изоляции изделиями из волокнистых уплотняющихся материалов - 20 мм;
- при изоляции жесткими материалами, изделиями из вспененных полимеров - равной минимальной толщине, предусматриваемой государственными стандартами или техническими условиями.

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

В задачу теплового расчета трубопроводов входит:

- 1) расчет толщины изоляции;
- 2) расчет снижения температуры теплоносителя;
- 3) расчет температурного поля вокруг теплопроводов;
- 4) расчет потерь тепла.

Количество тепла, проходящее через цепь последовательно соединенных термических сопротивлений в единицу времени есть

$$q = \frac{\tau - t_0}{R} . \quad (8.1)$$

q – линейная плотность теплового потока; R – термическое сопротивление; t – температура теплоносителя; t_0 – температура окружающей среды.

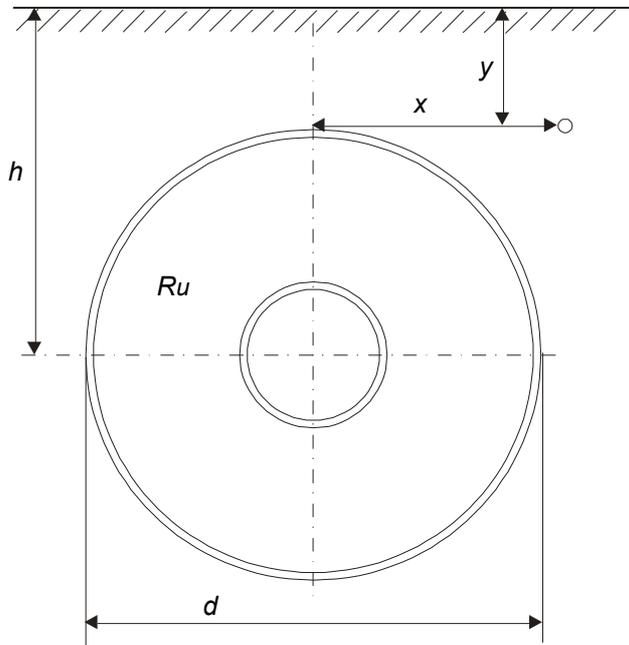
8.1. Наземная прокладка .

$$R = R_{вн} + R_{ст} + R_{из} + R_{нар} .$$

При наземной прокладке влияние соседней трубы не учитывается.

Подземная прокладка.

Подземная бесканальная однетрубная прокладка



При бесканальной прокладке $R=R_{uz} + R_{zp}$.
Термическое сопротивление грунта определяется по формуле

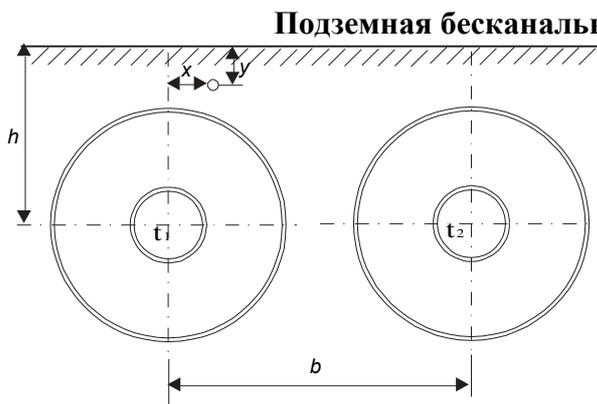
$$R_{zp} = \frac{1}{2\pi\lambda_{zp}} \ln \left[2 \frac{h}{d} + \sqrt{\frac{4h^2}{d^2} - 1} \right],$$

λ_{zp} – коэффициент теплопроводности грунта;
 h – глубина залегания оси трубы; d – диаметр трубы. Если $h/d > 2$, то приближенно

$$R_{zp} = \frac{\ln(4h/d)}{2\pi\lambda_{zp}}. \quad \text{Подсчет теплотерь}$$

проводят не при действительной глубине залегания трубы, а по приведенной $h_n = h + h_\phi$, где h_ϕ – толщина фиктивного слоя грунта. $h_\phi = \lambda_{zp}/a$, где a – коэффициент теплоотдачи на поверхности.

Рис.8.1. Схема однотрубного бесканального теплопровода



Подземная бесканальная двухтрубная прокладка

Взаимное влияние соседних труб учитывается условным дополнительным сопротивлением R_0 . В этом случае

$$R_0 = \frac{1}{2\pi\lambda_{zp}} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{b}\right)^2}.$$

Теплопотери первой трубы

$$q_1 = \frac{(\tau_1 - t_0)R_2 - (\tau_2 - t_0)R_1}{R_1R_2 - R_0^2}$$

Рис.8.2. Схема двухтрубного бесканального теплопровода

Теплопотери второй трубы

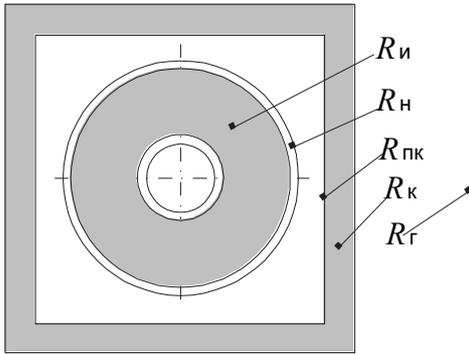
$$q_2 = \frac{(\tau_2 - t_0)R_1 - (\tau_1 - t_0)R_2}{R_1R_2 - R_0^2}. \quad \text{Здесь } t_0 \text{ – естественная температура грунта на глубине оси}$$

трубы h . Температурное поле в грунте вокруг двухтрубного бесканального теплопровода определяется по формуле

$$t = t_0 + \frac{q_1}{2\pi\lambda_{zp}} \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \frac{q_2}{2\pi\lambda_{zp}} \ln \sqrt{\frac{(x-b)^2 + (y+h)^2}{(x-b)^2 + (y-h)^2}}.$$

t – температура любой точки грунта, удаленной на x от вертикальной плоскости, проходящей через ось трубы с более высокой температурой теплоносителя (подающий трубопровод), и на y от поверхности грунта.

Подземная канальная прокладка



При наличии воздушной прослойки между изолированным трубопроводом и стенкой канала термическое сопротивление определяется как $R = R_u + R_n + R_{нк} + R_k + R_z$. Температура воздуха в канале определяется из уравнения теплового баланса

$$t_k = \frac{\frac{\tau}{R_u + R_n} + \frac{t_0}{R_{нк} + R_k + R_z}}{\frac{1}{R_u + R_n} + \frac{1}{R_{нк} + R_k + R_z}}$$

Рис.8.3. Схема канальной прокладки однетрубного теплопровода

При канальной прокладке многотрубного теплопровода уравнение теплового баланса можно записать в виде

$$\frac{t_k - t_0}{R_{нк} + R_k + R_z} = \sum_{i=1}^N \frac{\tau_i - t_k}{R_{уз,i} + R_{н,i}}$$

После определения температуры воздуха в канале рассчитываются потери тепла от каждой трубы.

Тепловые потери трубопровода

Тепловые потери тепловой сети складываются из потерь тепла участков трубопровода без арматуры и фасонных частей – линейных тепловых потерь и теплопотерь фасонных частей, арматуры, опор, фланцев и т.п. – местных потерь тепла.

Линейные потери тепла есть

$$Q_l = ql$$

Потери тепла отводов, колен, гнутых компенсаторов и т.п., периметр поперечного сечения которых близок к периметру трубопровода, рассчитываются по формулам для прямых круглых труб. Тепловые потери фланцев, фасонных частей и арматуры обычно определяются в эквивалентных длинах трубы того же диаметра.

$$Q_m = ql_{экв}$$

Суммарные потери тепла трубопровода определяются как

$$Q = q(l + l_{экв}) = ql(1 + b), \quad b = l_{экв}/l.$$

Для предварительных расчетов можно принять $b = 0.2-0.3$.

Изменение энтальпии теплоносителя вследствие тепловых потерь можно определить из уравнения баланса

$$G(i_n - i_k) = ql(1 + \beta).$$

При транспорте насыщенного пара вследствие падения энтальпии выпадает конденсат. При коротких трубопроводах, когда ожидаемое падение температуры не превышает 3-4 % величины температуры в начале участка, расчет можно проводить в предположении постоянства удельных тепловых потерь. При длинных или слабо изолированных участках трубопровода нужно учитывать изменение удельных тепловых потерь по длине трубы. Уравнение баланса тепла для участка dl трубы

$$\frac{\tau - t_0}{R} (1 + \beta) dl = -Gc_p d\tau.$$

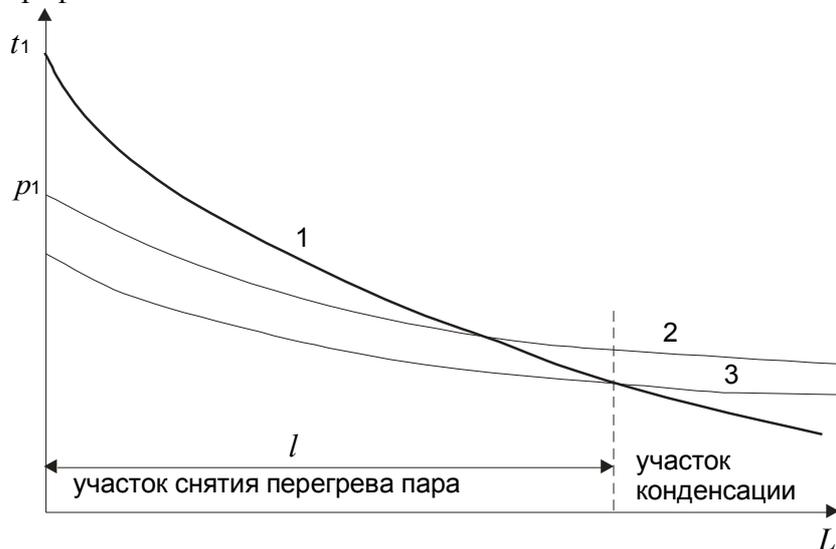
После интегрирования в пределах от t_n до t_k и от 0 до l получим

$$\tau_{\kappa} = t_0 + \frac{\tau_{\text{н}} - t_0}{\exp\left(\frac{l(1+\beta)}{R G c_p}\right)}$$

Данная формула справедлива, строго говоря, для изобарного течения. Снижение температуры при падении давления можно определить по

$$\Delta\tau = \frac{\partial}{\partial p} \Delta p, \text{ где } \frac{\partial}{\partial p} - \text{ дифференциальный дроссель-эффект; } Dp - \text{ падение давления}$$

пара. Действительная температура пара в конце трубопровода есть $\tau_{\kappa, \partial} = \tau_{\kappa} - \Delta\tau$. Можно найти длину паропровода, на которой пар теряет перегрев. Для точного расчета длины нужно знать закон изменения температуры и давления по длине трубы. Задача решается графически.



1 — кривая изменения температуры по длине трубопровода; 2 — кривая изменения давления по длине трубопровода; 3 — кривая температур насыщения по длине трубопровода. Количество конденсата на участке трубопровода

$$G_{\kappa} = \frac{ql(1+\beta)}{r}$$

Рис.8.4. Определение точки выпадения конденсата

8.4. Выбор толщины изоляционного слоя

Материал изоляции выбирается исходя из критической толщины тепловой изоляции, диапазона рабочих температур, технологических и эксплуатационных соображений.

Толщина изоляционного слоя выбирается исходя из технических и технико-экономических соображений.

Технические требования.

1. Необходимо обеспечить заданную температуру теплоносителя в отдельных точках тепловой сети. Обычно это условие предъявляется к паропроводу.
2. Обеспечение нормированных теплотерь.
3. Непревышение заданной температуры поверхности изоляции.

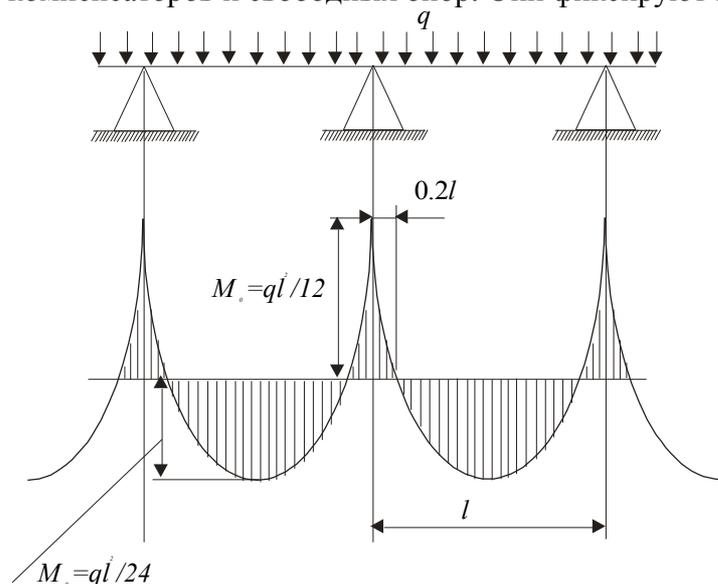
При прокладке теплопровода в рабочих помещениях температура поверхности изоляции не должна превышать $40-50^{\circ}\text{C}$.

На основании технических требований определяется предельная минимальная толщина изоляции.

Опоры трубопроводов.

Опоры делят на свободные и неподвижные. Свободные опоры воспринимают вес трубопровода с тепловой изоляцией, теплоносителем и позволяют трубопроводу свободно перемещаться.

Неподвижные опоры воспринимают усилия внутреннего давления, реакцию компенсаторов и свободных опор. Они фиксируют положение трубопроводов.



