

давлений на выходе системы ХВС и в водопроводе достигнет минимальной заданной величины. Насосы отключаются последовательно: сначала дополнительный, потом основной. Кроме того, на случай выхода из строя регулятора $PД$ предусмотрено отключение насосов по команде от датчика 7 при повышении давления p_5 выше заданного предела.

Автоматизация циркуляционно-повышающих насосов (ЦПН) (см. рис. 6.22). Основной насос $ЦПН-1$ находится в работе постоянно. Резервный насос $ЦПН-2$ выполняет одновременно функции дополнительного и подключается в часы интенсивного водоразбора. Это

позволяет не допускать предельных режимов работы основного насоса и, в то же время, обеспечивает достаточное его резервирование. Команда на включение насоса $ЦПН-2$ как дополнительного поступает либо от датчика 2, контролирующего интенсивность водоразбора по перепаду давлений на водомере, либо от датчика 10, когда давление p_7 в системе ГВС будет ниже, чем давление p_5 в системе ХВС. Выключение насоса $ЦПН-2$ происходит при нормализации указанных параметров. В качестве резервного насоса $ЦПН-2$ включается при выходе из строя основного насоса по команде от датчика 9.

6.5. РЕГУЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА ТЕПЛОВЫХ ПУНКТАХ

Для поддержания заданного гидравлического режима на тепловых пунктах регулируются: расход теплоносителя из тепловой сети, располагаемый напор в системах отопления, давление теплоносителя в обратном трубопроводе системы отопления, давление воды в циркуляционном трубопроводе системы горячего водоснабжения, давление подпитки систем отопления при их независимом присоединении к тепловой сети. Автоматическое регулирование располагаемого напора (расхода) осуществляется гидравлической автоматикой, состоящей из датчиков типа РД-3а и регулирующих клапанов типа РК 1. Кроме того, применяют регуляторы прямого действия типов УРРД, РР. Для регулирования давления в тепловых пунктах используют, как правило, только регуляторы прямого действия типа УРРД, 21ч10 (12)иж, 21ч26р, 17ч36р.

Подпитка независимых систем отопления производится по уровню воды в расширительном баке, присоединенном к верхней точке системы отопления. При снижении уровня до заданного предела по команде от датчика нижнего уровня на тепловом пункте открывается электрифицированная задвижка и включаются подпиточные насосы, заполняющие бак сетевой водой. При достижении заданного уровня по команде от датчика верхнего уровня подпиточные насосы выключаются и электрифицированная задвижка закрывается, отсекая систему отопления от тепловой сети.

При отсутствии расширительного бака подпитка производится постоянно; величина подпитки регулируется по давлению в обратном трубопроводе системы отопления с помощью регуляторов прямого действия (как показано на рис. 6.2).

Схема регулирования располагаемого напора (расхода) (рис. 6.23) состоит из регулирующего прибора РД-3а, трехсильфонной сборки и нормально открытого регулирующего клапана РК1. Отбор рабочей воды для работы гидроавтоматики осуществляется из трубопровода водопроводной воды через вентиль В1. Прибор поддерживает постоянный перепад давлений между подающим и обратным трубопроводами тепловой сети (вентили В2, В3). Регулируемый перепад давлений воздействует

на чувствительный сильфон реле РД-3а и уравнивается натяжением настроечной пружины. При увеличении располагаемого напора клапанок реле прикрывается, выходное давление p_2 увеличивается. Под действием давления p_2 клапан РК1 прикрывается, снижая давление после себя p_1 и, следовательно, располагаемый напор $p_1 - p_2$. При уменьшении располагаемого напора процесс происходит в обратной последовательности.

Для наблюдения за работой схемы контролируют следующие параметры: давление в подающем трубопроводе до и после регулируемого клапана p_1, p_2 ; давление в обратном трубопроводе p_2 ; давление рабочей воды p_0 ; командное давление на гидропривод регулирующего клапана p_2 .

6.6. РЕГУЛИРОВАНИЕ РАСХОДА ТЕПЛОТЫ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Системы централизованного теплоснабжения городов представляют собой сложный инженерный комплекс установок и устройств (ТЭЦ или котельная, тепловая сеть, потребители теплоты), работа которых характеризуется взаимосвязанностью тепловых и гидравлических режимов.

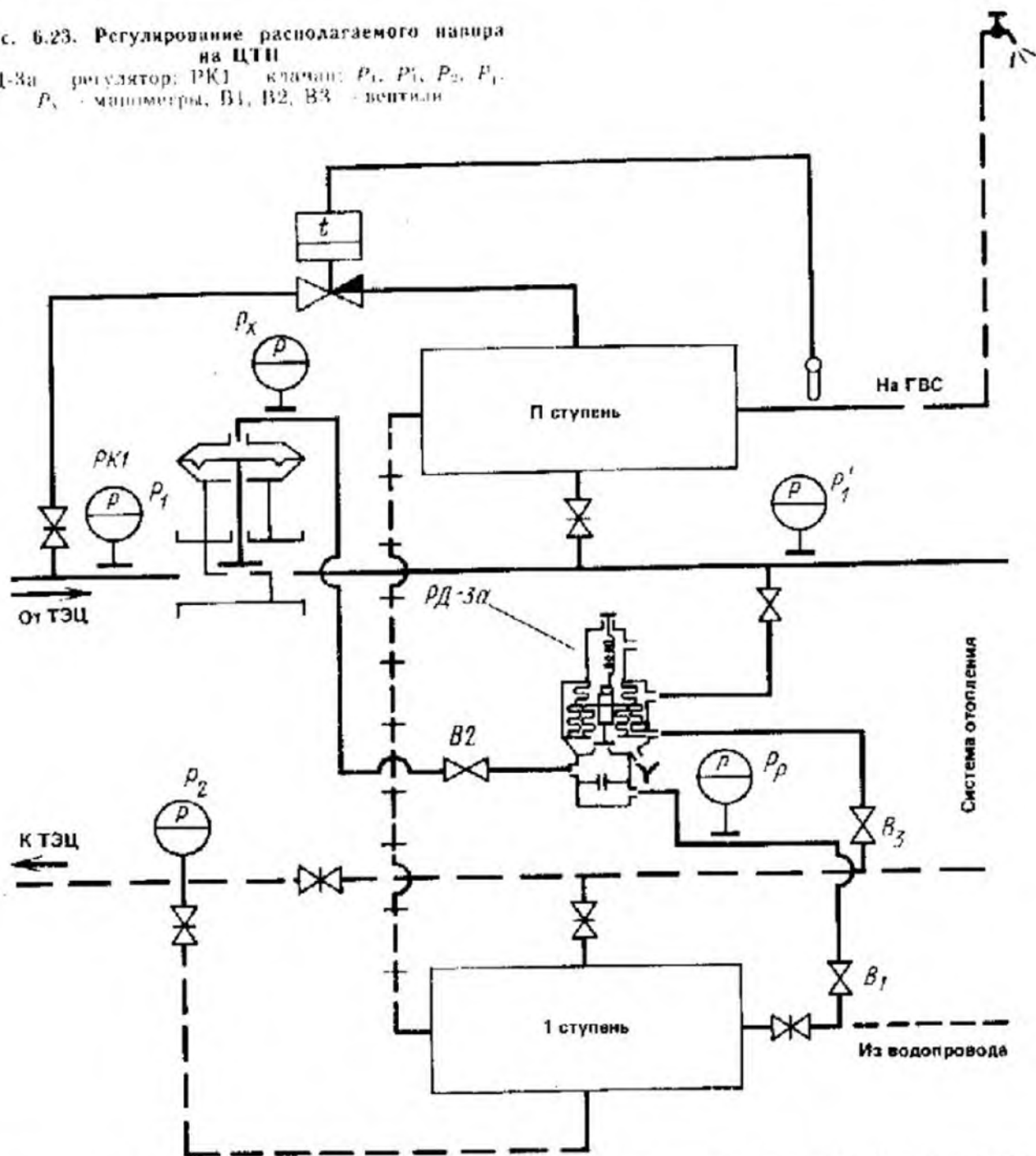
В современных системах теплоснабжения по единым тепловым сетям теплота одновременно отпускается на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение многочисленным потребителям.

Режимы потребления теплоты местными системами зданий неодинаковые и зависят от различных факторов. Так, расход теплоты на отопление зависит от метеословий конкретного района, в котором расположено здание (температура наружного воздуха, скорость ветра, инсоляция), а расход теплоты на горячее водоснабжение определяется характером водопотребления на бытовые нужды.

В настоящее время отпуск теплоты в системах централизованного теплоснабжения регулируется, как правило, на источниках тепла (ТЭЦ и котельных) путем изменения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети в зависимости от температуры наружного воздуха. Однако оптимальный тепловой режим в зданиях при экономичном расходовании топлива нельзя соз-

Рис. 6.23. Регулирование расходуемого напора на ЦТП

РД-3а регулятор; РК1 клапан; P_1, P_1', P_2, P_1' манометры; В1, В2, В3 - вентили



дать с помощью только центрального регулирования вследствие несоответствия параметров теплоносителя потребностям разнохарактерных систем отопления и горячего водоснабжения зданий, подключенных к единой системе теплоснабжения.

Основными причинами несоответствия являются: неоднородность теплотребления систем отопления и горячего водоснабжения, различные расчетные температуры воздуха в отапливаемых помещениях, неодинаковое охлаждение сетевой воды в тепловых сетях и транспортные запаздывания, различная теплоустойчивость зданий. При центральном регу-

лировании особенно значителен перерасход теплоты системами отопления зданий в переходный период отопительного сезона, когда из-за необходимости обеспечения нормальной работы систем горячего водоснабжения температура сетевой воды на выходе источника теплоты поддерживается постоянной примерно 70°C.