Удельная нагрузка

$$q_b = \sqrt{q_g^2 + q_g^2}$$

q_b – вес трубопровода с изоляцией и снеговым покрытием на 1 м трубы. q_g – горизонтальная составляющая (ветровое усилие).

$$q_g = k \frac{W_B^2}{2} \rho_B d_H$$

k – аэродинамический коэффициент (1.4...1.6). W_B , ρ_B – скорость и плотность воздуха.

d_H – диаметр тепловой изоляции.

Расстояние между свободными опорами определяется либо по допустимым напряжениям на изгиб, либо по допустимой стреле прогиба y . Максимальный изгибающий момент на опоре есть

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{12}$$

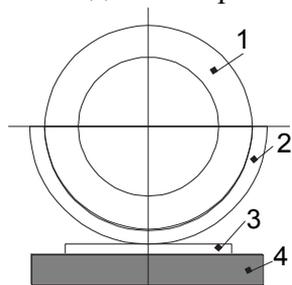
Стрела прогиба трубопровода определяется по формуле

$$y = \frac{M_{\max}}{384EJ}, \text{ где } EJ - \text{ жёсткость трубы; } E - \text{ модуль Юнга; } J - \text{ момент инерции.}$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W}, \text{ где } W - \text{ полярный момент сопротивления трубы. Отсюда}$$

$$l = \sqrt{\frac{12\sigma W}{q}} - \text{ расстояние между опорами.}$$

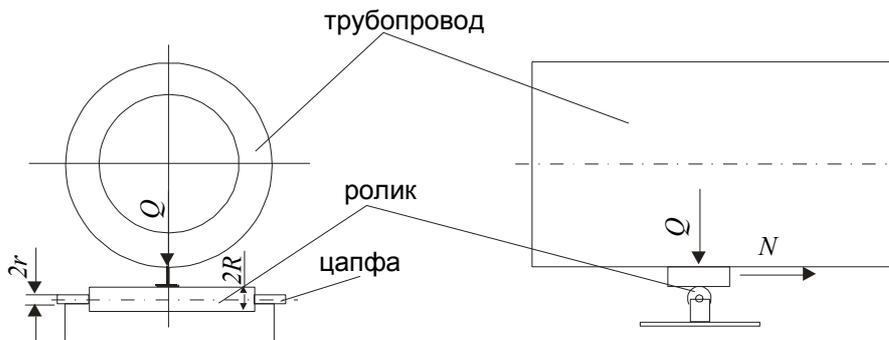
Свободные опоры могут быть скользящими, роликовыми и катковыми.



1-тепловая изоляция;

Реакция на скользящей опоре определяется как $N = Q_b \mu$, $Q_b = 1.5q_b l$. Здесь μ – коэффициент трения скольжения; Q_b – вертикальное усилие на опоре. Коэффициент 1.5 учитывает возможность провисания одной из опор. Скользящие опоры применяются для трубопроводов с диаметром меньше 400 мм.

2-опорный полуцилиндр;
 3-скоба; 4-бетонный камень.
 Рис.7.2. Скользящая опора



Горизонтальная реакция на роликовой опоре рассчитывается из условия равенства силовых моментов.
 $NR \geq Q_в S + Q_в \mu r$,
 откуда $N \geq Q_в \frac{S + \mu r}{R}$

Рис.7.3. Роликовая опора

Где S – коэффициент трения качения; m – коэффициент трения скольжения на поверхности цапфы; r – радиус цапфы; R – радиус ролика. Роликовые опоры применяются на трубопроводах среднего диаметра.

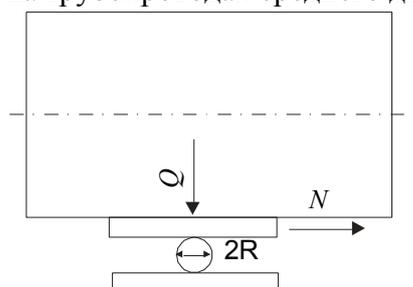


Рис.7.4. Катковая опора

Величина горизонтальной реакции определяется по формуле

$$N = Q_в \frac{S_1 + S_2}{2R}, \text{ где } S_1 \text{ – коэффициент трения качения при перемещении катка по опорной поверхности; } S_2 \text{ – коэффициент трения качения при перемещении стальной поверхности трубопровода по поверхности катка. Катковые опоры применяются на трубопроводах большого диаметра.}$$

Из всех свободных опор наименьшее значение горизонтальной реакции имеют роликовые опоры.

В ряде случаев применяются также подвесные опоры.

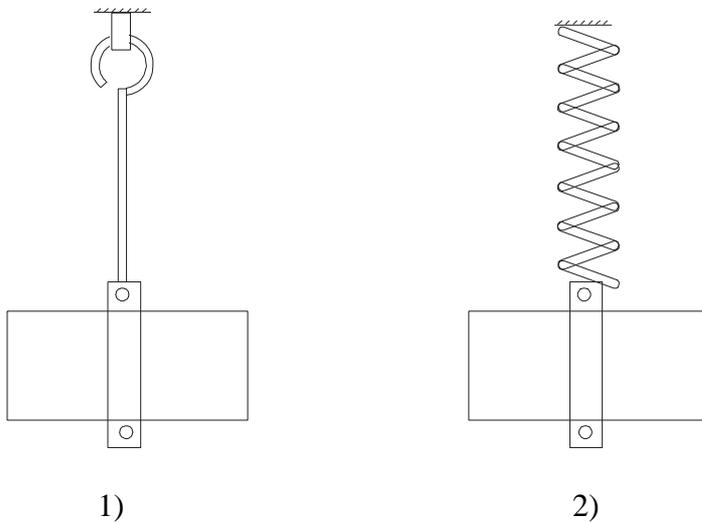


Рис.7.5. Подвесные опоры
1. Простая; 2. Пружинная

Неподвижные опоры воспринимают реакцию внутреннего давления, свободных опор и компенсатора.

Результирующее усилие, действующее на неподвижную опору, может быть представлено в виде

$$N = apF_{\text{в}} + \mu q_{\text{с}} \Delta l + \Delta S, \text{ где}$$

a – коэффициент, зависящий от направления действия осевых усилий внутреннего давления с обеих сторон опоры. Если опора разгружена от усилия внутреннего давления, то $a = 0$, иначе $a = 1$; p – внутреннее давление в трубопроводе; $F_{\text{в}}$ – площадь внутреннего сечения трубопровода; m – коэффициент трения на свободных опорах; Dl – разность длин участков трубопровода с обеих сторон неподвижной опоры; DS – разность сил трения осевых скользящих компенсаторов или сил упругости гибких компенсаторов с обеих сторон неподвижной опоры.

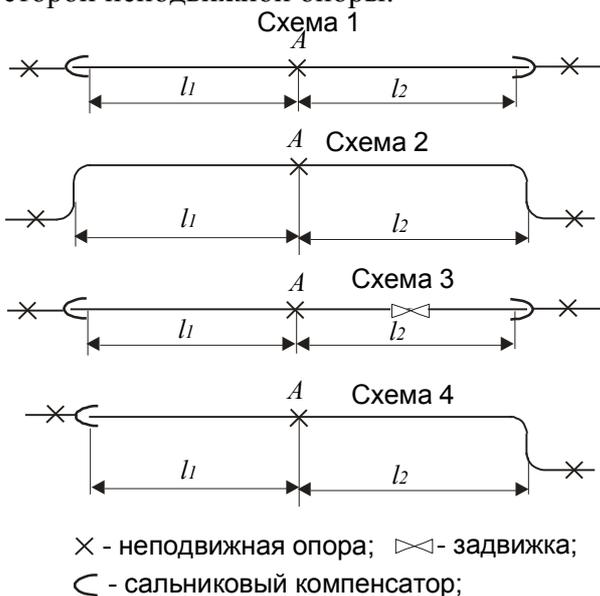


Рис.7.6. Схемы расположения опор

Схема 1. С обеих сторон неподвижной опоры А расположены сальниковые компенсаторы. Торцевые сечения участков трубопровода с обеих сторон опоры А открыты. Осевое усилие внутреннего давления не передается ($a=0$).

Схема 2. С обеих сторон опоры А расположены участки с естественной компенсацией. Торцевые сечения участка закрыты отводами с обеих сторон опоры А. Усилия внутреннего давления передаются, но они противоположны и равны ($a=0$).

Схема 3. На трубопроводе установлена задвижка. При ее закрытии с обеих сторон может установиться разное давление. Появится осевое усилие ($a=1$).

Схема 4. С одной стороны – сальниковый компенсатор, с другой – гнутый (упругий) компенсатор. Осевое усилие внутреннего давления направлено от неподвижной опоры в сторону упругого компенсатора.

Компенсация температурных деформаций

Компенсация температурных деформаций стальных трубопроводов имеет исключительно важное значение при транспорте теплоносителя. При нагреве в стенке трубы возникают большие разрушающие напряжения. Если отсутствует компенсация температурных напряжений, то это может привести к разрушению трубопровода. Удлинение трубы при повышении температуры на Δt можно рассчитать по формуле

$\Delta l = \alpha l (\tau - t_m)$, где l – расстояние между неподвижными опорами; t_m – температура при монтаже; α – коэффициент линейного удлинения; для углеродистой стали $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}$, 1/град. Напряжение, возникающее при температурной деформации

$$s = \frac{\Delta l}{l} E = \alpha \Delta t E$$

Усилие сжатия, возникающее при нагреве в прямолинейном трубопроводе без компенсации $P = \sigma f = \alpha \Delta t E \pi d_{cp} \delta$

Для компенсации температурных деформаций используют различные пластичные вставки (компенсаторы).

По принципу действия компенсаторы разделяются на радиальные и осевые.

Осевые компенсаторы допускают перемещения трубопровода только по направлению оси. Их нельзя устанавливать близко к поворотам.

Осевые компенсаторы: сальниковые, линзовые (сильфонные).

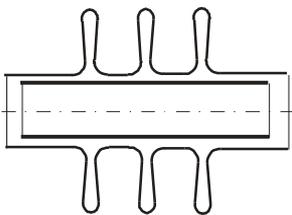


Рис.7.7. Линзовый компенсатор

Линзовые компенсаторы устанавливаются на трубопроводах низкого давления – до 0.5 Мпа.

Наибольшее распространение получили гнутые компенсаторы.



Рис.7.8. Схемы гнутых компенсаторов

Радиальные компенсаторы позволяют перемещение трубопровода и в осевом, и в радиальном направлениях. При радиальной компенсации термическая деформация

трубопровода воспринимается за счет изгиба эластичных вставок или отдельных участков самого трубопровода.

Особенности температурной компенсации при бесканальной прокладке.

При бесканальной прокладке изоляция трубопровода находится в непосредственном контакте с грунтом, а также и под давлением грунта. При изменении температуры трубопровода возникает сила трения. P – усилие возникающее при нагреве металла.

$$P = \sigma \pi d_{cp} \delta = \alpha \Delta t E \pi d_{cp} \delta.$$

Кроме того, на трубопровод действует сила трения на протяжении всего трубопровода.

$$N = q_6 \pi d_{mp} l \mu.$$

$d_{mp} = d_{из}$, если имеет место адгезия изоляции к металлу трубы (трубопровод перемещается вместе с изоляцией). $d_{mp} = d_n$, если адгезия отсутствует и трение действует на поверхности металла. При нагреве трубы перемещение наблюдается только на тех участках, на которых $P > N$. Максимальное напряжение возникает в том сечении, где $P = N$. Участок, на котором $P > N$ - заземлен. Увеличение Δt приводит к смещению сечения с максимальным напряжением ближе к опоре, и при некотором значении Δt это сечение будет размещаться над опорой. Предельное значение длины пролета от компенсатора до опоры можно рассчитать из условия $P = N$.

$$l_{max} = \frac{\sigma_{до} \pi d_{cp} \delta}{q \mu d_{mp}}.$$

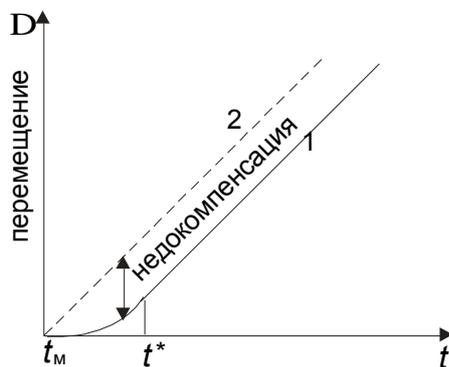
Для трубопровода без адгезии $d_{cp} = d_{mp}$. При изменении температуры теплоносителя компенсация деформации происходит не на всей длине, а на участке l^* от компенсатора в сторону опоры, на котором сила сжатия или растяжения больше силы трения.

$$l^* = \frac{\alpha E \Delta t d_{cp} \delta}{q d_{mp} \mu}$$

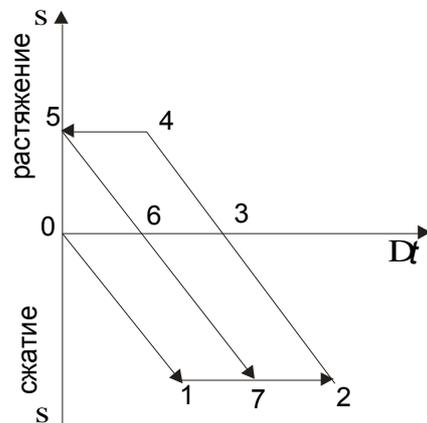
При этом температурном режиме все сечения трубопровода на расстоянии $l > l^*$ находятся в заземленном состоянии, компенсации этих участков нет.

При $\Delta t = \Delta t^*$, перемещение свободного конца составит: $\Delta l = 0.5 \alpha l (\tau - t_0)$, т.е. происходит недокомпенсация трубопровода.

При $\Delta t > \Delta t^*$, напряжения в сечении над опорой меняются, удлинение составляет величину: $\Delta l = \alpha l \Delta t = 0.5 \alpha l \Delta t^*$.



а)



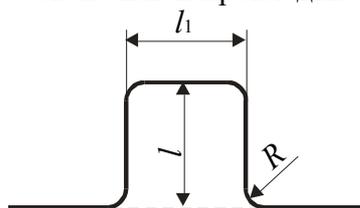
б)

Рис.7.9. Температурные деформации и напряжения в бесканальных теплопроводах
 а) - удлинение при начальном нагреве: 1 – действительное; 2 – при свободном перемещении;
 б) – изменение напряжений при нагреве и охлаждении

При повышении температуры (от $\Delta t = 0$ до $\Delta t = \Delta t^*$) в данном сечении возникает напряжение сжатия, которое растет от 0 до $-s_1$ (линия 0-1 на рис.7.8б). При дальнейшем повышении температуры - от Δt_1 до Δt_2 напряжение сжатия не меняется (линия 1-2). Процесс, происходящий при снижении температуры показан линией 2-3-4-5. На участке 2-3 температура снижается на $\Delta t_2 - \Delta t_3 = \Delta t_1 - \Delta t_0$, а напряжение сжатия уменьшается до 0. При дальнейшем снижении температуры – до Δt_4 – возникает напряжение растяжения, которое растет от 0 до s_1 при Δt_4 . При дальнейшем снижении температуры напряжение не меняется, т.к. сила сжатия больше силы трения. Последующие циклы нагрева и охлаждения характеризуются линией 5-6-7-2-3-4-5. При длине пролета больше l_{max} напряжение у опоры может стать больше допустимого, и трубопровод может быть разрушен.

Радиальная компенсация

Компенсация напряжений за счет изгиба отдельных участков самого трубопровода называется естественной компенсацией. Преимущества – простота устройства, надежность, разгруженность неподвижных опор от усилий внутреннего давления. Недостаток – поперечное перемещение деформируемых участков. Это требует увеличения сечения непроходных каналов и затрудняет применение засыпных изоляций и бесканальной прокладки.



Максимальное изгибающее напряжение в П-образном компенсаторе есть $\sigma = \Delta E d l m / A$, где $A = 2 \{ 1/k [3.14 R l^2 - 2.28 R^2 l + 1.4 R^3] + 0.67 l^3 + l_1 l^2 - 4 R l^2 + 2 l^2 l_1 - 1.33 R^3 \}$. Это напряжение возникает в "спинке" компенсатора (верхняя горизонтальная переключина). При предварительной растяжке компенсатора на половину теплового удлинения трубопровода компенсирующая способность есть $\Delta = 2 \sigma A / (E d l m)$

Рис.7.10. Схема П-образного компенсатора

10. Основы эксплуатации тепловых сетей и тепловых пунктов.

Эксплуатация тепловых пунктов

При эксплуатации систем тепловых сетей должна быть обеспечена надежность теплоснабжения потребителей, подача теплоносителя (воды и пара) с расходом и параметрами в соответствии с температурным графиком и перепадом давления на вводе.

Присоединение новых потребителей к тепловым сетям энергоснабжающей организации допускается только при наличии у источника теплоты резерва мощности и резерва пропускной способности магистралей тепловой сети.

Организация, эксплуатирующая тепловые сети, осуществляет контроль за соблюдением потребителем заданных режимов теплопотребления.

При эксплуатации тепловых сетей поддерживаются в надлежащем состоянии пути подхода к объектам сети, а также дорожные покрытия и планировка поверхностей над подземными сооружениями, обеспечивается исправность ограждающих конструкций, препятствующих доступу посторонних лиц к оборудованию и к запорно-регулирующей арматуре.

Раскопка трассы трубопроводов тепловой сети или производство работ вблизи них посторонними организациями допускается только с разрешения организации, эксплуатирующей тепловую сеть, под наблюдением специально назначенного ею лица.

В организации составляются и постоянно хранятся:

- план тепловой сети (масштабный);
- оперативная и эксплуатационная (расчетная) схемы;
- профили теплотрасс по каждой магистрали с нанесением линии статического давления;
- перечень газоопасных камер и проходных каналов.

На план тепловой сети наносятся соседние подземные коммуникации (газопровод, канализация, кабели), рельсовые пути электрифицированного транспорта и тяговые подстанции в зоне не менее 15 м от проекции на поверхность земли края строительной конструкции тепловой сети или бесканального трубопровода по обе стороны трассы. На плане тепловой сети систематически отмечаются места и результаты плановых шурфовок, места аварийных повреждений, затоплений трассы и переложенные участки.

План, схемы, профили теплотрасс и перечень газоопасных камер и каналов ежегодно корректируются в соответствии с фактическим состоянием тепловых сетей.

Все изменения вносятся за подписью ответственного лица с указанием его должности и даты внесения изменения.

Информация об изменениях в схемах, чертежах, перечнях и соответствующие этому изменения в инструкциях доводятся до сведения всех работников (с записью в журнале распоряжений), для которых обязательно знание этих документов.

На планах, схемах и пьезометрических графиках обозначаются эксплуатационные номера всех тепломагистралей, камер (узлов ответвлений), насосных станций, узлов автоматического регулирования, неподвижных опор, компенсаторов и других сооружений тепловой сети.

На эксплуатационных (расчетных) схемах подлежат нумерации все присоединенные к сети системы потребителя, а на оперативных схемах, кроме того, секционирующая и запорная арматура.

Арматура, установленная на подающем трубопроводе (паропроводе), обозначается нечетным номером, а соответствующая ей арматура на обратном трубопроводе (конденсатопроводе) - следующим за ним четным номером.

На оперативной схеме тепловой сети отмечаются все газоопасные камеры и проходные каналы.

Газоопасные камеры должны иметь специальные знаки, окраску люков и содержаться под надежным запором.

Надзор за газоопасными камерами осуществляется в соответствии с правилами безопасности в газовом хозяйстве.

Организация, эксплуатирующая тепловые сети (теплоснабжающая организация), участвует в приемке после монтажа и ремонта тепловых сетей, тепловых пунктов и теплопотребляющих установок, принадлежащих потребителю.

Участие в технической приемке объектов потребителей заключается в присутствии представителя теплоснабжающей организации при испытаниях на прочность и плотность трубопроводов и оборудования тепловых пунктов, подключенных к тепловым сетям теплоснабжающей организации, а также систем теплопотребления, подключенных по зависимой схеме. В организации, эксплуатирующей тепловые сети, хранятся копии актов испытаний, исполнительная документация с указанием основной запорной и регулирующей арматуры, воздушников и дренажей.

После завершения строительно-монтажных работ (при новом строительстве, модернизации, реконструкции), капитального или текущего ремонта с заменой участков трубопроводов трубопроводы тепловых сетей подвергаются испытаниям на прочность и плотность.

Трубопроводы, прокладываемые в непроходных каналах или бесканально, подлежат также предварительным испытаниям на прочность и плотность в процессе производства работ до установки сальниковых (сильфонных) компенсаторов, секционирующих задвижек, закрывания каналов и засыпки трубопроводов.

Предварительные и приемочные испытания трубопроводов производят водой. При необходимости в отдельных случаях допускается выполнение предварительных испытаний пневматическим способом.

Выполнение пневматических испытаний надземных трубопроводов, а также трубопроводов, прокладываемых в одном канале или в одной траншее с действующими инженерными коммуникациями, не допускается.

Гидравлические испытания трубопроводов водяных тепловых сетей с целью проверки прочности и плотности следует проводить пробным давлением с внесением в паспорт.

Минимальная величина пробного давления при гидравлическом испытании составляет 1,25 рабочего давления, но не менее 0,2 МПа (2 кгс/см²).

Максимальная величина пробного давления устанавливается расчетом на прочность по нормативно-технической документации, согласованной с Госгортехнадзором России. Величину пробного давления выбирает предприятие-изготовитель (проектная организация) в пределах между минимальным и максимальным значениями.

Все вновь смонтированные трубопроводы тепловых сетей, подконтрольные Госгортехнадзору России, должны быть подвергнуты гидравлическому испытанию на прочность и плотность в соответствии с требованиями, установленными Госгортехнадзором России.

При проведении гидравлических испытаний на прочность и плотность тепловых сетей отключать заглушками оборудование тепловых сетей (сальниковые, сильфонные компенсаторы и др.), а также участки трубопроводов и присоединенные теплопотребляющие энергоустановки, не задействованные в испытаниях.

В процессе эксплуатации все тепловые сети должны подвергаться испытаниям на прочность и плотность для выявления дефектов не позже, чем через две недели после окончания отопительного сезона.

Испытания на прочность и плотность проводятся в следующем порядке:

- испытываемый участок трубопровода отключить от действующих сетей;
- в самой высокой точке участка испытываемого трубопровода (после наполнения его водой и спуска воздуха) установить пробное давление;
- давление в трубопроводе следует повышать плавно;
- скорость подъема давления должна быть указана в нормативно-технической документации (далее НТД) на трубопровод.

При значительном перепаде геодезических отметок на испытываемом участке значение максимально допустимого давления в его нижней точке согласовывается с проектной организацией для обеспечения прочности трубопроводов и устойчивости неподвижных опор. В противном случае испытание участка необходимо производить по частям.

Испытания на прочность и плотность следует выполнять с соблюдением следующих основных требований:

- измерение давления при выполнении испытаний следует производить по двум аттестованным пружинным манометрам (один - контрольный) класса не ниже 1,5 с диаметром корпуса не менее 160 мм. Манометр должен выбираться из условия, что измеряемая величина давления находится в 2/3 шкалы прибора;
- испытательное давление должно быть обеспечено в верхней точке (отметке) трубопроводов;
- температура воды должна быть не ниже 5 град. С и не выше 40 град. С;
- при заполнении водой из трубопроводов должен быть полностью удален воздух;

- испытательное давление должно быть выдержано не менее 10 мин. и затем снижено до рабочего;

- при рабочем давлении проводится тщательный осмотр трубопроводов по всей их длине.

Результаты испытаний считаются удовлетворительными, если во время их проведения не произошло падения давления и не обнаружены признаки разрыва, течи или запотевания в сварных швах, а также течи в основном металле, в корпусах и сальниках арматуры, во фланцевых соединениях и других элементах трубопроводов. Кроме того, должны отсутствовать признаки сдвига или деформации трубопроводов и неподвижных опор.

О результатах испытаний трубопроводов на прочность и плотность необходимо составить акт установленной формы.

Трубопроводы тепловых сетей до пуска их в эксплуатацию после монтажа, капитального или текущего ремонта с заменой участков трубопроводов подвергаются очистке:

- паропроводы - продувке со сбросом пара в атмосферу;

- водяные сети в закрытых системах теплоснабжения и конденсатопроводы - гидропневматической промывке;

- водяные сети в открытых системах теплоснабжения и сети горячего водоснабжения - гидропневматической промывке и дезинфекции (в соответствии с санитарными правилами) с последующей повторной промывкой питьевой водой. Повторная промывка после дезинфекции производится до достижения показателей качества сбрасываемой воды, соответствующих санитарным нормам на питьевую воду.

О проведении промывки (продувки) трубопроводов необходимо составить акт.

Для промывки закрытых систем теплоснабжения допускается использовать воду из питьевого или технического водопровода, после промывки вода из трубопроводов удаляется.

Подключение тепловых сетей и систем теплоснабжения после монтажа и реконструкции производится на основании разрешения, выдаваемого органами государственного энергетического надзора.

Заполнение трубопроводов тепловых сетей, их промывка, дезинфекция, включение циркуляции, продувка, прогрев паропроводов и другие операции по пуску водяных и паровых тепловых сетей, а также любые испытания тепловых сетей или их отдельных элементов и конструкций выполняются по программе, утвержденной техническим руководителем организации и согласованной с источником теплоты, а при необходимости с природоохранными органами.

Пуск водяных тепловых сетей состоит из следующих операций:

- заполнения трубопроводов сетевой водой;

- установления циркуляции;

- проверки плотности сети;

- включения потребителей и пусковой регулировки сети.

Трубопроводы тепловых сетей заполняются водой температурой не выше 70 град. С при отключенных системах теплоснабжения.

Заполнение трубопроводов следует производить водой давлением, не превышающим статического давления заполняемой части тепловой сети более чем на 0,2 МПа.

Во избежание гидравлических ударов и для лучшего удаления воздуха из трубопроводов максимальный часовой расход воды $G_{\text{в}}$ при заполнении трубопроводов тепловой сети с условным диаметром $D_{\text{у}}$ не должен превышать величин, указанных в приведенной ниже таблице:

Ду, мм	100	150	250	300	350	400	450
G _в , м ³ /ч	10	15	25	35	50	65	85

Ду, мм	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
GB, м3/ч	100	150	200	250	300	350	400	500

Заполнение распределительных сетей следует производить после заполнения водой магистральных трубопроводов, а ответвлений к потребителям - после заполнения распределительных сетей.

В период пуска необходимо вести наблюдение за наполнением и прогревом трубопроводов, состоянием запорной арматуры, сальниковых компенсаторов, дренажных устройств.

Последовательность и скорость проведения пусковых операций осуществляются так, чтобы исключить возможность значительных тепловых деформаций трубопроводов.