Для повышения качества теплоснабжения центральное регулирование отпуска теплоты должно дополняться: групповым регулированием на центральных тепловых пунктах (ЦТП), местным регулированием на индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) и регулированием на

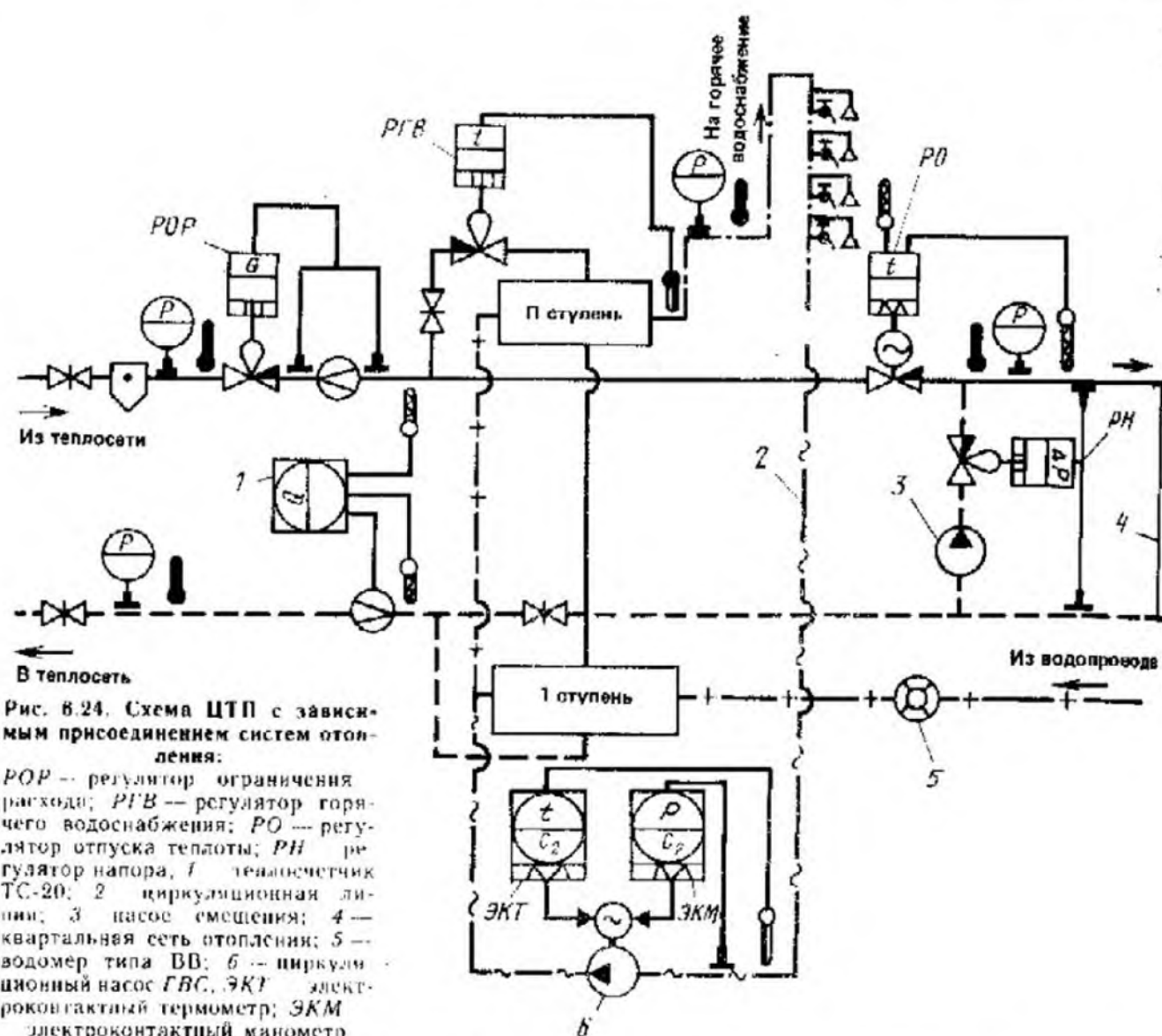


Рис. 6.24. Схема ЦТП с зависимым присоединением систем отопления:

ROP — регулятор ограничения расхода; *RGV* — регулятор горячего водоснабжения; *PO* — регулятор отпуска теплоты; *РН* — регулятор напора; *T* — тепловычислитель ТС-20; *2* — циркуляционная линия; *3* — насос смещения; *4* — квартальная сеть отопления; *5* — водомер типа ВВ; *6* — циркуляционный насос ГВС; *ЭКТ* — электроконтактный термометр; *ЭКМ* — электроконтактный манометр

теплоотребляющих приборах в системах отопления. В этих условиях на ближайшую перспективу необходимо сочетание центрального регулирования отпуска теплоты с групповым или, при отсутствии в системах теплоснабжения ЦТП, с местным регулированием.

6.7. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДА ТЕПЛОТЫ НА ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТАХ

Центральный тепловой пункт с зависимой схемой присоединения систем отопления. Принципиальная схема автоматизации ЦТП при смешанной (параллельной) схеме включения теплообменников горячего водоснабжения, обес-

печивающая регулирование отпуска теплоты, представлена на рис. 6.24. Существующая технологическая схема ЦТП с зависимым присоединением систем отопления дополняется смесительным насосом, обеспечивающим возможность подмеса теплоносителя из обратного трубопровода в подающий трубопровод.

Для группового регулирования отпуска теплоты системам отопления устанавливают регулятор отпуска теплоты *PO* и регулятор напора *РН*.

Автоматическое регулирование отпуска теплоты системам отопления осуществляется поддержанием требуемой температуры теплоносителя в подающем трубопроводе после ЦТП (или разности температур в подающем и обратном трубопроводах) по заданной программе в зависимости от метеоусловий. *РН* поддерживает заданный расход теплоносителя, поступающего из ЦТП, системам отопления. В ка-

честве регулятора отпуска теплоты применяют регулирующие приборы типа Р.25.2 или Т-48 с регулирующим клапаном типа 25ч931нж.

Автоматическое регулирование отпуска теплоты системам горячего водоснабжения обеспечивается поддержанием регулятором горячего водоснабжения РГВ заданной температуры воды, поступающей в сеть горячего водоснабжения, и созданием требуемого режима циркуляции. В качестве РГВ устанавливают регулирующий прибор типа ТМР с регулирующим клапаном РК-1.

Требуемый режим циркуляции в сети горячего водоснабжения поддерживается электроконтактным термометром ЭКТ и электроконтактным манометром (ЭКМ):

ЭКТ за счет включения и выключения циркуляционного насоса поддерживает заданную температуру воды в циркуляционной линии;

ЭКМ при понижении давления в циркуляционной линии (в часы максимального водоразбора) выключает циркуляционный насос для недопущения «опорожнения» верхних точек систем горячего водоснабжения зданий.

В местных системах горячего водоснабжения зданий на циркуляционных стояках устанавливают термодроссели РТ-3513.

Для сокращения расхода сетевой воды, поступающей на ЦТП в период прохождения максимума нагрузки горячего водоснабжения, устанавливается регулятор ограничения расхода РОР. В качестве РОР может быть применен регулирующий прибор типа РД-3а (РД-3б) с регулирующим клапаном РК-1 и измерительной диафрагмой. Функции ограничения расхода сетевой воды на ЦТП может также выполнять регулирующий прибор Р.25.2 типа Т-48 (регулятор отпуска теплоты) при вводе в них электрического импульса от расходомера, устанавливаемого на входе в ЦТП.

Величина ограничения расхода сетевой воды на ЦТП определяется расчетными расходами теплоносителя на центральном пункте, принятым при разработке гидравлического режима тепловых сетей.

Центральный тепловой пункт с независимым присоединением систем отопления. Принципиальная схема автоматизации ЦТП с независимым присоединением систем отопления показана на рис. 6.25. На ЦТП предусмотрена смешанная или параллельная схема включения теплообменников горячего водоснабжения.

Групповое регулирование отпуска теплоты системам отопления обеспечивается регулятором отпуска теплоты РО путем поддержания требуемой температуры теплоносителя в подающем трубопроводе второго контура ЦТП по заданной программе в зависимости от метеословесных условий. Установка дополнительного смешительного насоса при данной схеме не требуется.

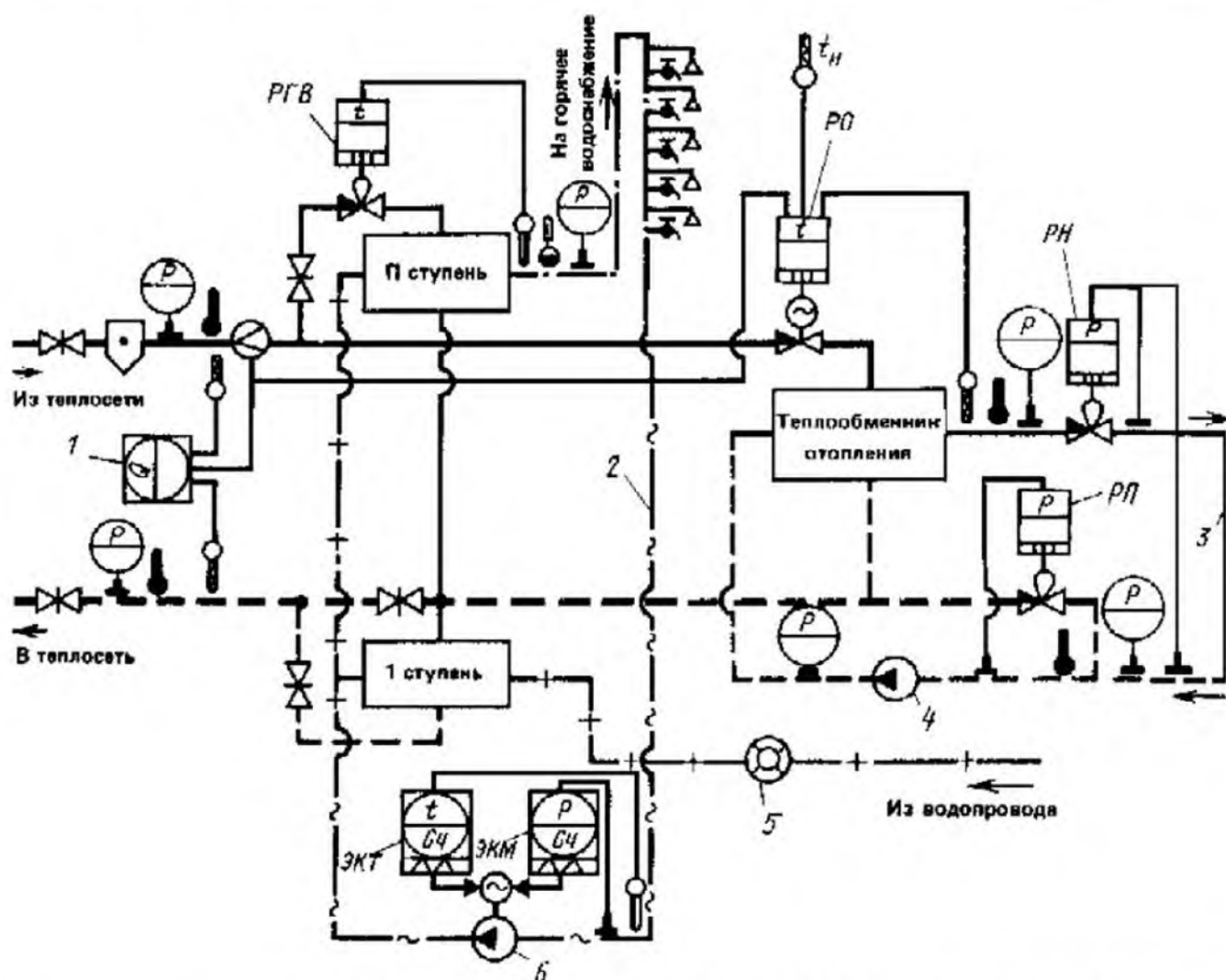
В качестве регулятора отпуска теплоты применяют регулирующие приборы типа Р.25.2 или Т-48 с регулирующим клапаном типа 25ч931нж. Заданное давление перед циркуляционным насосом второго контура обеспечивается регулятором подпитки РП. В качестве РП установлен регулятор УРРД-М или регулирующий прибор типа РД-3а (РД-3б) с клапаном ИК-25.