В программе по пуску тепловых сетей учитываются особенности пуска водяной тепловой сети при отрицательных температурах наружного воздуха (после длительного аварийного останова, капитального ремонта или при пуске вновь построенных сетей).

Подогрев сетевой воды при установлении циркуляции следует производить со скоростью не более 30 град. С в час.

В случае повреждения пусковых трубопроводов или связанного с ними оборудования принимаются меры к ликвидации этих повреждений.

При отсутствии приборов измерения расхода теплоносителя пусковая регулировка производится по температуре в обратных трубопроводах (до выравнивания температуры от всех подключенных к сети потребителей).

Пуск паровых сетей состоит из следующих операций:

- прогрева и продувки паропроводов;
- заполнения и промывки конденсатопроводов;
- подключения потребителей.

Перед началом прогрева все задвижки на ответвлениях от прогреваемого участка плотно закрываются. Вначале прогревается магистраль, а затем поочередно ее ответвления. Небольшие малоразветвленные паропроводы можно прогреть одновременно по всей сети.

При возникновении гидравлических ударов подача пара немедленно сокращается, а при частых и сильных ударах - полностью прекращается впредь до полного удаления из прогреваемого участка паропровода скопившегося в нем конденсата.

Скорость прогрева паропровода регулируется по признакам появления легких гидравлических ударов (щелчков). При проведении прогрева необходимо регулировать его скорость, не допуская при этом сползания паропровода с подвижных опор.

При текущей эксплуатации тепловых сетей необходимо:

- поддерживать в исправном состоянии все оборудование, строительные и другие конструкции тепловых сетей, проводя своевременно их осмотр и ремонт;
- наблюдать за работой компенсаторов, опор, арматуры, дренажей, воздушников, контрольно-измерительных приборов и других элементов оборудования, своевременно устраняя выявленные дефекты и неплотности;
- выявлять и восстанавливать разрушенную тепловую изоляцию и антикоррозионное покрытие;
- удалять скапливающуюся в каналах и камерах воду и предотвращать попадание туда грунтовых и верховых вод;
- отключать неработающие участки сети;
- своевременно удалять воздух из теплопроводов через воздушники, не допускать присоса воздуха в тепловые сети, поддерживая постоянно необходимое избыточное давление во всех точках сети и системах теплоснабжения;
- поддерживать чистоту в камерах и проходных каналах, не допускать пребывания в них посторонних лиц;

- принимать меры к предупреждению, локализации и ликвидации аварий и инцидентов в работе тепловой сети;

- осуществлять контроль за коррозией.

Для контроля состояния оборудования тепловых сетей и тепловой изоляции, режимов их работы регулярно по графику проводится обход теплопроводов и тепловых пунктов. График обхода предусматривает осуществление контроля состояния оборудования как слесарями-обходчиками, так и мастером.

Частота обходов устанавливается в зависимости от типа оборудования и его состояния, но не реже 1 раза в неделю в течение отопительного сезона и одного раза в месяц в межотопительный период. Тепловые камеры необходимо осматривать не реже одного раза в месяц; камеры с дренажными насосами - не реже двух раз в неделю. Проверка работоспособности дренажных насосов и автоматики их включения обязательна при каждом обходе.

Результаты осмотра заносятся в журнал дефектов тепловых сетей.

Дефекты, угрожающие аварией и инцидентом, устраняются немедленно. Сведения о дефектах, которые не представляют опасности с точки зрения надежности эксплуатации тепловой сети, но которые нельзя устранить без отключения трубопроводов, заносятся в журнал обхода и осмотра тепловых сетей, а для ликвидации этих дефектов при ближайшем отключении трубопроводов или при ремонте - в журнал текущих ремонтов. Контроль может осуществляться дистанционными методами.

При обходе тепловой сети и осмотре подземных камер персонал обеспечивается набором необходимых инструментов, приспособлений, осветительных приборов, газоанализатором взрывозащищенного типа.

Для контроля гидравлического и температурного режимов тепловых сетей и теплопотребляющих установок необходимо при плановых обходах проверять давление и температуру в узловых точках сети по манометрам и термометрам.

При эксплуатации тепловых сетей утечка теплоносителя не должна превышать норму, которая составляет 0,25% среднегодового объема воды в тепловой сети и присоединенных к ней системах теплопотребления в час, независимо от схемы их присоединения за исключением систем горячего водоснабжения (далее ГВС), присоединенных через водоподогреватель.

При определении нормы утечки теплоносителя не должен учитываться расход воды на заполнение теплопроводов и систем теплопотребления при их плановом ремонте и подключении новых участков сети и потребителей.

Для контроля за плотностью оборудования источников теплоты, тепловых сетей и систем теплопотребления допускается в установленном порядке использование окрашивающих индикаторов утечки, допущенных к применению в системах теплоснабжения.

На каждом узле подпитки тепловых сетей определяется расход подпиточной воды, соответствующий нормативной утечке, и обеспечивается приборный учет фактического расхода подпиточной воды.

При утечке теплоносителя, превышающей установленные нормы, должны быть приняты меры к обнаружению места утечек и их устранению.

Помимо испытаний на прочность и плотность в организациях, эксплуатирующих тепловые сети, проводятся их испытания на максимальную температуру теплоносителя, на определение тепловых и гидравлических потерь 1 раз в 5 лет.

Все испытания тепловых сетей выполняются отдельно и в соответствии с действующими методическими указаниями.

На каждый вновь вводимый в работу участок теплосети (независимо от параметров теплоносителя и диаметра трубопроводов) составляется паспорт установленной формы (Приложение N 5). В паспорте ведется учет продолжительности эксплуатации трубопроводов и конструкций теплосети, делаются записи о результатах всех видов

испытаний (кроме ежегодных на прочность и герметичность по окончании отопительного сезона), заносятся сведения о ремонтах, реконструкциях и технических освидетельствованиях.

Для контроля за состоянием подземных теплопроводов, теплоизоляционных и строительных конструкций следует периодически производить шурфовки на тепловой сети.

Плановые шурфовки проводятся по ежегодно составляемому плану, утвержденному ответственным лицом за исправное состояние и безопасную эксплуатацию тепловых энергоустановок и (или) тепловых сетей (техническим руководителем) организации.

Количество ежегодно проводимых шурфовок устанавливается в зависимости от протяженности сети, способов прокладок и теплоизоляционных конструкций, количества ранее выявленных коррозионных повреждений труб, результатов испытаний на наличие потенциала блуждающих токов.

На 1 км трассы предусматривается не менее одного шурфа.

На новых участках сети шурфовки начинаются с третьего года эксплуатации.

Шурфовки в первую очередь проводятся:

- вблизи мест, где зафиксированы коррозионные повреждения трубопроводов;
- в местах пересечений с водостоками, канализацией, водопроводом;
- на участках, расположенных вблизи открытых водостоков (кюветов), проходящих под газонами или вблизи бортовых камней тротуаров;
- в местах с неблагоприятными гидрогеологическими условиями;
- на участках с предполагаемым неудовлетворительным состоянием теплоизоляционных конструкций (о чем свидетельствуют, например, талые места вдоль трассы теплопровода в зимнее время);
- на участках бесканальной прокладки, а также канальной прокладки с теплоизоляцией без воздушного зазора.

Размеры шурфа выбирают, исходя из удобства осмотра вскрываемого трубопровода со всех сторон. В бесканальных прокладках предусматриваются размеры шурфа по низу не менее 1,5 x 1,5 м; в канальных прокладках минимальные размеры обеспечивают снятие плит перекрытия на длину не менее 1,5 м.

При шурфовом контроле производится осмотр изоляции, трубопровода под изоляцией и строительных конструкций. При наличии заметных следов коррозии необходимо зачистить поверхность трубы и произвести замер толщины стенки трубопровода с помощью ультразвукового толщиномера или дефектоскопа.

При результатах измерений, вызывающих сомнения, и при выявлении утонения стенки на 10% и более необходимо произвести контрольные засверловки и определить фактическую толщину стенки.

При выявлении местного утонения стенки на 10% проектного (первоначального) значения эти участки подвергают повторному контролю в ремонтную кампанию следующего года.

Участки с утонением стенки трубопровода на 20% и более подлежат замене.

По результатам осмотра составляется акт.

Работы по защите тепловых сетей от электрохимической коррозии проводятся специализированными организациями (подразделениями).

Эксплуатация средств защиты от коррозии и коррозионные измерения выполняются в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.

Для определения коррозионной агрессивности грунтов и опасного воздействия блуждающих токов проводятся систематические осмотры трубопроводов подземных тепловых сетей и электрические измерения на потенциал блуждающих токов.

Электрические измерения на трассах вновь сооружаемых и реконструируемых тепловых сетей производятся организациями, разработавшими проект тепловых сетей, или

специализированными организациями, разрабатывающими технические решения по защите тепловых сетей от наружной коррозии.

Измерения удельного электрического сопротивления грунтов производятся по мере необходимости для выявления участков трассы тепловых сетей бесканальной прокладки в грунтах с высокой коррозионной агрессивностью.

Коррозионные измерения для определения опасного действия блуждающих токов на стальные трубопроводы подземных тепловых сетей должны проводиться в зонах влияния блуждающих токов один раз в 6 месяцев, а также после каждого значительного изменения режима работы систем электроснабжения электрифицированного транспорта (изменение графика работы электротранспорта, изменения расположения тяговых подстанций, отсасывающих пунктов и т.д.) и условий, связанных с развитием сети подземных сооружений и источников блуждающих токов, введения средств электрохимической защиты на смежных сооружениях.

В других случаях измерение производится один раз в 2 года.

Установки электрохимической защиты подвергаются периодическому техническому осмотру, проверке эффективности их работы и планово-предупредительному ремонту.

Установки электрохимической защиты постоянно содержатся в состоянии полной работоспособности.

Профилактическое обслуживание установок электрохимической защиты производится по графику технических осмотров и планово-предупредительных ремонтов, утвержденных техническим руководителем организации. График предусматривает перечень видов и объемов технических осмотров и ремонтных работ, сроки их проведения, указания по организации учета и отчетности о выполненных работах.

Технические осмотры и планово-предупредительные ремонты производятся в следующие сроки:

- технический осмотр катодных установок - 2 раза в месяц, дренажных установок - 4 раза в месяц;
- технический осмотр с проверкой эффективности - 1 раз в 6 месяцев;
- текущий ремонт - 1 раз в год;
- капитальный ремонт - 1 раз в 5 лет.

Все неисправности в работе установки электрохимической защиты устраняются в течение 24 часов после их обнаружения.

Эффективность действия дренажных и катодных установок проверяется 2 раза в год, а также при каждом изменении режима работы установок электрохимической защиты и при изменениях, связанных с развитием сети подземных сооружений и источников блуждающих токов.

Сопротивление растеканию тока с анодного заземлителя катодной станции измеряется во всех случаях, когда режим работы катодной станции резко меняется, но не реже одного раза в год.

Суммарная продолжительность перерывов в работе установок электрохимической защиты на тепловых сетях не может превышать 7 суток в течение года.

При эксплуатации электроизолирующих фланцевых соединений периодически, но не реже одного раза в год проводятся их технические осмотры.

В водяных тепловых сетях и на конденсатопроводах осуществляется систематический контроль за внутренней коррозией трубопроводов путем анализов сетевой воды и конденсата, а также по индикаторам внутренней коррозии, установленным в наиболее характерных точках тепловых сетей (на выводах от источника теплоты, на концевых участках, в нескольких промежуточных узлах). Проверка индикаторов внутренней коррозии осуществляется в ремонтный период.

Ежегодно перед началом отопительного сезона все насосные станции необходимо подвергать комплексному опробованию для определения качества ремонта, правильности работы и взаимодействия всего тепломеханического и электротехнического оборудования,

средств контроля, автоматики, телемеханики, защиты оборудования системы теплоснабжения и определения степени готовности насосных станций к отопительному сезону.

Текущий осмотр оборудования автоматизированных насосных станций следует проводить ежемесячно, проверяя нагрузку электрооборудования, температуру подшипников, наличие смазки, состояние сальников, действие системы охлаждения, наличие диаграммных лент в регистрирующих приборах.

На неавтоматизированных насосных станциях проводится ежемесячное обслуживание оборудования.

Перед запуском насосов, а при их работе - 1 раз в смену необходимо проверять состояние насосного и связанного с ним оборудования.

В дренажных насосных станциях не реже 2 раз в неделю следует контролировать воздействие регулятора уровня на устройство автоматического включения насосов.

При эксплуатации автоматических регуляторов проводятся периодические осмотры их состояния, проверка работы, очистка и смазка движущихся частей, корректировка и настройка регулирующих органов на поддержание заданных параметров. Устройства автоматизации и технологической защиты тепловых сетей могут быть выведены из работы только по распоряжению технического руководителя организации, кроме случаев отключения отдельных защит при пуске оборудования, предусмотренных местной инструкцией.

Подпитка тепловой сети производится умягченной деаэрированной водой, качественные показатели которой соответствуют требованиям к качеству сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов в зависимости от вида источника теплоты и системы теплоснабжения.

Подпитка систем теплоснабжения, подключенных по независимой схеме, осуществляется водой из тепловой сети.

Давление воды в любой точке подающей линии водяных тепловых сетей, тепловых пунктов и в верхних точках непосредственно присоединенных систем теплоснабжения при работе сетевых насосов должно быть выше давления насыщенного пара воды при ее максимальной температуре не менее чем на 0,5 кгс/см².