При наличии значительной переменной тепловой нагрузки, подключенной к сетям второго контура (системы приточной вентиляции, кондиционирования, дежурное отопление школ, больниц, театров, общественных зданий и т. п.), в ЦТП устанавливают регулятор регулируемого напора РН, обеспечивающий автоматическое регулирование расхода теплоносителя в сетях второго контура. Функции РН может выполнять регулятор УРРД-М или регулирующий прибор РД-3а (РД-3б) с регулирующим клапаном РК-1.

Для ограничения расхода сетевой воды, поступающей на ЦТП, необходима установка регулятора ограничения расхода. На рис. 6.25 РО выполняет также функции ограничителя расхода сетевой воды, за счет ввода в прибор Р.25.2 или Т-48 электрического импульса от расходомера, установленного на входе в ЦТП.

Автоматическое регулирование расхода теплоты на горячее водоснабжение и схема автоматизации режима работы циркуляционных насосов аналогичны приведенным на рис. 6.24.

Индивидуальный тепловой пункт с элеваторным присоединением системы отопления. Автоматическое регулирование отпуска теплоты на отопление в ИТП возможно в двух вариантах. В первом варианте существующий элеватор заменяют на автоматизированный с регулируемым соплом, который выполняет функции РО. Во втором варианте существующую технологическую схему ИТП реконструируют путем замены элеватора на смешительный на-



сос, который обеспечивает подмешивание теплоносителя из обратного трубопровода системы отопления в подающий трубопровод. Принципиальные схемы автоматизации ИТП с элеваторным присоединением системы отопления представлены на рис. 6.26, 6.27.

Местное регулирование отпуска теплоты в систему отопления осуществляет автоматизированный элеватор с регулируемым соотношением путем поддержания требуемой температуры теплоносителя в зависимости от метеословий. Применяются электрифицированные элеваторы типа Электроника Р-1 и гидроэлеваторы с манометрической термосистемой типа РТ-2217-ЭР.

Для регулирования расхода сетевой воды в систему отопления устанавливают регулятор располагаемого напора.

В качестве РН можно применять регулирующий клапан УРРД-М. При закрытой системе теплоснабжения функции регулятора температуры воды на горячее водоснабжение РГВ выполняет регулирующий прибор ТМ1 с регулятором УРРД-М.

Рис. 6.25. Схема ЦТП с независимым присоединением систем отопления:

РГВ — регулятор горячего водоснабжения, РО — регулятор отпуска теплоты; РН — регулятор напора; РП — регулятор подпитки; 1 — теплосчетчик ТС-20; 2 — циркуляционная линия; 3 — квартальная сеть; 4 — циркуляционный насос второго контура; 5 — водомер типа ВВ; 6 — циркуляционный насос ГВС; ЭКТ — электроконтактный термометр; ЭКМ — электроконтактный манометр.

При горячем водоснабжении, осуществляемом по схеме непосредственно водоразбора из тепловой сети (рис. 6.27), в качестве РГВ устанавливают регулятор РТВ или регулятор типа КТ-6-10.

При втором варианте организации автоматического регулирования отпуска теплоты на ИТП вместо элеватора устанавливают маломощный бесфундаментный насос типа ЦВЦ, обеспечивающий подмес теплоносителя из обратного трубопровода в подающий.

Индивидуальный тепловой пункт со смешительным насосом. Принципиальная схема автоматизации ИТП со смешительным насо-

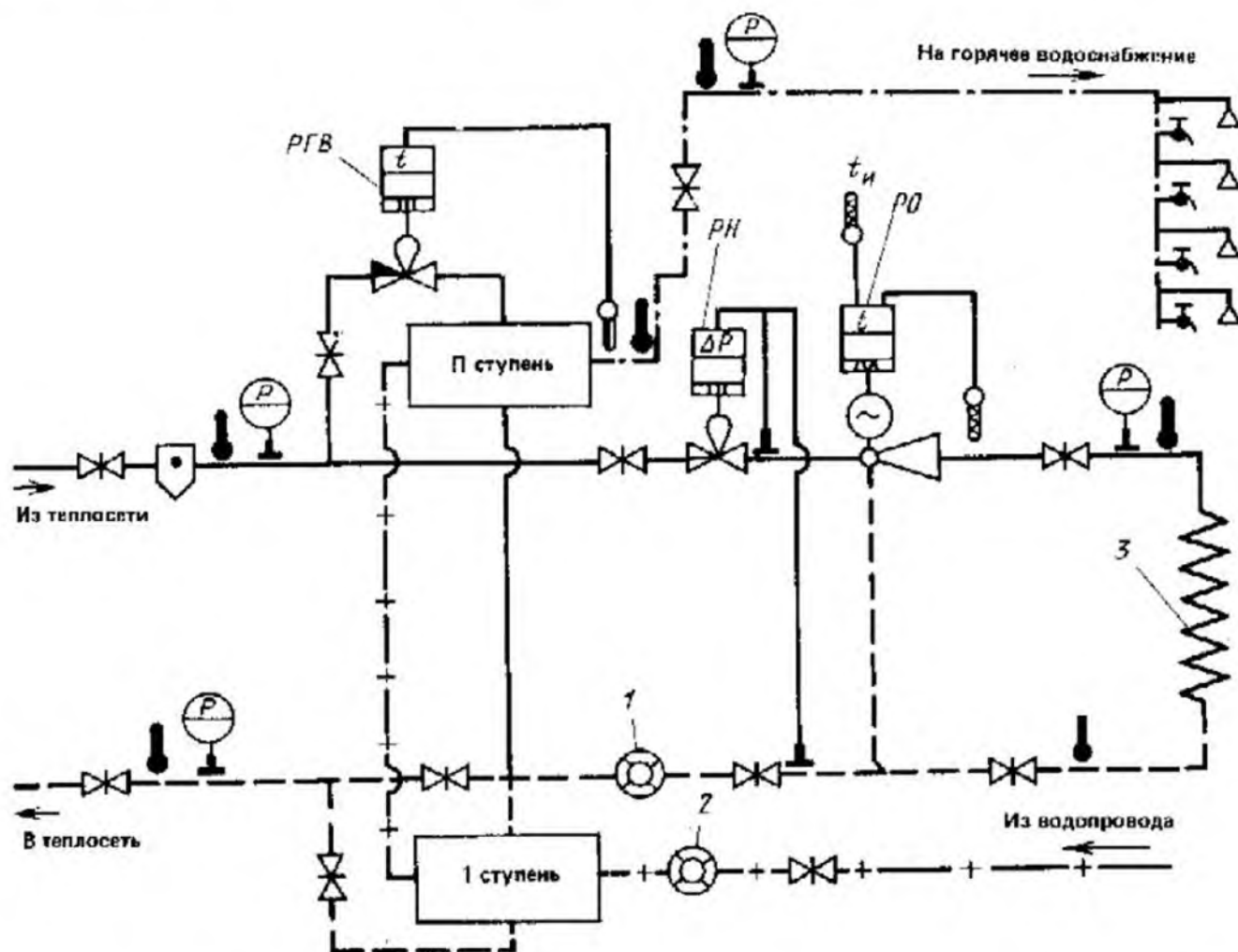


Рис. 6.26. Схема ИТП с элементарным присоединением системы отопления

РГВ - регулятор горячего водоснабжения; *РН* - регулятор напора; *РО* - регулятор отпуска теплоты; *1* - водомер горячеводный типа ВПГ; *2* - водомер типа ВВ; *3* - система отопления

сом, обеспечивающая регулирование отпуска теплоты, представлена на рис. 6.28.

Местное регулирование отпуска теплоты в системе отопления осуществляет регулятор отпуска теплоты. В качестве *РО* устанавливают регулятор типа РТК-2217-ТС (с трехходовым клапаном смешения), обеспечивающий регулирование температуры воздуха в помещениях здания с коррекцией ее по температуре наружного воздуха.

Регулирование расхода сетевой воды (функции *РН*) выполняет клапан УРРД-М, включаемый по схеме поддержания располагаемого напора.

Схема автоматизации ИТП в закрытой системе теплоснабжения предусматривает включение теплообменников горячего водо-

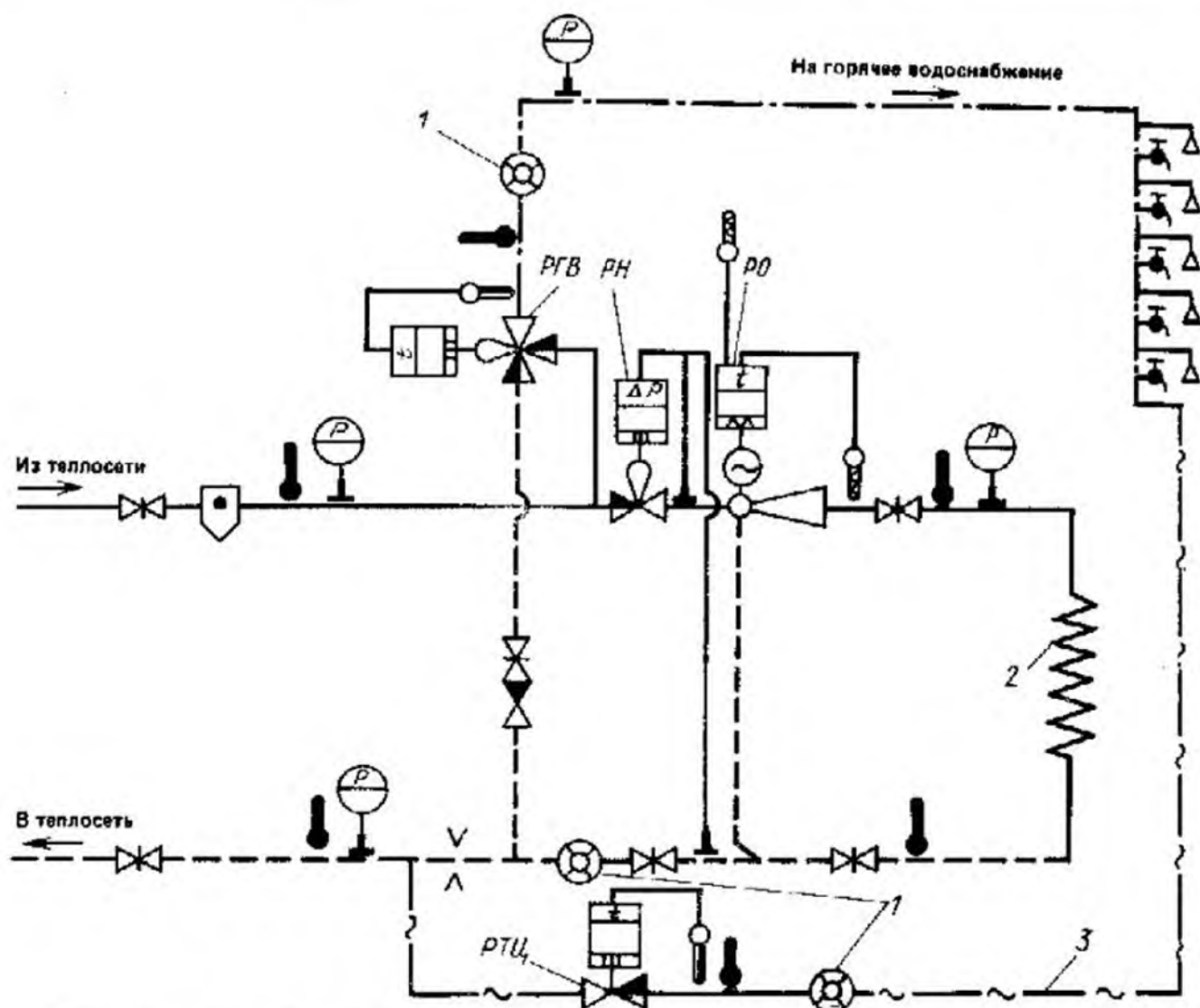
снабжения по смешанной или параллельной схеме.

Регулирование температуры воды на горячее водоснабжение в этом случае осуществляется регулирующим прибором ГМР с регулятором УРРД-М. Схема и приборы для автоматизации работы циркуляционной линии аналогичны приведенным на рис. 6.26.

В открытой системе теплоснабжения (при непосредственном водозаборе на цели горячего водоснабжения) в качестве РГВ устанавливают регулятор РТВ или конструкции Свердловскэнерго.

Индивидуальный тепловой пункт с независимой схемой присоединения системы отопления. Принципиальная схема автоматизации регулирования расхода теплоты на ИТП показана на рис. 6.29.

Местное регулирование отпуска теплоты в системе отопления выполняет *РО*. В качестве *РО* применяют регулятор типа РТК-2216-ДП, осуществляющий регулирование температуры воздуха в помещениях.



Возможно также использование регулятора типа РТ-2217-ДП. В этом случае предусматривается регулирование температуры теплоносителя во втором контуре ИТП (после теплообменника отопления) в соответствии с температурой наружного воздуха.

Схемой предусматривается регулирование располагаемого напора на ИТП. Функции РН может выполнять регулирующий клапан УРРД-М.

Заданное давление на всасе циркуляционного насоса второго контура поддерживает регулятор подпитки РП. В качестве РП установлен клапан УРРД-М.

Схемы регулирования температуры воды на горячее водоснабжение, схемы регулирования режима работы циркуляционных насосов, а также применяемые приборы в зависимости от вида системы теплоснабжения аналогичны описанным выше.

Индивидуальный тепловой пункт с пофасадной системой отопления. Местное авто-

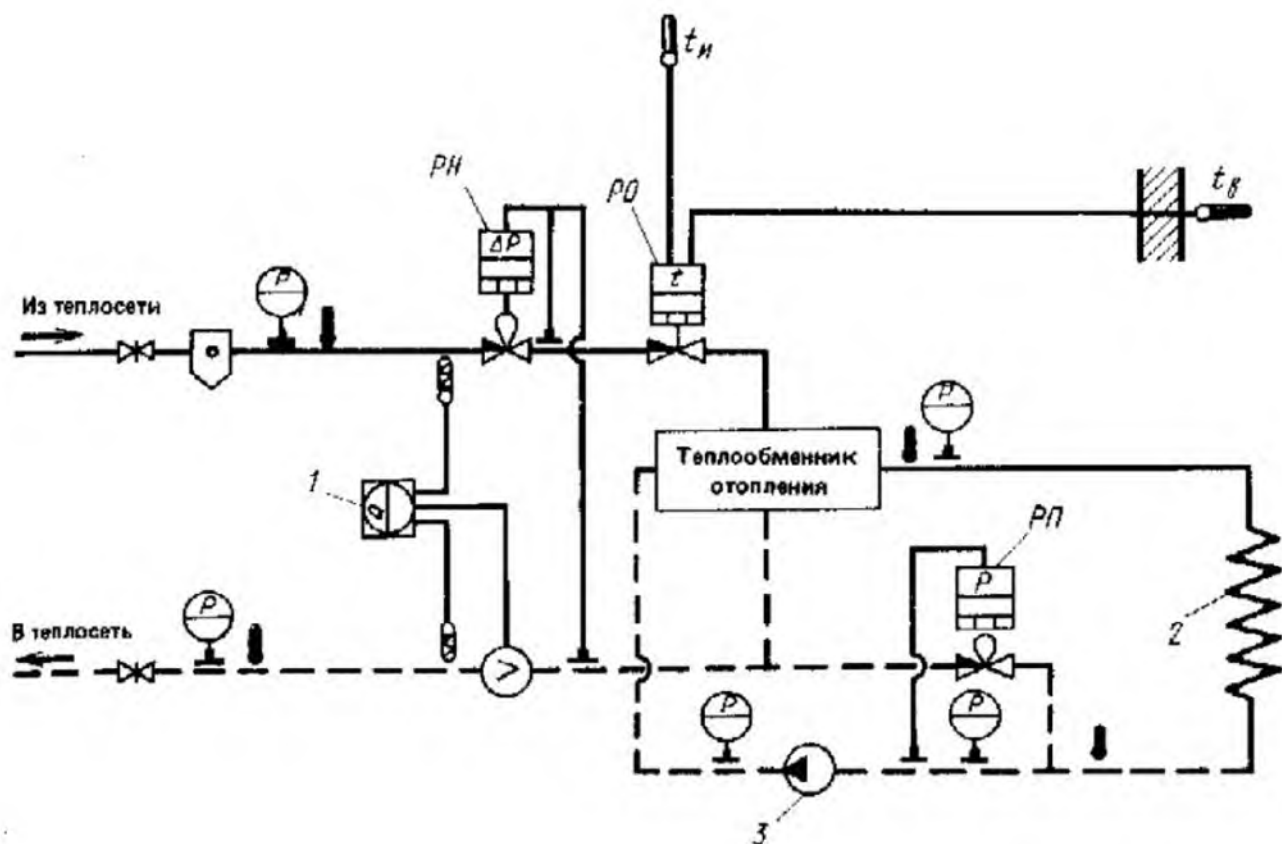
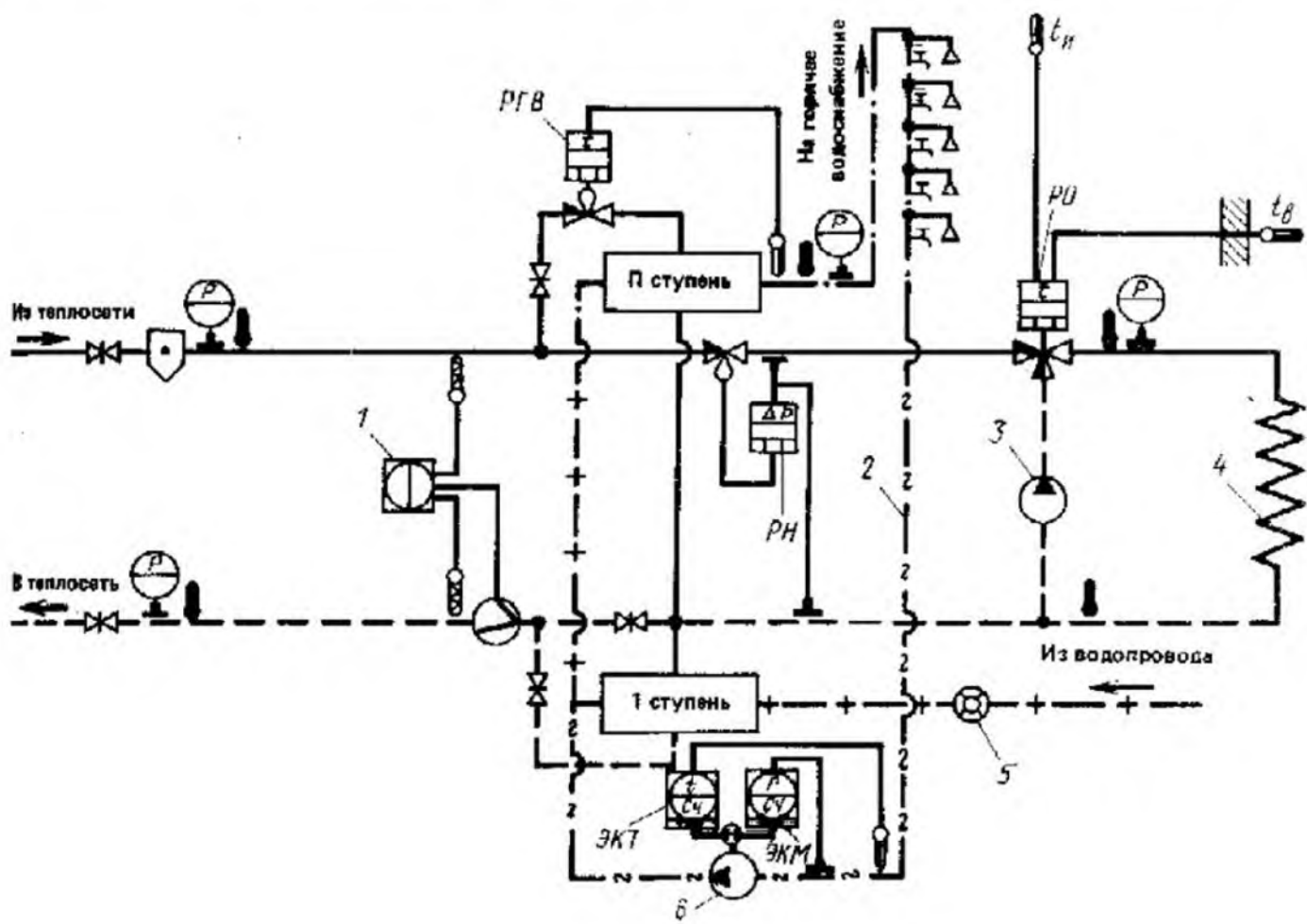
Рис. 6.27. Схема ИТП с элеваторным присоединением системы отопления при непосредственной водоразборе