Избыточное давление воды в обратной линии водяных тепловых сетей при работе сетевых насосов должно быть не ниже 0,5 кгс/см². Давление воды в обратной линии должно быть не выше допустимого для тепловых сетей, тепловых пунктов и для непосредственно присоединенных систем теплоснабжения.

Неработающая тепловая сеть заполняется только деаэрированной водой и должна находиться под избыточным давлением не ниже 0,5 кгс/см² в верхних точках трубопроводов.

Для двухтрубных водяных тепловых сетей в основе режима отпуска теплоты предусматривается график центрального качественного регулирования.

При наличии нагрузки горячего водоснабжения минимальная температура воды в подающем трубопроводе сети предусматривается для закрытых систем теплоснабжения не ниже 70 град. С; для открытых систем теплоснабжения горячего водоснабжения не ниже 60 град. С.

Температура воды в подающей линии водяной тепловой сети в соответствии с утвержденным для системы теплоснабжения графиком задается по усредненной температуре наружного воздуха за промежуток времени в пределах 12 - 24 ч, определяемый диспетчером тепловой сети в зависимости от длины сетей, климатических условий и других факторов.

Отклонения от заданного режима на источнике теплоты предусматриваются не более:

- по температуре воды, поступающей в тепловую сеть, - +/- 3%;
- по давлению в подающем трубопроводе, - +/- 5%;
- по давлению в обратном трубопроводе, - +/- 0,2 кгс/см².

Отклонение фактической среднесуточной температуры обратной воды из тепловой сети может превышать заданную графиком не более чем на +5%. Понижение фактической температуры обратной воды по сравнению с графиком не лимитируется.

Гидравлические режимы водяных тепловых сетей разрабатываются ежегодно для отопительного и летнего периодов; для открытых систем теплоснабжения в отопительный период режимы разрабатываются при максимальном водоразборе из подающего и обратного трубопроводов и при отсутствии водоразбора.

Мероприятия по регулированию расхода воды у потребителей составляются для каждого отопительного сезона.

Очередность сооружения новых магистралей и насосных станций, предусмотренных схемой теплоснабжения, определяется с учетом реального роста присоединяемой тепловой нагрузки, для чего в организации, эксплуатирующей тепловую сеть, разрабатываются гидравлические режимы системы теплоснабжения на ближайшие 3 - 5 лет.

Для каждой контрольной точки тепловой сети и на узлах подпитки в виде режимной карты устанавливаются допустимые значения расходов и давлений воды в подающем, обратном (и подпиточном) трубопроводах, соответствующие нормальным гидравлическим режимам для отопительного и летнего периодов.

При аварийном прекращении электроснабжения сетевых и перекачивающих насосов организация, эксплуатирующая тепловую сеть, обеспечивает давление в тепловых сетях и системах теплоснабжения в пределах допустимого уровня. При возможности превышения этого уровня предусматривается установка специальных устройств, предохраняющих систему теплоснабжения от гидроударов.

Ремонт тепловых сетей производится в соответствии с утвержденным графиком (планом) на основе результатов анализа выявленных дефектов, повреждений, периодических осмотров, испытаний, диагностики и ежегодных испытаний на прочность и плотность.

График ремонтных работ составляется исходя из условия одновременного ремонта трубопроводов тепловой сети и тепловых пунктов.

Перед проведением ремонтов тепловых сетей трубопроводы освобождаются от сетевой воды, каналы должны быть осушены. Температура воды, откачиваемой из сбросных колодцев, не должна превышать 40 град. С. Спуск воды из камеры тепловых сетей на поверхность земли не допускается.

В каждой организации, эксплуатирующей тепловые сети (в каждом эксплуатационном районе, участке), составляется инструкция, утверждаемая техническим руководителем организации, с четко разработанным оперативным планом действий при аварии, на любой из тепломагистралей или насосной станции, применительно к местным условиям и коммуникациям сети.

Инструкция должна предусматривать порядок отключения магистралей, распределительных сетей и ответвлений к потребителям, порядок обхода камер и тепловых пунктов, возможные переключения для подачи теплоты потребителям от других магистралей и иметь схемы возможных аварийных переключений между магистральями.

Планы ликвидации технологических нарушений в тепловых сетях городов и крупных населенных пунктов согласовываются с местными органами власти.

По разработанным схемам переключений с оперативным и оперативно-ремонтным персоналом тепловых сетей регулярно по утвержденному графику (но не реже 1 раза в квартал) проводятся тренировки с отработкой четкости, последовательности и быстроты выполнения противоаварийных операций с отражением их на оперативной схеме.

Для быстрого проведения работ по ограничению распространения аварий в тепловых сетях и ликвидации повреждений каждый эксплуатационный район теплосети обеспечивает необходимый запас арматуры и материалов. Устанавливаемая на трубопроводах арматура предусматривается однотипной по длине и фланцам.

Аварийный запас материалов хранится в двух местах: основная часть хранится в кладовой, а некоторое количество аварийного запаса (расходного) находится в специальном шкафу в распоряжении ответственного лица из оперативного персонала. Расходные материалы, использованные оперативным персоналом, восполняются в течение 24 ч из основной части запаса.

Запас арматуры и материалов для каждого эксплуатационного района теплосети определяется в зависимости от протяженности трубопроводов и количества установленной арматуры в соответствии с нормами аварийного запаса, составляется перечень необходимых арматуры и материалов, который утверждается ответственным за исправное состояние и безопасную эксплуатацию тепловых сетей организации.

Эксплуатация тепловых пунктов

Основными задачами эксплуатации тепловых пунктов являются:

- обеспечение требуемого расхода теплоносителя для каждого теплового пункта при соответствующих параметрах;
- снижение тепловых потерь и утечек теплоносителя;
- обеспечение надежной и экономичной работы всего оборудования теплового пункта.

При эксплуатации тепловых пунктов в системах теплоснабжения осуществляется:

- включение и отключение систем теплоснабжения, подключенных на тепловом пункте;
- контроль за работой оборудования;
- обеспечение требуемых режимными картами расходов пара и сетевой воды;
- обеспечение требуемых инструкциями по эксплуатации и режимными картами параметров пара и сетевой воды, поступающих на теплоснабжающие энергоустановки, конденсата и обратной сетевой воды, возвращаемых ими в тепловую сеть;
- регулирование отпуска тепловой энергии на отопительно-вентиляционные нужды в зависимости от метеоусловий, а также на нужды горячего водоснабжения в соответствии с санитарными и технологическими нормами;
- снижение удельных расходов сетевой воды и утечек ее из системы, сокращение технологических потерь тепловой энергии;
- обеспечение надежной и экономичной работы всего оборудования теплового пункта;
- поддержание в работоспособном состоянии средств контроля, учета и регулирования.

Эксплуатация тепловых пунктов осуществляется оперативным или оперативно-ремонтным персоналом.

Необходимость дежурства персонала на тепловом пункте и его продолжительность устанавливаются руководством организации в зависимости от местных условий.

Тепловые пункты периодически не реже 1 раза в неделю осматриваются управленческим персоналом и специалистами организации. Результаты осмотра отражаются в оперативном журнале.

Эксплуатация тепловых пунктов, находящихся на балансе потребителя тепловой энергии, осуществляется его персоналом. Энергоснабжающая организация осуществляет контроль за соблюдением потребителем режимов теплоснабжения и состоянием учета энергоносителей.

В случае возникновения аварийной ситуации потребитель тепловой энергии извещает диспетчера и (или) администрацию эксплуатационного предприятия для принятия срочных мер по локализации аварии и до прибытия персонала эксплуатационного предприятия, ограждает место аварии и устанавливает посты дежурных.

Включение и выключение тепловых пунктов, систем теплоснабжения и установление расхода теплоносителя производится персоналом потребителей тепловой

энергии с разрешения диспетчера и под контролем персонала энергоснабжающей организации.

Испытания оборудования установок и систем теплоснабжения на плотность и прочность должны производиться после их промывки персоналом потребителя тепловой энергии с обязательным присутствием представителя энергоснабжающей организации. Результаты проверки оформляются актом.

Опробование работы систем отопления производится после получения положительных результатов испытаний систем на плотность и прочность.

Опробование систем отопления в обвод элеваторов или с соплом большего диаметра, а также при завышенном расходе теплоносителя не допускается.

Давление теплоносителя в обратном трубопроводе теплового пункта должно быть на 0,05 МПа (0,5 кгс/см²) больше статического давления системы теплоснабжения, присоединенной к тепловой сети по зависимой схеме.

Повышение давления теплоносителя сверх допустимого и снижение его менее статического даже кратковременное при отключении и включении в работу систем теплоснабжения, подключенных к тепловой сети по зависимой схеме, не допускается. Отключение системы следует производить поочередным закрытием задвижек, начиная с подающего трубопровода, а включение - открытием, начиная с обратного.

Включение тепловых пунктов и систем пароснабжения осуществляется открытием пусковых дренажей, прогревом трубопровода пара, оборудования теплового пункта и систем пароснабжения. Скорость прогрева зависит от условий дренажа скапливающегося конденсата, но не выше 30 град. С/час.

Распределение пара по отдельным теплоприемникам осуществляется настройкой регуляторов давления, а у потребителей с постоянным расходом пара - установкой дроссельных диафрагм соответствующих диаметров.

11. Источники теплоты систем теплоснабжения. Тепловая схема водогрейной котельной

Принципиальная тепловая схема водогрейной котельной представлена на рис.3.1.

Котлы, устанавливаемые в системе централизованного теплоснабжения, выпускаются производительностью 4; 6,5; 10; 20; 30; 50; 100; 180 Гкал/ч.

Котлы до 20 Гкал/ч могут применяться только в качестве основных источников тепла. Нагрев воды до 150 °С.

Котлы более 30 Гкал/ч могут использоваться как в качестве основного, так и пикового источника тепла. По особому согласованию с заводом – изготовителем котлы могут выпускаться с нагревом до 180 °С.

Марки котлов:

- 1) газомазутные: ПТВМ, КВ-ГМ;
- 2) твердотопливные: КВ-ТК, КВ-ТС.

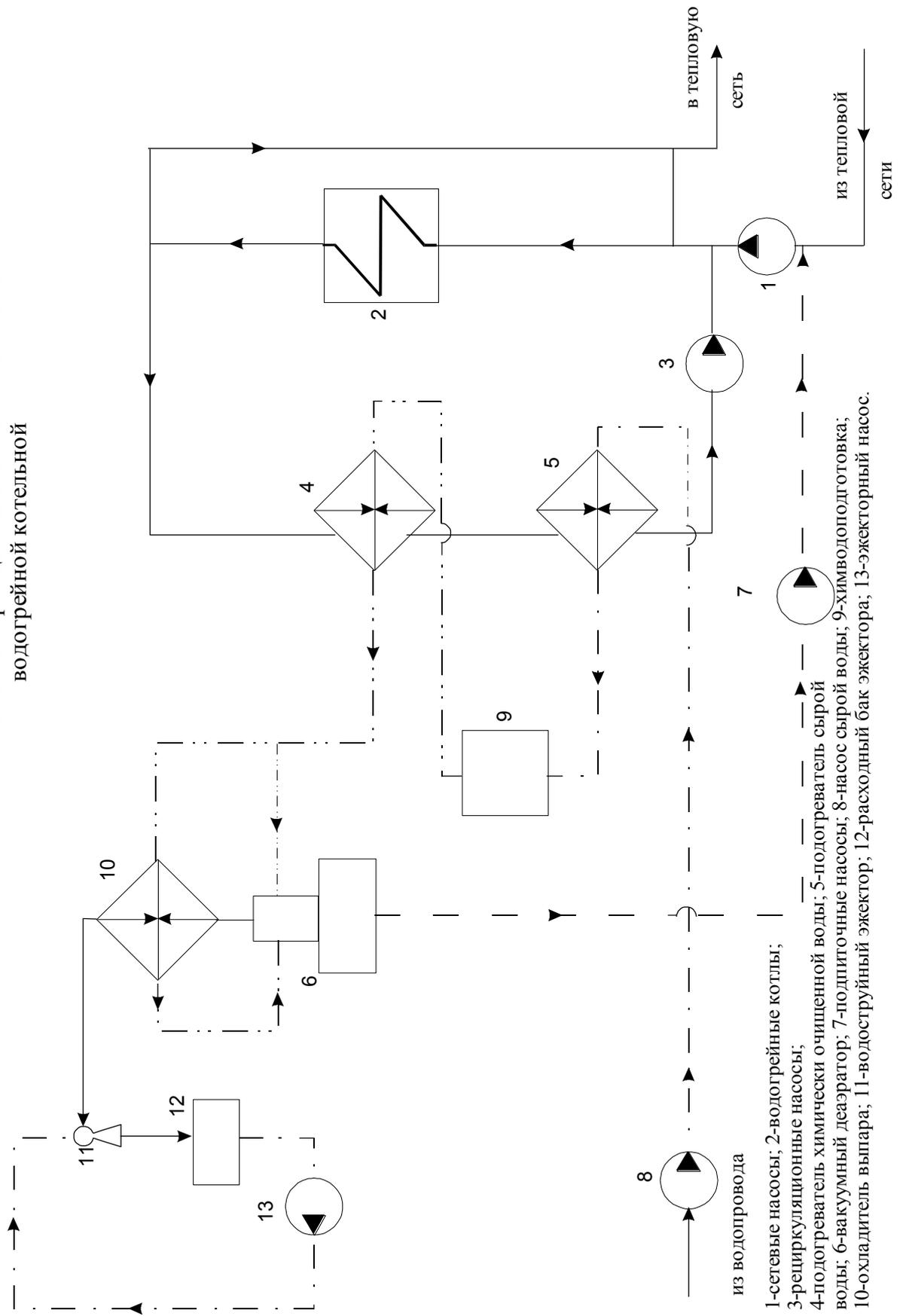
В водогрейных котлах недопустимо парообразование во избежание образования накипи, пережога труб и гидроударов. Для этого необходимо поддерживать постоянной скоростью воды в трубной системе, т.е. водогрейные котлы работают нормально только при постоянном расходе. Давление на выходе из котла должно быть такое, чтобы $t_{нас}$ превосходило на 10...15 °С максимальную температуру в сети – это определяет расположение насоса в схеме.