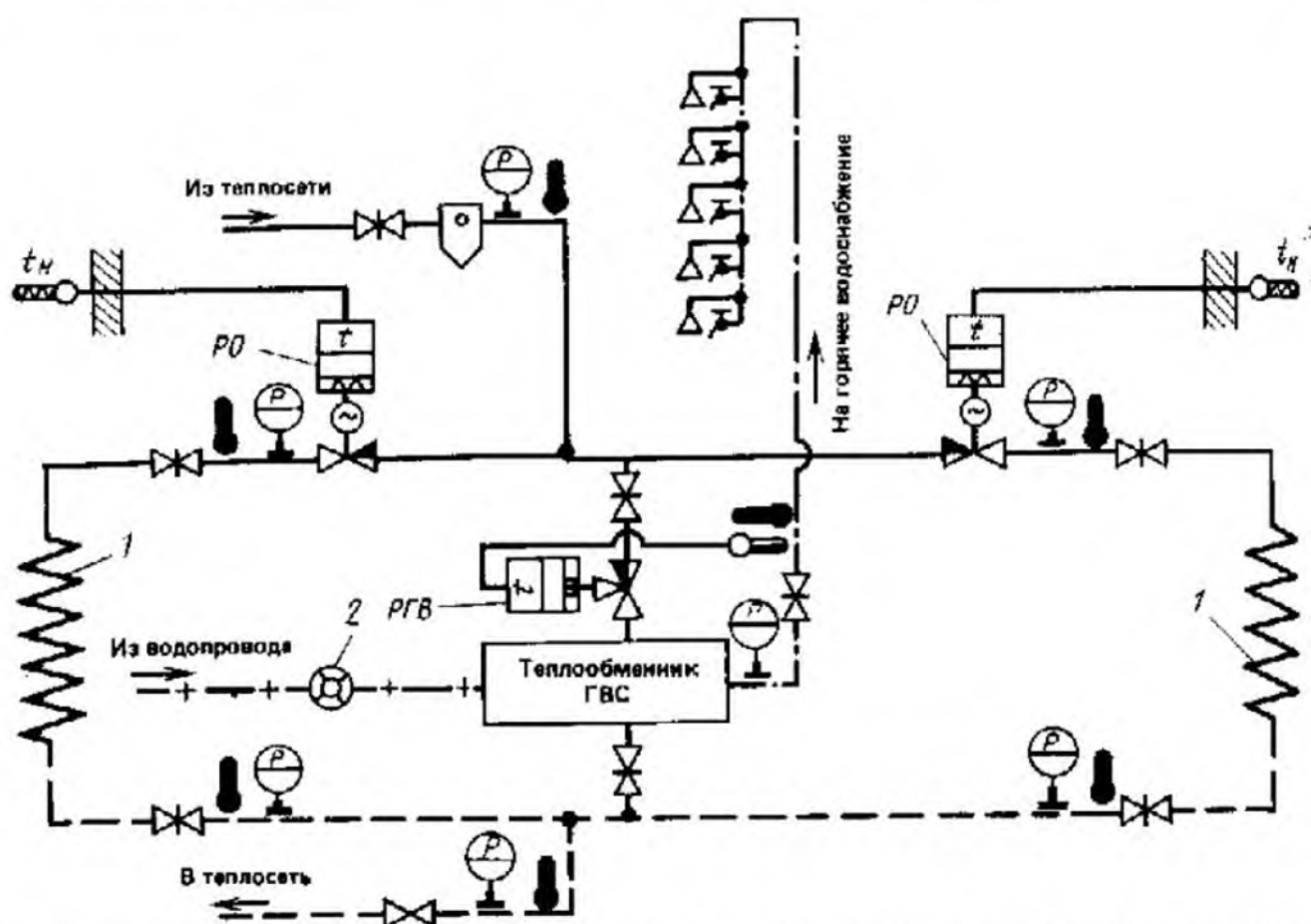
РГВ — регулятор горячего водоснабжения; РН — регулятор напора; РО — регулятор отпуска теплоты; РТЦ — регулятор температуры в циркуляционной линии; 1 — водомер горизонтальный ВВГ; 2 — система отопления; 3 — циркуляционная линия

Рис. 6.28. Схема ИТП со смешительным насосом
РГВ — регулятор горячего водоснабжения; РО — регулятор отпуска теплоты; РН — регулятор напора; 1 — теплосчетчик ТС-20; 2 — циркуляционная линия; 3 — насос смешения; 4 — система отопления; 5 — водомер типа ВВ; 6 — циркуляционный насос типа ГВС; ЭКТ — электроконтактный термометр; ЭКМ — электроконтактный манометр; t_a , t_b — датчики температуры

Рис. 6.29. Схема ИТП с независимым присоединением системы отопления

РН — регулятор напора; РО — регулятор отпуска теплоты; РП — регулятор подпитки; 1 — теплосчетчик ТС-20; 2 — система отопления; 3 — циркуляционный насос второго контура





матическое регулирование отпуски теплоты наиболее эффективно (с точки зрения создания комфортных условий в отапливаемых помещениях и получения экономии тепловой энергии) для систем отопления, разделенных по фасадам зданий. В этом случае обеспечивается возможность дифференцированного распределения теплоносителя с учетом влияния ветра и солнечной радиации на теплотребность помещений, расположенных на противоположных фасадах.

Отпуск теплоты в таких зданиях должен регулироваться на ИТП отдельно по системам отопления каждого фасада. В зависимости от вида присоединения систем отопления (со смесительным насосом, независимое) схема автоматизации регулирования на каждый фасад здания аналогичны вышеприведенным.

На рис. 6.30 приведена схема ИТП с соединением пофасадной системой отопления, разработанная институтом «Челябинскгражданпроект». Особенностью схемы является простота оборудования ИТП (отсутствуют элеваторы, подмешивающие насосы и теплообменники для систем отопления). В то же время данная схема, в отличие от традиционных, требует сооружения на входе тепловой сети в микро-

Рис. 6.30. Схема ИТП с пофасадной системой отопления

РО — регулятор отпуски теплоты; *РГВ* — регулятор горячего водоснабжения; *1* — система отопления одного фасада; *2* — водомер типа ВВ; *t_n* — датчик температуры

район или квартал центральных смесительных пунктов (ЦСП). На ЦСП за счет подмешивания сетевой воды из обратного трубопровода тепловой сети в подающий производится снижение температурного графика тепловой сети (150–70°C) в более низкий график, соответствующий работе местных систем отопления (95–70°C или 105–50°C). Таким образом, тепловые сети после ЦСП, к которым подключаются тепловые пункты зданий, работают по пониженному температурному графику.

Регулятор отпуски теплоты, устанавливаемый на ИТП, автоматически изменяет расход теплоносителя в системе отопления фасада по импульсу от датчиков, установленных в жилых комнатах здания, и, таким образом поддерживает заданную внутреннюю температуру в отапливаемых помещениях (количественный метод регулирования отпуски теплоты).

В качестве *РО* и *РГВ* в данной схеме устанавливаются регулятор ЭРТ с заслонкой ПРЗ

разработанные институтом «Челябинскгражданпроект».

Следует отметить, что данная схема автоматического регулирования отпуска теплоты применима для систем отопления, имеющих большую гидравлическую устойчивость (например, бифилярные системы отопления), так как расход теплоносителя в системе отопления в процессе регулирования может сократиться до 60–80% расчетного расхода.

6.8. РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРИ ЗАКРЫТОЙ СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

При закрытой системе теплоснабжения в систему горячего водоснабжения поступает водопроводная вода, нагретая до 55–65°C. Водопроводная вода нагревается на центральных и индивидуальных тепловых пунктах в водо-водяных подогревателях. Как правило, водоподогреватели разделены на две ступени. Водопроводная вода поступает в водоподогреватель I ступени, где нагревается до 35–40°C сетевой водой, уже прошедшей систему отопления, затем — в водоподогреватель II ступени, где подогревается сетевой водой до заданной температуры.

Для регулирования температуры воды применяются гидравлическую автоматику, которая состоит из датчика температуры, установленного на выходе водопроводной воды из подогревателя II ступени, и регулирующего клапана, установленного на входе сетевой воды в подогреватель II ступени. Регулирование температуры осуществляется за счет изменения расхода сетевой воды на подогреватель II ступени.

Для наблюдения за работой схемы контролируют следующие параметры: давление и температуру воды, поступающей в систему горячего водоснабжения; расход воды на горячее водоснабжение; давление рабочей воды; командное давление на гидропривод регулирующего клапана; давление и температуру сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах.

Конкретные схемы автоматизации системы горячего водоснабжения при использовании автоматических регуляторов различных типов приведены на рис. 6.31, 6.32.

На рис. 6.31 дана схема автоматизации, состоящая из датчика температуры *ТМII* и регулирующего клапана *РК-I*. Рабочая вода P_p для работы гидравлической автоматики отбирается из трубопровода водопроводной воды через вентиль *ВI*.

При заданной температуре воды на горячее водоснабжение сливное и напорное сопла термодатчика *ТМII* перекрыты и рабочая вода не расходуется. При снижении регулируемой температуры открывается нижнее сливное сопло *ТМII*, давление p_x снижается и регулирующий клапан *РК* открывается, увеличивая расход сетевой воды на водоподогреватели горячего водоснабжения. При увеличении регулируемой температуры открывается верхнее напорное сопло *ТМII*, давление p_x увеличивается и регулирующий клапан *РК* приоткрывается, сокращая расход сетевой воды.

На рис. 6.32 показана схема автоматизации, состоящая из термореле *ТРБ-2 (С)* и регулирующего клапана *РР (1–4)*. Рабочая вода отбирается из подающего трубопровода через вентиль *ВI*, проходит охладитель *ОСВ*, фильтр *ФI*, дроссель *ДрI*, поступает на сильфонный гидропривод регулирующего клапана *РРI* и далее через регулируемое сопло термодатчика *ТРБ* сливается в дренаж.

При снижении регулируемой температуры воды сопло термодатчика прикрывается, давление p_x в сильфонной камере клапана увеличивается, клапан открывается, повышая расход сетевой воды на водоподогреватель. При увеличении регулируемой температуры процесс происходит в обратной последовательности.

6.9. РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРИ НЕПОСРЕДСТВЕННОМ ВОДОРАЗБОРЕ ИЗ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

При непосредственном водоразборе в систему горячего водоснабжения вода поступает из тепловой сети. Температура воды регулируется на тепловом пункте за счет смешения потоков подающей и обратной воды. Циркуляция воды в системе горячего водоснабжения осуществляется за счет разности давлений, создаваемой дроссельной шайбой, установлен-

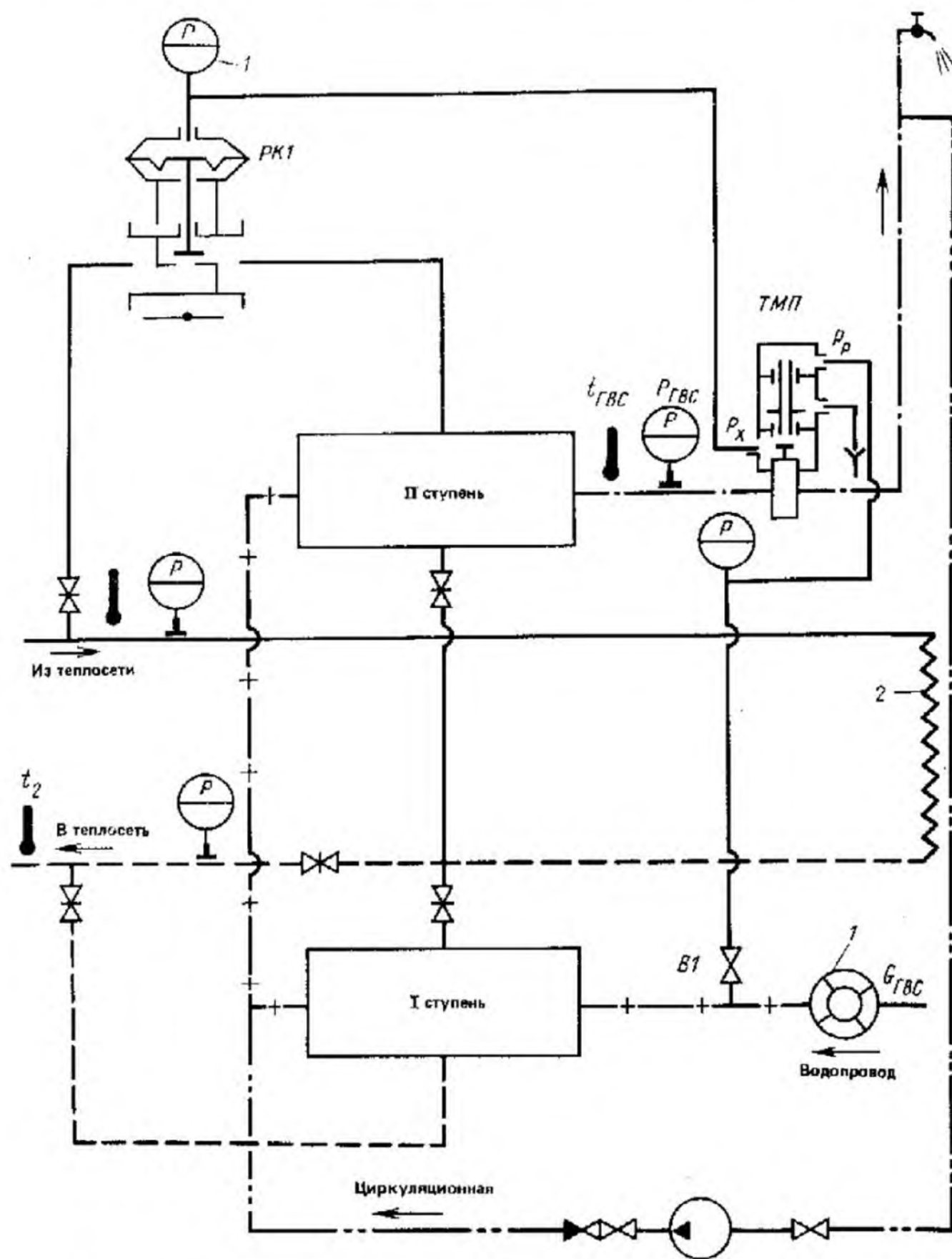


Рис. 6.31. Автоматизация системы горячего водоснабжения РК-1 — регулирующий клапан; ТМП — датчик температуры; 1 — водомер; 2 — система отопления

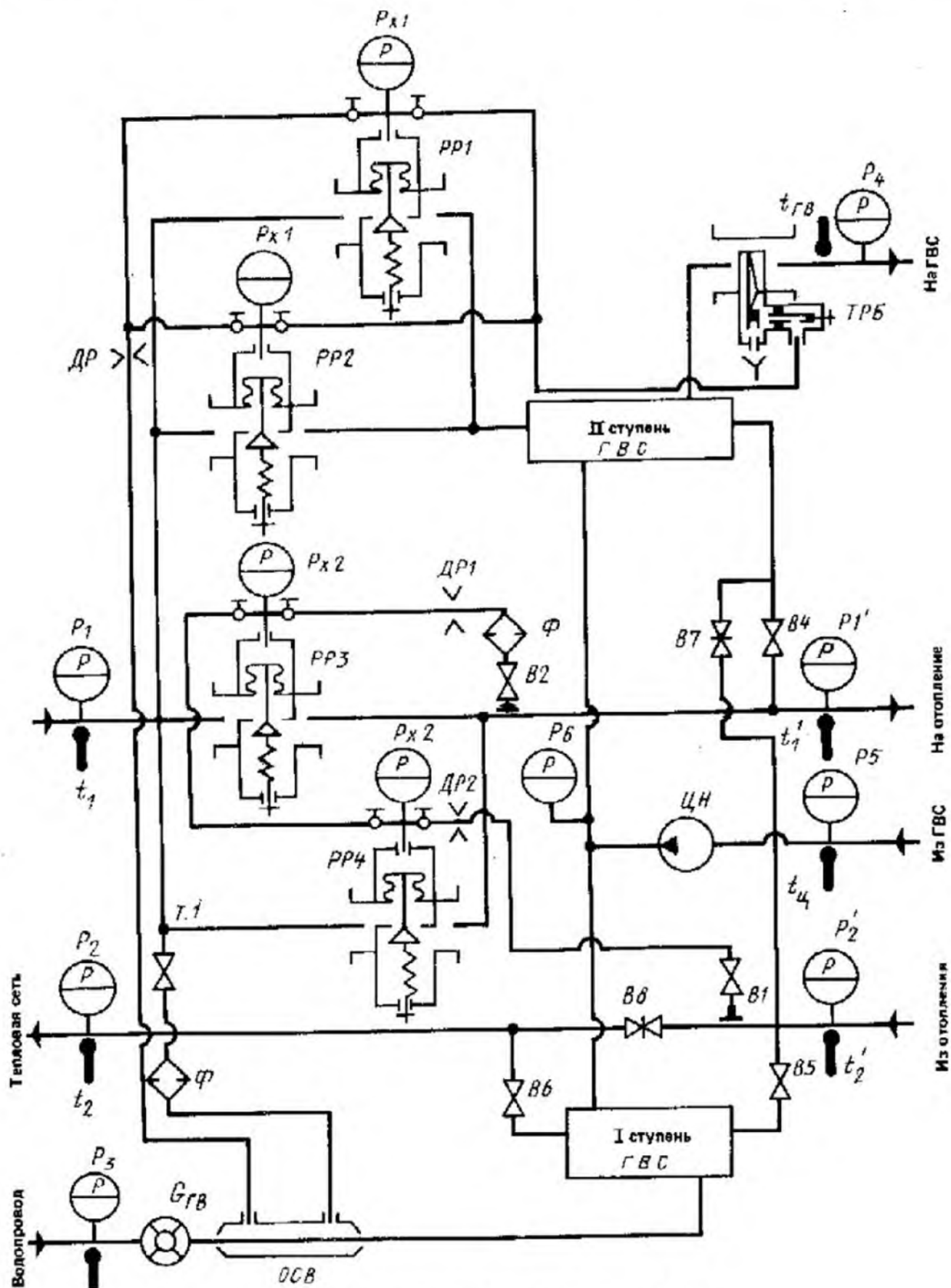


Рис. 6.32. Автоматизация системы горячего водоснабжения при последовательном включении водоподогревателей
 $P_1 - P_2$ — манометры; $t_1, t_2, t_{ГВ}$ — термометры; B_1, B_2 — вентили

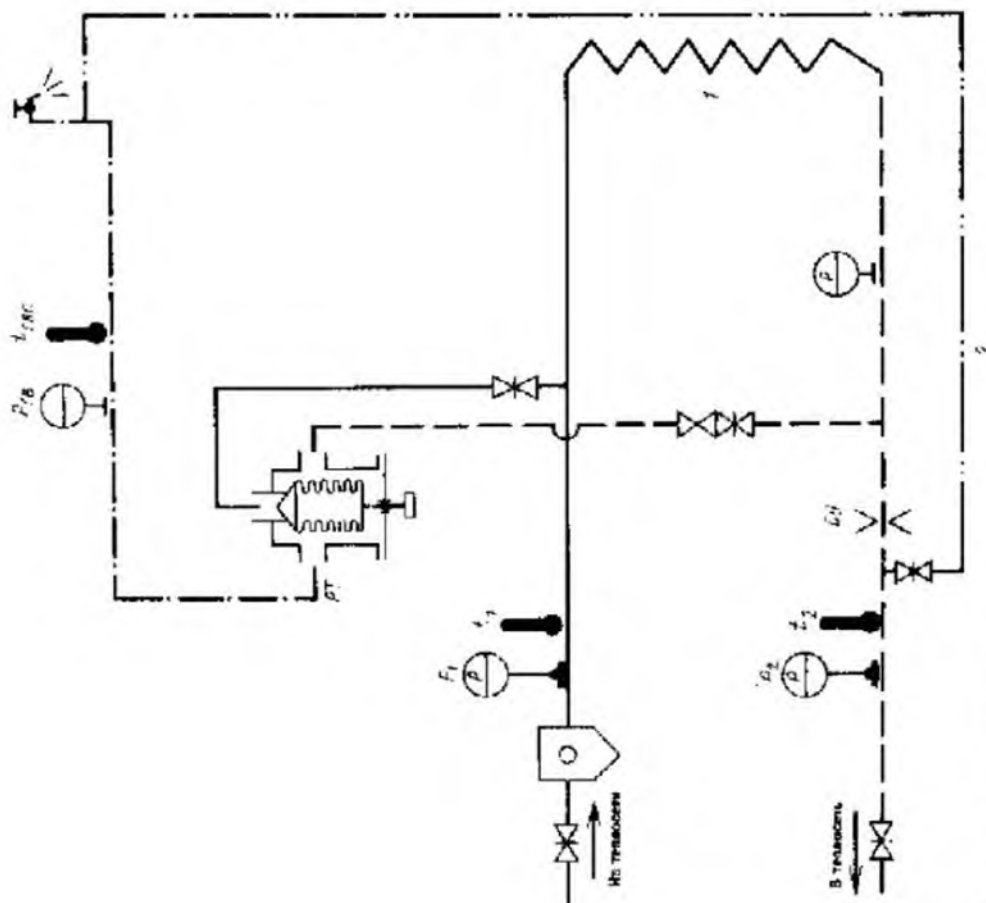


Рис. 6.33. Автоматизация системы горячего водоснабжения при непосредственном водоразборе при помощи регулятора прямого действия
 P_1 — регулятор температуры прямого действия управления «Свердловэнерго» (К 1-6-10); $3У$ — сужающее устройство; 1 — система отопления; 2 — циркуляционная линия