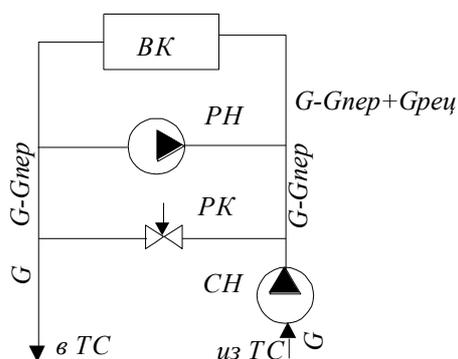
Во избежание низкотемпературной коррозии в хвостовых поверхностях котла поддерживают температуру воды выше температуры точки росы.

Температура точки росы:

- при сжигании газа: 54...57 °С;
 - при сжигании низкосернистого мазута: около 60 °С;
 - при сжигании высокосернистого мазута: около 90 °С.
- Допустимая температура воды на входе в котел при сжигании:
- газа: не ниже 60 °С;
 - низкосернистого мазута: не ниже 70 °С;
 - высокосернистого мазута: не ниже 110 °С.

Рис.3.1. Принципиальная тепловая схема водогрейной котельной





Для поддержания заданной температуры делается узел рециркуляции с выхода котла на вход. При сжигании высокосернистого мазута расход воды через котел должен быть увеличен вдвое. Водогрейные котлы выпускаются с числом ходов по воде кратным двум и при сжигании высокосернистого мазута, а также при использовании котла в пиковом режиме число ходов воды сокращается вдвое. Для поддержания постоянного расхода воды в котле предусмотрен узел перепуска, то есть часть воды проходит мимо котла. Одновременно перепуском регулируется температура воды в подающем трубопроводе.

Рис.3.2. Схема рециркуляции и перепуска

Восполнение потерь воды в сети производится химочищенной деаэрированной водой, поэтому в котельной предусматривается установка химводоочистки и деаэратор.

Деаэратор предусмотрен вакуумного типа. Давление в деаэраторе может быть от 0,07 до 0,6 атм. Обычно деаэратор регулируется на давление 0,3 ата. Он может работать с обогревом и без обогрева. При работе без обогрева температура воды на входе в деаэратор должна быть на 5...10 °С выше температуры насыщения по давлению в деаэраторе. При работе с обогревом температура воды на входе в деаэратор на 5...7 °С ниже температуры насыщения по давлению в деаэраторе. Нагрев производится водой из котла.

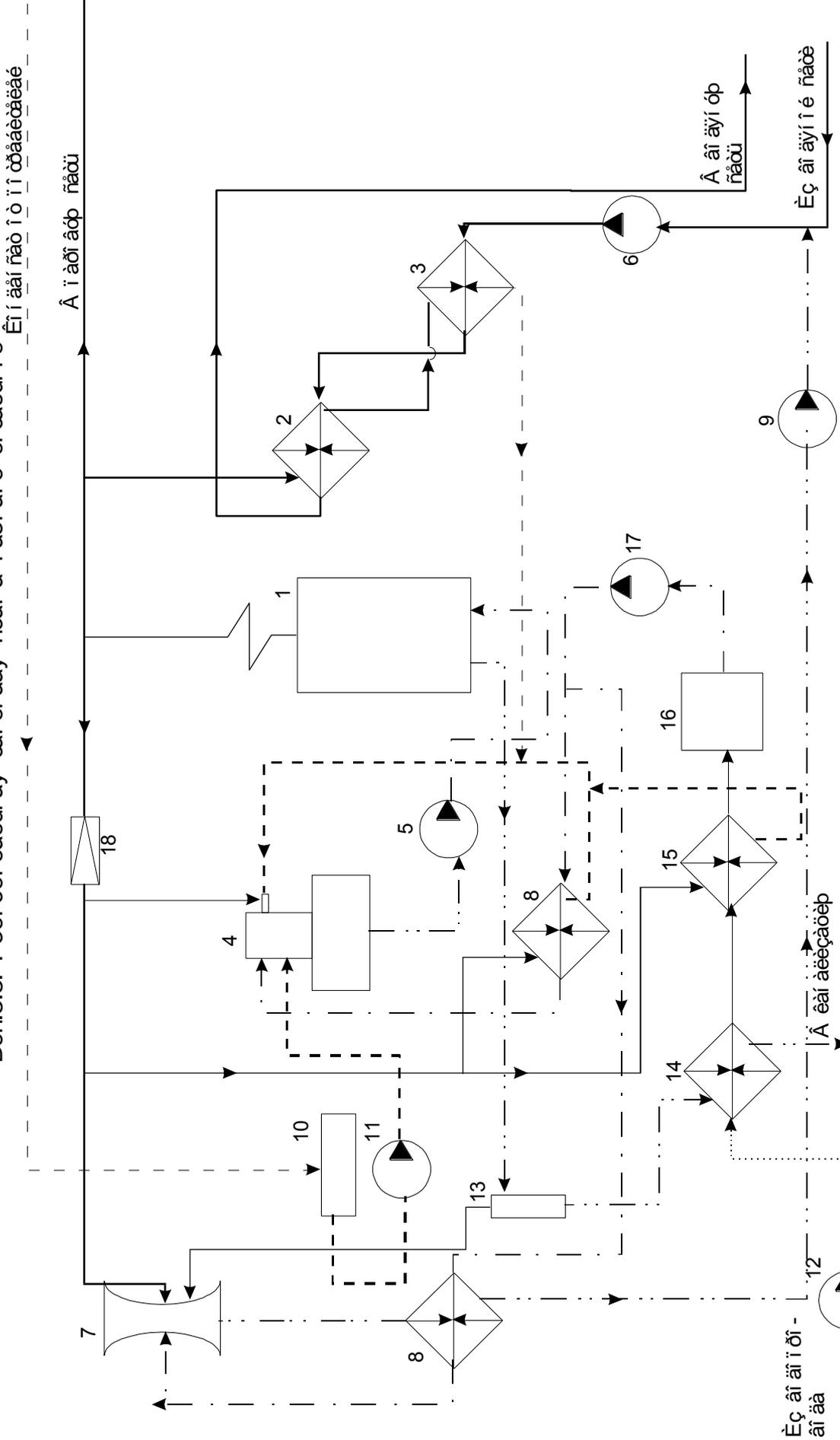
Температура исходной воды зависит от места забора воды. Для нормальной работы водоочистки температура перед ней должна быть 25...40 °С (зависит от схемы химводоочистки). Поэтому перед химводоочисткой вода должна быть нагрета горячей водой из котла в водоводяном теплообменнике. После ХВО температура воды на 0...5 °С ниже температуры воды перед ней. Для нормальной работы деаэратора после ХВО устанавливают водоводяной теплообменник.

При использовании в котельной мазута в качестве основного или резервного топлива, температура воды на выходе из котла должна быть не ниже 100 °С (если мазут поступает по трубопроводам разогретым). При поступлении мазута в цистернах для разогрева при его сливе и перед форсунками котла используется только пар. В этом случае в водогрейной котельной устанавливаются служебные паровые котлы. Схема котельной – по варианту паро-водогрейной.

Для нормальной работы ВПУ требуется большое количество реагентов. При работе водоочистки большое количество агрессивных растворов выбрасывается в окружающую среду. Поэтому при работе системы при температуре не выше 95...105 °С для обработки воды применяются ИОМСы. Они вводятся через дозатор в трубопровод. При этом ионный состав воды не меняется, но сдерживается накипеобразование.

Вместо вакуумных деаэраторов в котельных небольшой производительности можно устанавливать центробежные деаэраторы (труба длиной 1,5 – 2 метра, завихритель. Вода внутри трубы движется по спирали. При этом за счет действия центробежных сил газы отделяются от воды и удаляются в окружающую среду через трубку малого диаметра, расположенной по оси). Недостаток: большие потери давления (до 3...4 атм), вода должна быть нагрета перед деаэратором до температуры не ниже 95 °С.

Đèñ.3.3. Ĭ ðèì òèì èàèüí àý çàì èì ààý ñòàì à Ĭ àðì àì é èì òàèüí í é



- 1- Ĭ àðì àù á èì òèü; 2- Ĭ àðì àì àýì ù á Ĭ Ĭ àì àðààààèè ñàòàì é àì àù; 3- Ĭ òèàèüí é àì àù èì òèì á;
- 5- Ĭ èòàèüí ù á í àññ ñü; 6- ñòààù á í àññ ñü; 7- àààýðàð ð Ĭ Ĭ àì èò ñí é àì àù; 8- Ĭ Ĭ àì àðààààèè òèì è-àñèé Ĭ-èù áì í é àì àù; 9- Ĭ Ĭ è-ò ñí é í àññ ñü; 10- ñàì ðí ù é èì í ààì ñàð ù é áàé; 11- èì í ààì ñàð ù é í àññ ñü; 12- Ĭ àññ ñü ðí é àì àù; 13- ñàì àðàð ð Ĭ Ĭ ðì àòàì ñí é àì àù;
- 14- Ĭ òèàèüí Ĭ ðì àòàì ñí é àì àù; 15- Ĭ àðì àì àýì í é Ĭ Ĭ àì àðààààèü ñü ðí é àì àù; 16- èèì Ĭ Ĭ àì Ĭ Ĭ àà ð áéà; 17- Ĭ àññ ñü òèì è-àñèé Ĭ-è-ù áì í é àì àù; 18- ðààòèð ð.

При работе котельной на открытые системы в схеме источника тепла обязательно предусматривается установка бака - аккумулятора после деаэрата.

Тепловая схема паровой котельной

Принципиальная тепловая схема паровой котельной представлена на рис.3.3.

Паровые котельные сооружаются при отпуске тепла с паром и в небольшом количестве - с горячей водой. Промышленные паровые котлы выпускаются на давление 9, 14, 20,

40 атмосфер. Котлы 9 атм имеют производительность 0,2...2,5 т/ч; котлы 14 атм – 2,5; 4; 6,5; 10; 16; 25; 35; 50; 100 т/ч. Котлы на давление 9, 14, 20 атм вырабатывают либо сухой насыщенный пар, либо слабо перегретый (температура перегретого пара не выше 250 °С).

Маркировки котлов:

ДЕ – 25 – 14 ГМ;

ДЕ – 25 – 14/225 ГМ.

Для поддержания солевого баланса делается продувка котла. Максимально допустимая величина продувки для котлов до 14 атм включительно не более 10%, а для давления 20 и 40 атм – не более 5% паропроизводительности.

При величине продувки более 1 т/ч обязательно использование тепла продувочной воды. Для этого в схеме котельной предусмотрена установка расширителя с сепаратором непрерывной продувки. Вода после сепаратора должна быть охлаждена до температуры порядка 40...50 °С. Для охлаждения предусмотрена установка теплообменников, в которых греется либо сырая вода, либо химочищенная вода перед деаэратором. Пар после сепаратора используется в деаэраторе.

Пар внешним потребителям отпускается либо непосредственно из котла, либо через РОУ или РУ.

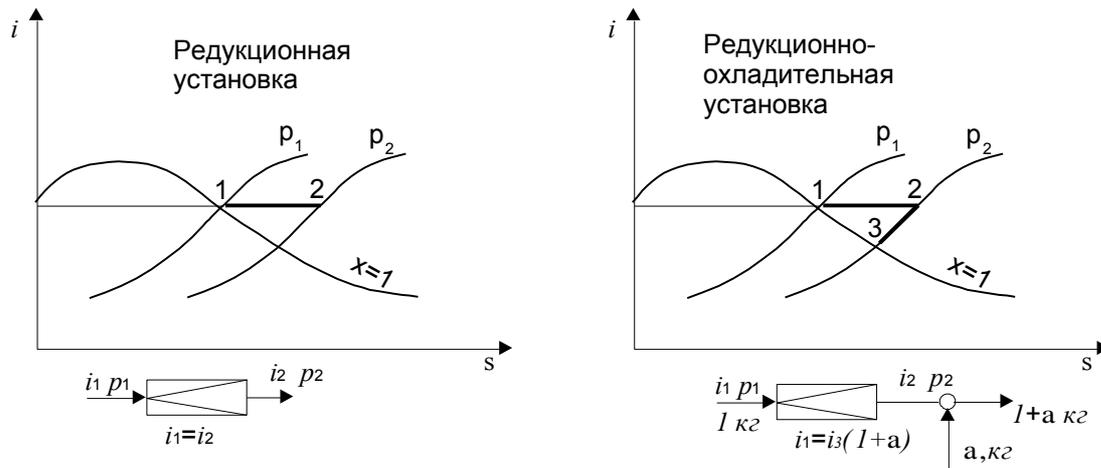


Рис.3.4. Схема редуционных установок

Пар на собственные нужды котельной подается только через РУ. При отпуске тепла с горячей водой в котельной обязательно устанавливаются не менее двух пароводяных сетевых подогревателей и резервные не устанавливаются.

Для снижения температуры конденсата (из условия нормальной работы деаэрата) обязательна установка охладителей конденсата. Температура конденсата после них составляет 90...95 °С.