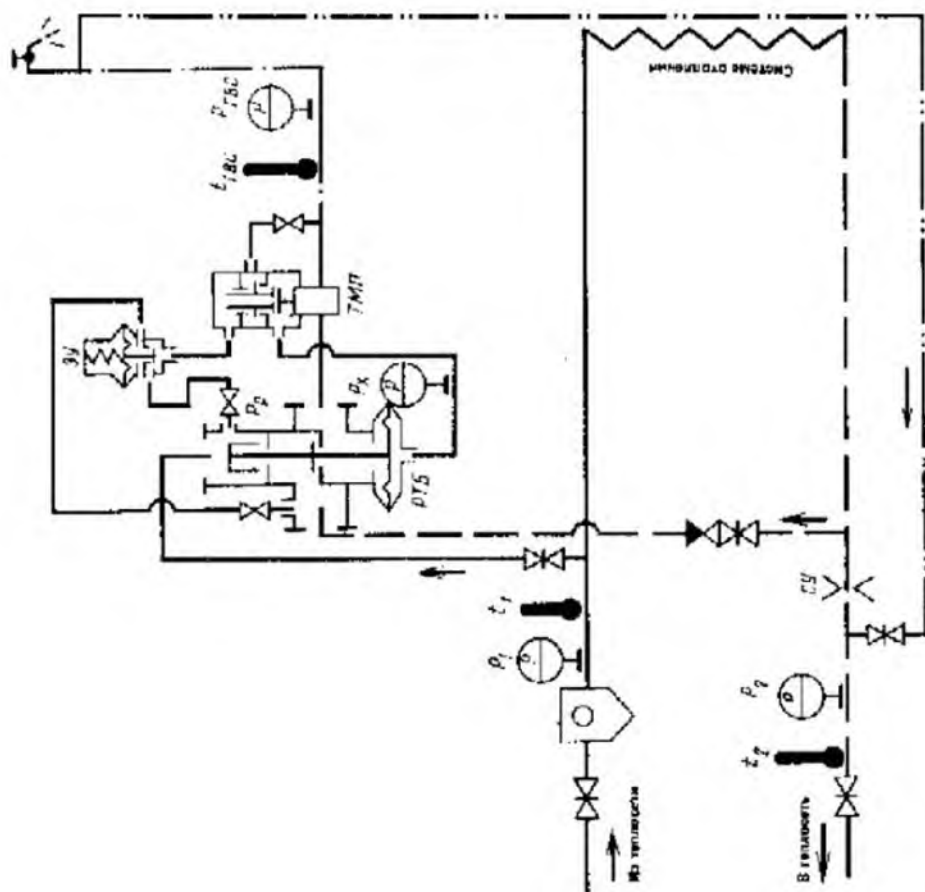


Рис. 6.34. Автоматизация системы горячего водоснабжения при непосредственном водоразборе с помощью регулятора непрямого действия

PDS — трехходовой клапан регулятора температуры; $TМН$ — датчик температуры; $3У$ — сужающее устройство; $3У$ — запорное устройство; P_1, P_2, P_2 — манометры; t_1, t_2, t_2 — термометры

ной и обратном трубопроводе. В схеме контролируют следующие параметры: давление и температуру воды, поступающей в систему горячего водоснабжения; температуру воды в циркуляционном трубопроводе; давление и температуру в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети.

Схемы автоматизации систем горячего водоснабжения при непосредственном водоразборе из тепловой сети, отличающихся применяемыми автоматическими регуляторами приведены на рис. 6.33, 6.34.

На рис. 6.33 для автоматизации системы горячего водоснабжения показан терморегулятор прямого действия конструкции Свердловскэнерго (ТК-6-10). Вода из обратного трубопровода тепловой сети поступает в корпус регулятора, где смешивается с регулируемым потоком из подающего трубопровода. Смешанный поток омывает сильфон с термочувствительной жидкостью и поступает в систему горячего водоснабжения. При увеличении температуры смешанной воды увеличивается объем жидкости, заполняющей сильфон, и клапан сильфона, перемещаясь, сокращает количество подмениваемой воды из подающего трубопровода. При снижении температуры смешанной воды процесс происходит в обратной последовательности.

На рис. 6.34 показана автоматизация системы горячего водоснабжения при непосредственном водоразборе с помощью регулятора РТБ. Особенностью схемы в отличие от предыдущей является то, что регулятор РТБ -- непрямого действия и имеет защитное устройство ЗУ, позволяющее отключать систему ГВС потребителя при понижении давления в обратном трубопроводе ниже статического давления, принятого для местной системы теплоснабжения.

Импульс для увеличения или уменьшения подмеса горячей воды из подающего трубопровода в клапане смешения регулятора типа РТБ поступает от датчика ТМП, установленного на выходном патрубке регулятора.

Характер импульса зависит от степени нагрева термобаллона датчика ТМП, находящегося непосредственно в потоке воды, поступающей к потребителям.

При понижении давления в обратном трубопроводе (Р2) ниже статического для данного потребителя срабатывает защитное устройство и перекрывает поступление воды к потребителю.

При восстановлении первоначального значения давления Р2 схема регулирования автоматически включается в работу.

ГЛАВА 7.

ИСПЫТАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

7.1. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Гидравлическими испытаниями тепловой сети определяют фактические значения коэффициента трения и эквивалентной шероховатости для использования их при расчете гидравлического сопротивления трубопроводов. Кроме того, устанавливают гидравлическое сопротивление водоподогревательной установки и ее коммуникаций и уточняют фактические характеристики сетевых и подпиточных насосов. Испытания тепловой сети, коммуникаций водоподогревательной установки, сете-

вых и подпиточных насосов сводятся к одновременному измерению расхода, давления и температуры сетевой воды.

Расход воды при испытаниях определяют нормальными измерительными диафрагмами с острой кромкой (рассчитанными и изготовленными в соответствии с «Правилами измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами» РД50-213-80. М.: Стандарты, 1980) и подключенными к ним дифманометрами. Температуру теплоносителя измеряют техническими термометрами с ценой деления 0,5—1°C. Давления при ис-

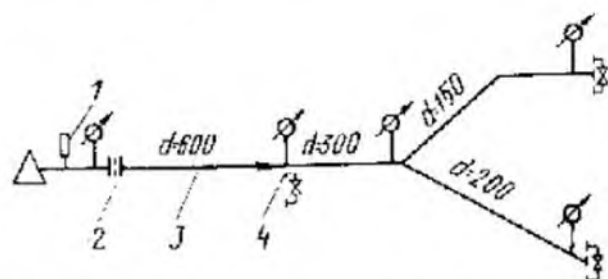


Рис. 7.1. Схема расположения переключателей и контрольно-измерительных приборов для проведения гидравлических испытаний

1 — место установки манометров и термометров, 2 — измерительная диафрагма; 3 — подающий и обратный трубопроводы испытываемой теплосети; 4 — циркуляционная перемычка

пытания тепловой сети и водонагревательной установки замеряют пружинными образцовыми и контрольными манометрами. При испытании насосных установок используют технические манометры.

Выбор участков, гидравлических режимов и измерительных приборов для испытаний. Гидравлические испытания проводят на магистральных и разводящих трубопроводах тех участков, где предполагается самое плохое состояние внутренней поверхности труб, которое зависит от расстояния от источника теплоты, времени прокладки и включения в эксплуатацию участков теплосети, от качества подпиточной воды с учетом отдельных случаев подпитки сырой неумягченной или загрязненной водой, от случаев длительного простоя тепловой сети в опорожженном состоянии; от способа и периодичности промывки тепловой сети. При выборе участков должны быть учтены также сведения эксплуатационников о выявленных гидравлических потерях, об интенсивности коррозии. Намеченные для испытаний участки осматривают на месте, уточняя их длину и диаметр, местные сопротивления (компенсаторы, задвижки, повороты), места присоединения ответвлений и их диаметр. Результаты осмотра наносят на схему испытываемой части сети. По схеме выбирают места установки циркуляционных переключателей и манометров.

Переключатели, как правило, монтируют на концах испытываемых трубопроводов. При протяженных магистралях, в которых диаметр испытываемых трубопроводов значительно уменьшается по их длине, переключатели выбирают по специальной методике. Диаметр концевой переключательной перемычки ориентировочно принимают на ка-

либр меньше диаметра трубопровода в месте ее врезки. На переключке предусматривают установку задвижки одинакового с ней диаметра. После проведения испытаний во фланцах задвижки устанавливают заглушку.

Манометры устанавливают на подающем и обратном трубопроводах в следующих характерных точках испытываемой магистрали: в местах изменения внутреннего диаметра трубопровода (рис. 7.1); в местах изменения количества циркулирующей воды (если одновременно испытывают несколько магистралей и ответвлений); на трубопроводах неизменного диаметра, но большой протяженности — через каждые 500—1500 м трассы. В источнике теплоснабжения манометры устанавливают: на подающем и обратном коллекторах тепловой сети, на входе и выходе каждой водонагревательной установки (водогрейного котла, основного и пикового водогревателей); на напорном и всасывающем патрубках сетевых насосов, до и после грязевиков и охладителей конденсата. Места установки манометров наносят на схему тепловой сети и источника теплоснабжения.

Для измерения расхода воды при испытаниях измерительные приборы устанавливают: на подающем или обратном трубопроводе тепловой сети на выходе из источника теплоснабжения; на трубопроводе подпитки тепловой сети; на подающем или на обратном трубопроводе ответвлений, которые намечают для испытания одновременно с основной магистралью. Возможность использования существующих измерительных диафрагм, ожидаемый расход циркуляционной воды во время испытаний, правильность выбранных мест установки переключателей и их диаметров, а также необходимые (по пределам измерений) для измерения манометры устанавливают в результате ориентировочного гидравлического расчета. При этом задаются эквивалентной шероховатостью трубопроводов (исходя из указанных выше сведений об эксплуатации) и таким расходом воды, чтобы потери напора между двумя точками установки манометров были не менее 15 м.

Полученную в результате расчета величину потерь напора в тепловой сети и в переключке сопоставляют с напором сетевых насосов при заданной величине циркуляции. Достаточно близкие совпадения этих величин указывают

на то, что диаметр перемычки и расход сетевой воды приняты правильно. В противном случае необходимо выполнить повторный гидравлический расчет, задаваясь другим расходом воды или другим диаметром (местом врезки) перемычки. Для увеличения циркуляции воды подключают крупных потребителей, расположенных за последней точкой измерения давления по испытываемой части магистрали, а из элеваторов этих потребителей удаляют сопла.

Возможность использования существующих диафрагм для замера максимального и минимального расходов воды, намечаемых при испытательных режимах, проверяют по формуле

$$G = A\alpha d^2 \sqrt{h/\gamma} \cdot 10^{-4},$$

где G — расход воды, м³/ч; A — коэффициент, зависящий от типа манометра, примененного в дифференциальном манометре (для дифманометров, заполненных ртутью, над которой находится вода, $A=0,04435$; для дифманометров, заполненных водой, над которой находится воздух, $A=0,01251$); α — коэффициент расхода, определяемый по графику рис. 7.2 в зависимости от величины $m=(d/D)^2$, где D — внутренний диаметр трубопровода, d — диаметр мерного отверстия диафрагмы, мм; h — разность высот столбов жидкости в дифференциальном манометре, мм; γ — плотность циркуляционной воды, кгс/м³.