При частичном или полном возврате конденсата от потребителей в котельной предусмотрена установка не менее двух конденсатных баков. Отстоявшийся в баке конденсат должен быть охлажден и пропущен через химводоочистку для очистки от

масел, окислов железа и др. Так как требования к качеству питательной и подпиточной воде разные (по содержанию солей жесткости), то в котельной предусмотрена установка двух деаэраторов атмосферного типа (давление 1,2 атм, температура 104 °С). Для уменьшения потерь пара через деаэратор подпиточной воды химочищенная вода должна быть нагрета перед ним до температуры 90...95 °С. Допускается установка одного совмещенного деаэратора при работе на закрытые системы и мягкой исходной воде.

Если средневзвешенная температура входящих потоков Д-1 недопустимо низка, то после ОСВ ставится дополнительный пароводяной теплообменник.

Температура питательной воды для котлов с давлением до 20 атм включительно должна быть не ниже 100 °С. Если котлы вырабатывают пар с давлением 40 атм, то температура питательной воды должна быть 145 °С. В этом случае питательная вода после атмосферного деаэратора догревается до требуемой температуры в пароводяном теплообменнике.

Тепловая схема пароводогрейной котельной

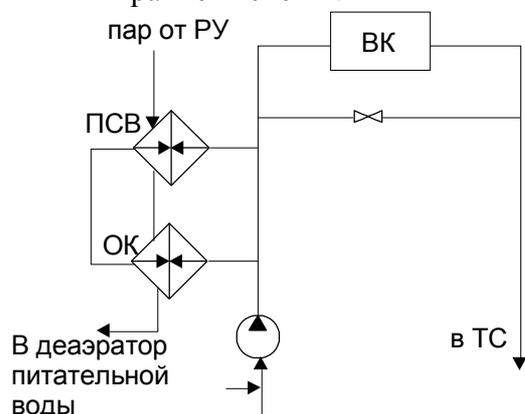
Принципиальная тепловая схема пароводогрейной котельной представлена на рис.3.4.

При суммарном отпуске тепла с паром и горячей водой более 50 МВт (из них более 50% с горячей водой) целесообразно устанавливать паровые и водогрейные котлы. Окончательный выбор варианта котельной должен определяться технико-экономическим расчетом.

При составлении тепловой схемы пароводогрейной котельной должны учитываться особенности как паровых, так и водогрейных котельных, а именно: в котельной должно быть два деаэратора. Питательный деаэратор должен быть только атмосферного типа. Подпиточный деаэратор может быть как атмосферного, так и вакуумного типа. Обогрев в атмосферных деаэраторах производится только паром, а вакуумные деаэраторы могут работать с паровым, водяным обогревом или без обогрева. Химочищенная вода перед деаэратором нагревается тем же теплоносителем, что и деаэратор. Если деаэратор без обогрева – то по выбору проектировщика.

Наличие в котельной паровых и водогрейных котлов позволяет использовать водогрейные котлы для покрытия части коммунально-бытовой нагрузки. Так, в открытых системах при подогреве сырой, химочищенной воды и подпиточного деаэратора паром, нагрузка ГВС обеспечивается работой паровых котлов, а водогрейные котлы рассчитываются на отпуск отопительно-вентиляционной нагрузки. В закрытых системах возможно применение двухступенчатого подогрева сетевой воды: сначала в пароводяных теплообменниках, а затем в водогрейных котлах.

Фрагмент схемы:



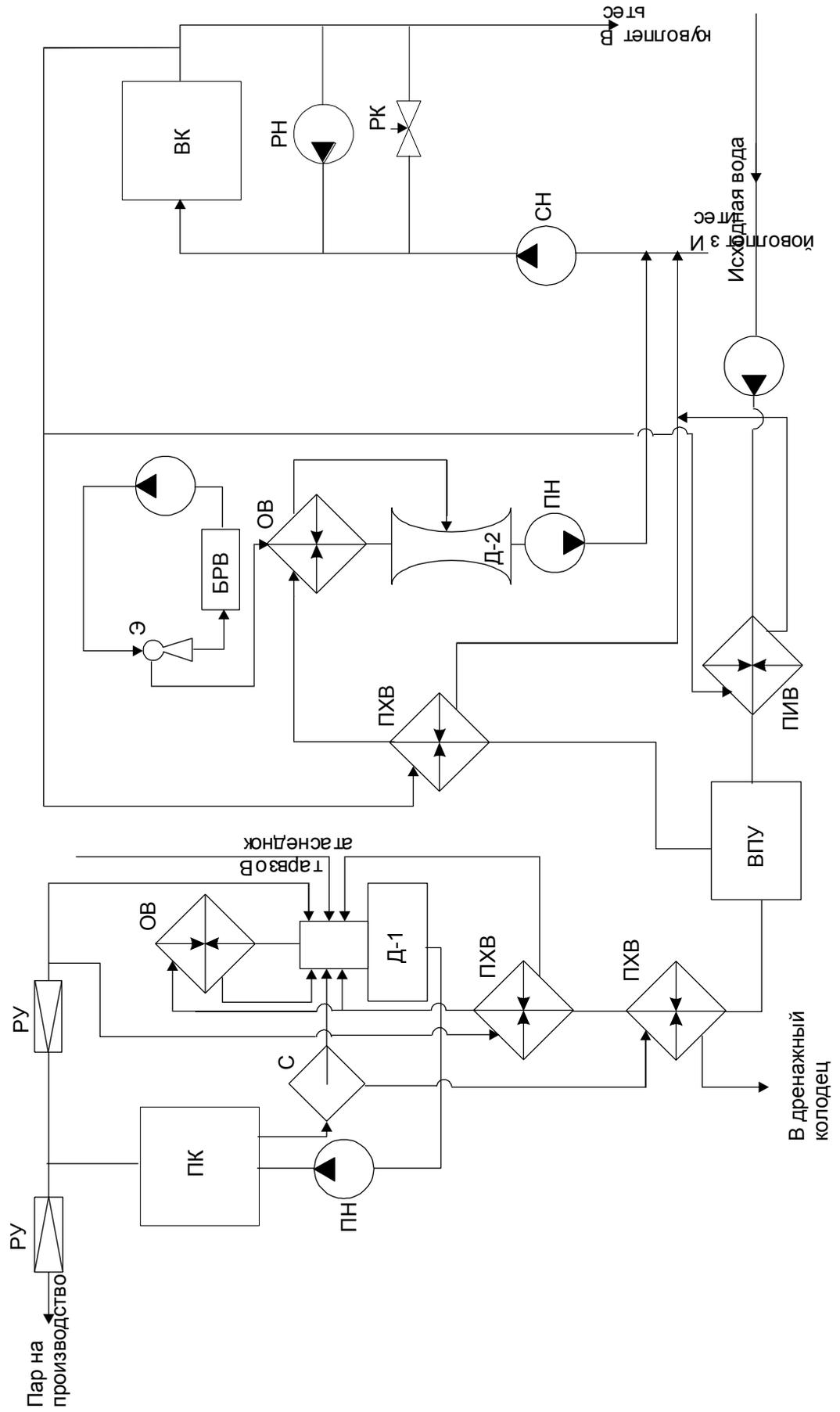
Такое решение удорожает котельную, но возможности резервирования и надежности теплоснабжения увеличиваются.

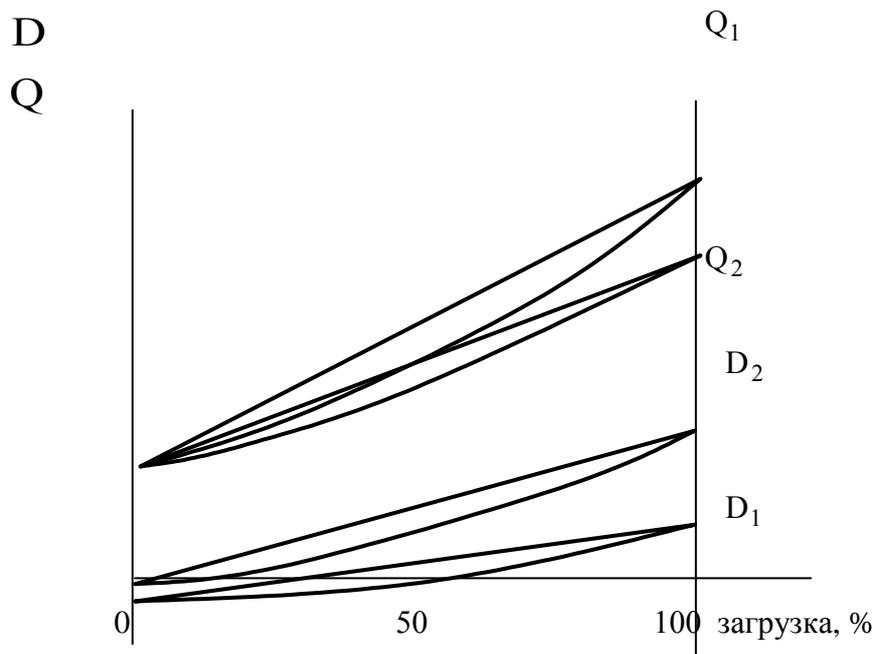
С целью уменьшения количества устанавливаемых котлов в пароводогрейной котельной созданы унифицированные пароводогрейные котлы, которые могут вырабатывать либо один вид теплоносителя (пар или горячую воду), либо два вида (и пар, и горячую воду).

На основе котла ПТВМ – 30 разработан котел КВП – 30/8 (30 Гкал/ч – производительность по воде, 8 т/ч – производительность по пару).

При работе в пароводогрейном режиме в котле формируются два самостоятельных контура: паровой и водогрейный. Распределение поверхностей нагрева между этими контурами может быть разным. При различных включениях поверхностей нагрева может меняться тепло- и паропроизводительность при неизменной суммарной мощности котла.

Рис. 3.4. Принципиальная схема системы отопления и горячего водоснабжения





Для разделения пароводяной смеси в паровой контур должен быть включен выносной циклон – сепаратор.

Недостатком пароводяных котлов является невозможность регулирования одновременно нагрузки и по пару, и по горячей воде. Как правило, регулируется работа котла по отпуску тепла с водой. При этом паропроизводительность котла определяется характеристикой. Возможно появление режимов с избытком или недостатком паропроизводительности. Для использования избытков пара на линии сетевой воды обязательна установка пароводяного теплообменника. В остальной схеме с комбинированными котлами аналогична схеме водогрейной котельной с разнотипными котлами.

ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ (ВЭР)

Вторичные энергетические ресурсы – это потенциал основного или промежуточного продукта, отходов, образующихся в технологических агрегатах, но не использованного в них. Этот потенциал может частично или полностью использоваться для теплоснабжения и других целей.

Различают ВЭР избыточного давления – потенциальная энергия газов и жидкостей, покидающих технологические агрегаты с избыточным давлением, которые необходимо снижать перед их использованием на следующем этапе или выбросом в атмосферу, тепловые – физическое тепло отходящих газов технологических установок, физическое тепло основной и побочной продукции, тепло рабочих тел систем принудительного охлаждения, тепло горячей воды и пара, топливные – горючие газы плавильных печей, горючие газы процессов химической и термохимической переработки сырья, отходы деревопереработки и т.п. При использовании ВЭР экономится топливо на замещаемых установках. ВЭР могут использоваться в виде топлива, для выработки тепла с паром или горячей водой, для выработки электроэнергии.

Использование тепла уходящих газов.

Целесообразность использования тепла уходящих газов определяется их температурой и количеством. Температура уходящих газов $t = \beta \sqrt{t_{гор} t_{nc}} \geq t_{проц}$. Здесь $t_{гор}, t_{nc}, t_{проц}$ температуры горения, продуктов сгорания и технологического процесса; b – коэффициент смесеобразования, зависящий от способа подачи топлива и вида горелочных устройств. $b = 0.68 \dots 0.96$. Количество уходящих газов определяется как $V_z = B(V_{nc} + \Delta V_g)(1 - z)$.

B – расход топлива; z – коэффициент выбивания газов из рабочей зоны; ΔV_g – подсосы воздуха в газоходе.

Различают внутреннее и внешнее использование тепла уходящих газов.

1. Внутреннее (регенеративное) – для нагрева компонентов топлива или исходного сырья. При таком использовании тепла снижается расход топлива на технологический процесс, поэтому это направление использования тепла предпочтительнее.

2. Внешнее технологическое. При этом топливо экономится на технологическом агрегате.

3. Внешнее энергетическое – для выработки пара или горячей воды. Топливо экономится на ТЭЦ или в котельной.

4. Комбинированное.

В качестве утилизаторов тепла применяются котлы-утилизаторы. Котлы-утилизаторы классифицируются по:

1. температуре газов на входе в котел. Котлы с температурой газов от 400 до 900 °С относятся к низкотемпературным. Котлы с температурой газов от 900 до 1100 °С относятся к котлам высокотемпературной группы. В диапазоне температур от 900 до 1100 °С выбор типа котла зависит от агрегатного состояния технологического уноса. При жидком уносе применяют котлы высокотемпературной группы, при гранулированном уносе – котлы низкотемпературной группы;
2. способу циркуляции – котлы с естественной и принудительной циркуляцией. Принудительная циркуляция позволяет применить разобщенное размещение элементов котла;
3. параметрам пара – низкие, средние, высокие;
4. компоновке.

а. Схемы отпуска тепла от ТЭЦ.

Особенности отпуска тепла от турбин типа Р

При использовании этих турбин вся электроэнергия вырабатывается в теплофикационном режиме, но так как существует жесткая связь между отпусками тепла и выработкой электроэнергии, то станции только турбинами типа Р не оснащаются.

1. Пар после турбин с давлением 1.2...4 атм. используется для подогрева сетевой воды. В этом случае сетевую воду можно подогреть до температуры 115...120 °С, т.е. турбины рассчитываются на покрытие основной нагрузки, а пиковая нагрузка покрывается пиковыми водогрейными котлами. Но лучше покрывать паром из турбин типа Р только нагрузку ГВС.

2. Пар используется для покрытия технологической нагрузки низкого давления и базисной части коммунально-бытовой нагрузки, Р=4...9 атм.

2. Покрывается технологическая нагрузка повышенного давления Р=10...15 атм.

Особенности схем отпуска тепла от турбин с отборами.

Максимальное давление в теплофикационном отборе определяется по температуре сетевой воды, соответствующей средней за отопительный период температуре наружного воздуха. С переходом на повышенный температурный график должно расти давление в теплофикационном отборе, а с ростом давления снижается выработка электроэнергии в теплофикационном режиме. Чтобы не ухудшать экономические показатели теплофикационных турбин, теплофикационные отборы делают сдвоенными с одним регулятором давления. Пределы регулирования давления в нижнем теплофикационном отборе 0.6...2.0 атм., в верхнем – 0.6...2.5, 2.0 атм. Давление регулируется либо в нижнем отборе, либо в верхнем. Если регулирование происходит в верхнем отборе, то нижний становится нерегулируемым с $P=0.85$ атм. Теплофикационные турбины имеют в конденсаторах встроенные конденсационные пучки в которых можно подогревать сетевую воду не меняя давления в конденсаторе. При работе встроенных конденсационных пучков можно получить до 10 Гкал/ч тепла. Сегодня во встроенных пучках можно греть сырую воду перед химводоочисткой в открытых системах теплоснабжения.

Схема подогрева сетевой воды на станциях как правило двухступенчатая. Первая ступень – основной подогреватель (бойлер), в котором сетевая вода греется паром теплофикационного отбора. Пиковая часть нагрузки может обеспечиваться работой пиковых водогрейных котлов, либо паром производственного отбора.

Для деаэрации подпиточной воды могут использоваться вакуумные или атмосферные деаэраторы. Обогрев деаэратора осуществляется как правило паром регулируемого или нерегулируемого отбора.

Перевод турбин в режим ухудшенного вакуума.

В этом случае конденсатор используется для подогрева сетевой воды. Конденсатор нормально работает при давлении $< 0.8...0.9$ ата. Поэтому сетевую воду можно нагреть максимум до $80-90$ °С. Схема нагрева сетевой воды становится трехступенчатой – конденсатор-основной подогреватель-пиковый котел. Так как допустимое давление по воде в конденсаторе не более $2...2.5$ атм., то конденсатор включают в схему подогрева до сетевых насосов.

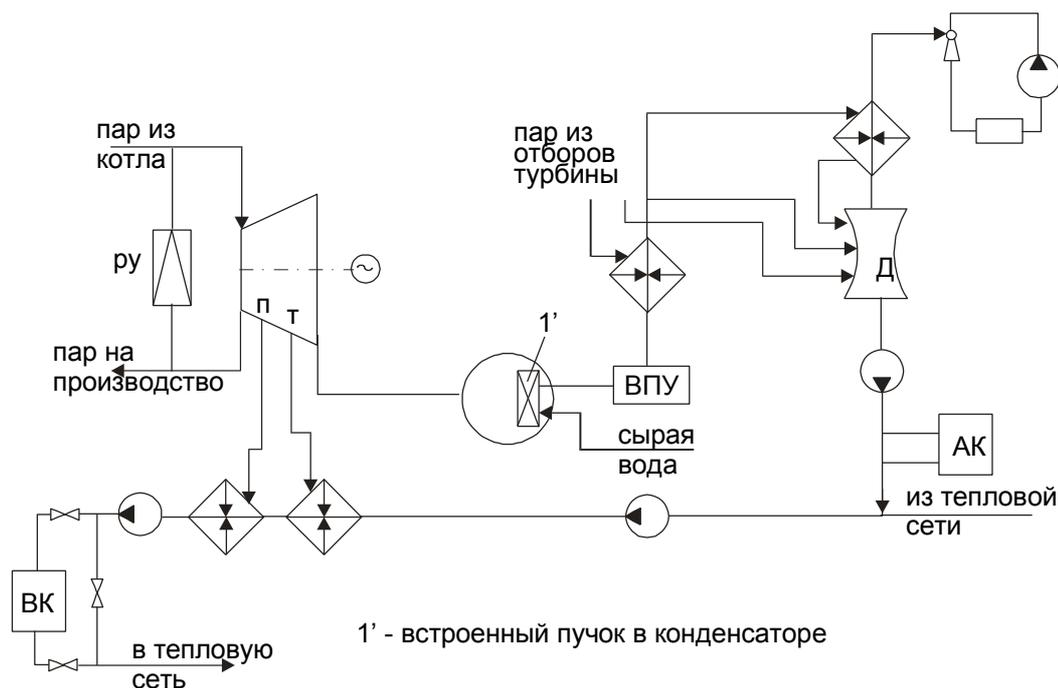


Рис.4.6. Схема отпуски тепла от ТЭЦ
Режимы работы ступеней нагрева ТЭЦ

Одной из характеристик работы ТЭЦ является коэффициент теплофикации α - отношение количества тепла из отборов турбины к общему количеству тепла, отпускаемого от ТЭЦ.

$$\alpha_{T(П)} = \frac{Q'_{отб}}{Q'_{отб} + Q'_{пик}}, \quad \alpha_T = 0.4 \dots 0.6, \quad \alpha_P = 0.8 \dots 1.0.$$

Различают следующие режимы работы ступеней нагрева сетевой воды.

1. Режим с использованием максимальных параметров в отборе. Пиковая нагрузка покрывается паром производственного отбора.
2. Режим с постоянным перепадом температур по сетевой воде. Пиковая нагрузка обеспечивается работой водяного котла.
3. Режим, сочетающий особенности первых двух (тоже с пиковым водяным котлом).

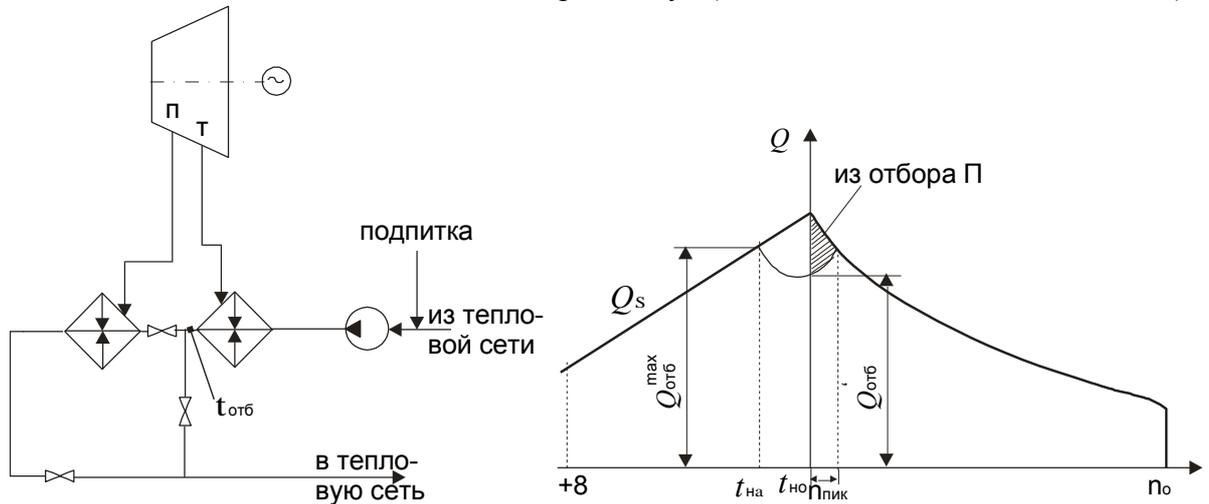


Рис.4.7.

Технико-экономическим расчетом определяется оптимальное значение α . По известному $P_{отб}^{max}$ определяется максимально возможная температура сетевой воды на выходе из основного подогревателя ($t_{отб}$). $\delta P = 0.2 \dots 0.3$ ата.

$$P_{кон}^{max} = P_{отб}^{max} - \delta P, \quad \text{где } \delta P - \text{потери по пути от турбины до подогревателя.}$$

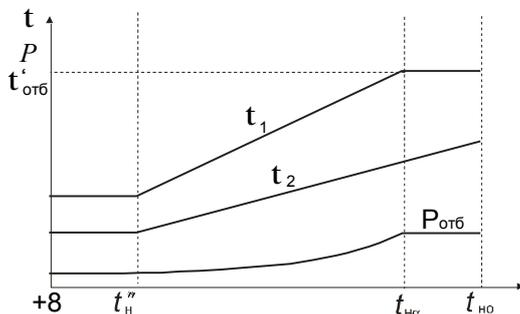


Рис.4.8.

включается и пиковый подогреватель. $Q_{отб}^{max}$ соответствует максимальному отбору пара в отборе Т при отключенном отборе П. С введением в работу пикового подогревателя расход пара в отборе Т уменьшается до номинального.

По $P_{кон}^{max}$ определяют $\tau_{конд}^{max}$. Расчетное значение $\tau'_{отб} = \tau_{конд}^{max} - \Delta t_{неод}$, $Dt_{неод} = 10 \dots 15$ °С. По $\tau'_{отб}$ на графике температур проводят горизонтальную линию. Сплошная линия t_1 есть график температуры на выходе из основного подогревателя. При $t_n > t_{на}$ отпуск тепла обеспечивается только работой основного подогревателя. При $t_n < t_{на}$ в работу

Рассмотрим случай, когда установлен пиковый водяной котел.

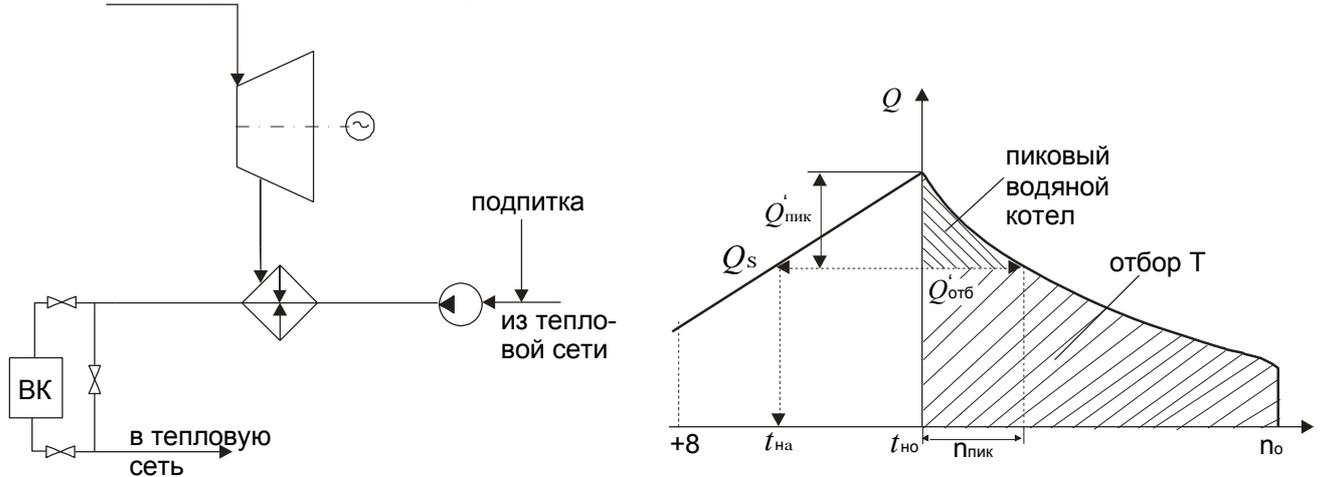


Рис.4.9.

Технико-экономическим расчетом определяется оптимальное значение a и $Q'_{отб}$. При $t_n > t_{на}$ работает только основной подогреватель.

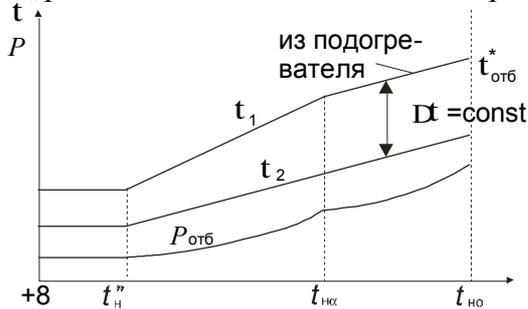


Рис.4.10.

При $t_n < t_{на}$ включаются основной подогреватель и пиковый водяной котел.

При включении в работу водяного котла нагрузка теплофикационного отбора не меняется, что можно обеспечить при постоянном расходе в сети выдерживая постоянный перепад давления по сетевой воде на основном подогревателе.

При работе по режиму 2 $\tau'_{отб} < \tau^*_{отб}$, определенному в п.1. При работе по режиму 3 определяются $\tau'_{отб} = \tau^*_{отб}$. По найденному $\tau^*_{отб}$ находят $t_{на}$ и $Q'_{отб}$.

Список использованных источников:

1. Тихомиров А.К. Теплоснабжение района города. - Хабаровск: ТГТУ, 2006.
2. Беляйкина И.В. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию - М.: Энергоатомиздат, 1988.