Измерительную диафрагму можно использовать для испытаний, если перепад давлений в дифманометре, подключенном к диафрагме, будет находиться в пределах 50–600 мм. Если существующая диафрагма не удовлетворяет условиям минимального расхода воды, следует проанализировать возможность, не заменяя диафрагмы при испытаниях на минимальных расходах, использовать в качестве рабочей среды в дифманометре не ртуть, а другую жидкость с меньшей плотностью или перевернув дифманометр, превратить его в водо-воздушный. Если существующую диафрагму по условиям перепада давлений при испытательных режимах использовать невозможно, ее следует заменить другой, рассчитанной по формуле (7.1). Манометры для испытаний выбирают для каждого участка, исходя из того, чтобы измеренное давление не превышало $2/3$ предела шкалы. Ожидаемое давление принимают по результатам предварительного гидравлического расчета с учетом профиля тепловой сети и расчетных показаний манометров при статическом режиме.

Расчет параметров испытаний протяженных

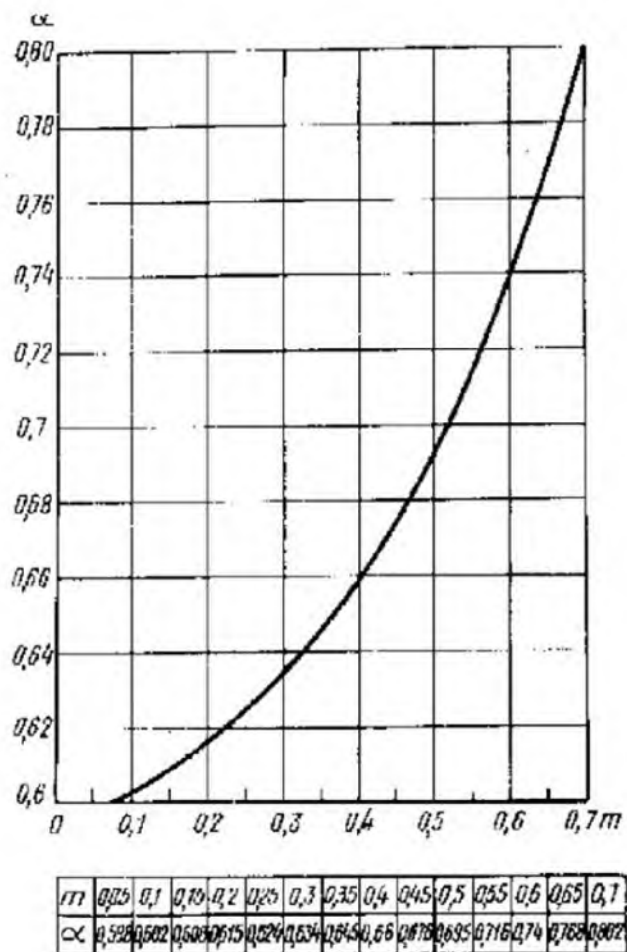


Рис. 7.2. График для определения расхода нормальных острых диафрагм

магистралей. Протяженные магистрали тепловой сети характеризуются наличием на них участков трубопроводов, диаметр которых убывает от источника теплоты.

Для получения достоверных результатов гидравлических испытаний необходимо добиться максимально возможных значений потерь напора по каждому испытываемому участку, чтобы уменьшить относительную ошибку при их определении. Поэтому расходы воды при испытаниях трубопроводов больших диаметров должны быть значительно выше, чем при испытаниях концевых участков магистрали. В связи с этим оказывается невозможным одновременно испытать все участки протяженной магистрали и ее приходится испытывать в несколько этапов. Для пропуска большого расхода воды при испытаниях головных участков магистрали необходимо устройство перемычек не только в концевой камере магистрали, но и в промежуточных камерах.

Участки, подвергаемые испытаниям на



Рис. 7.3. Схема испытываемой магистрали

ИТ — источник тепла; ПЛ — подводящая линия; ОЛ — обратная линия; П1—П5 — переключки; $Z_{ИТ}$ — отметка источника теплоты; Z_1 — Z_5 — отметки точек измерений диаметров; 1—5 — участки магистрали

каждом этапе, выбирают таким образом, чтобы одновременно можно было испытать трубопроводы с близкими значениями диаметров. В конце каждого участка, испытываемого на каком-либо этапе, монтируют переключку между подающим и обратным трубопроводами. При испытаниях какого-либо участка включают все переключки, расположенные за испытываемым участком.

В задачу расчета параметров испытаний входит определение расходов воды на каждом этапе испытаний, выбор переключек, необходимых для пропуска этих расходов, выявление возможности использования существующих измерительных диафрагм и расчет диафрагм при необходимости их замены, выбор пределов измерений манометров в точках замеров давления.

Расчет расходов воды, необходимой для получения достоверных результатов испытаний, и выбор переключек производят, начиная с конечного участка испытываемой магистрали. Принимают величину потерь напора по одному из трубопроводов, который характеризуется меньшим сопротивлением, рассчитывают соответствующий ей расход воды и находят значение располагаемого напора в концевой камере. По величине этого напора подбирают диаметр концевой переключки.

Затем по выбранным потерям напора на предпоследнем участке испытаний выявляют необходимый расход воды по нему, оценивают расход воды, поступающей в конечный участок испытываемой магистрали, и по разности этих расходов определяют диаметр переключки в конце предпоследнего участка. Аналогично поступают и при расчете расходов и переключек на испытываемых участках, расположенных ближе к источнику теплоты.

Величину потерь напора на участке по одной линии при испытаниях выбирают не ме-

нее 15 м. Если участок состоит из трубопроводов с неодинаковыми диаметрами, то необходимые потери напора и расход воды определяют для трубопровода с меньшим сопротивлением, т. е. как правило, с большим диаметром.

Если располагаемый напор у переключки оказывается настолько малым, что предопределяет чрезмерно большой ее диаметр, выбирают меньшую величину потерь напора по испытываемому участку.

Вследствие дискретности диаметров переключек ожидаемый расход воды на разных этапах испытаний будет несколько отличаться от рассчитанного. Для определения расхода воды при испытаниях каждого участка производят гидравлический расчет магистрали для каждого этапа испытаний для выбранных размеров переключек и окончательно находят ожидаемые расходы воды и величины напоров в камерах, где будут установлены манометры.

Расчет параметров гидравлических испытаний показан на примере магистрали тепловой сети с диаметром трубопроводов 1000—300 мм, длиной 4,7 км.

Пример расчета параметров гидравлических испытаний.

Схема испытываемой магистрали показана на рис. 7.3. Исходные данные по магистрали приведены в табл. 7.1.

Располагаемый напор на выводе источника теплоты при гидравлических испытаниях составляет $\Delta H_{ИТ} = 140$ м, напор в обратной линии источника теплоты $H_{об.л.}$ 20 м. Геодезическая отметка сетевых насосов источника тепла $Z_{ИТ} = 100$ м. Переключки П2 ($d_2 = 200$ мм) и П4 ($d_4 = 350$ мм) — существующие, переключки П1, П3 и П5 — вновь монтируемые. Для существующих и монтируемых переключек сумма коэффициентов местных сопротивлений $\xi = 4,5$; длина переключек указана в табл. 7.3.

Испытания проводят в три этапа: первый этап — испытания участков 1 и 2, второй — испытания участков 3 и 4, третий — испытания участка 5.

Задачей расчета параметров испытаний является определение диаметра вновь монтируемых переключек П1, П3 и П5, ожидаемых расходов воды при испытаниях, напоров в концевых камерах участков.

Сопротивления участков магистрали по

Таблица 7.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПЫТЫВАЕМОЙ МАГИСТРАЛИ

Номер участка	Условный диаметр трубопровода d_c , мм	Длина трубопровода l , м	Сумма коэффициентов местных сопротивлений ξ	Предполагаемая величина эквивалентной шероховатости K , мм		Геодетическая отметка конечной камеры Z , м
				подающая линия	обратная линия	
1	1000	1500	5,0	10	1	95
2	800	800	8,3	5	1	80
3	600	1000	3,8	5	3	90
4	500	600	7,5	3	3	105
5	300	800	6,5	3	3	110

каждой линии находят на основании удельных сопротивлений трубопровода, приведенных в табл. 7.2, по формуле

$$S = S_n l + S_m,$$

где S — сопротивление одной линии участка трубопровода, определяемое потерями напора на участке при расходе $1 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\text{м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2$; S_n — удельное сопротивление 1 м трубопровода, $\text{м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2$; S_m — удельное сопротивление единицы коэффициента местных сопротивлений, $\text{м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2$.

Сопротивления участка 1 по подающей и обратной линиям:

$$S_1^{\text{под}} = 0,247 \cdot 10^{-9} \cdot 1500 + 0,648 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 = 0,403 \cdot 10^{-6} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2;$$

$$S_1^{\text{обр}} = 0,128 \cdot 10^{-9} \cdot 1500 + 0,648 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5 = 0,224 \cdot 10^{-6} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

Сопротивления участка 2:

$$S_2^{\text{под}} = 0,632 \cdot 10^{-9} \cdot 800 + 0,156 \cdot 10^{-7} \cdot 8,3 = 0,635 \cdot 10^{-6} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2;$$

$$S_2^{\text{обр}} = 0,403 \cdot 10^{-9} \cdot 800 + 0,156 \cdot 10^{-7} \cdot 8,3 = 0,452 \cdot 10^{-6} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

Сопротивления участка 3:

$$S_3^{\text{под}} = 0,258 \cdot 10^{-9} \cdot 1000 + 0,449 \cdot 10^{-7} \cdot 3,8 = 0,275 \cdot 10^{-6} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2;$$

$$S_3^{\text{обр}} = 0,220 \cdot 10^{-9} \cdot 1000 + 0,449 \cdot 10^{-7} \cdot 3,8 = 0,237 \cdot 10^{-6} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

Сопротивления участка 4:

$$S_4^{\text{под}} = S_4^{\text{обр}} = 0,565 \cdot 10^{-9} \cdot 600 + 0,913 \cdot 10^{-7} \cdot 7,5 = 0,407 \cdot 10^{-6} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

Сопротивления участка 5:

$$S_5^{\text{под}} = S_5^{\text{обр}} = 0,820 \cdot 10^{-9} \cdot 800 + 0,681 \cdot 10^{-6} \cdot 6,5 = 0,700 \cdot 10^{-6} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

Для определения диаметра перемычки П1 на конечном участке магистрали принимают высокие потери напора по участку 5, поскольку расход при его испытаниях невелик, потери напора на предыдущих участках малы и, следовательно, имеется высокий располагаемый напор перед участком 5. При таком выборе

потерь напора по участку 5 увеличивается диаметр перемычки П1.

Расход сетевой воды по участку 5 при выбранных потерях напора по одному из трубопроводов $\Delta H_5^{\text{под}} = 45 \text{ м}$ равен:

$$G_5 = \sqrt{\frac{\Delta H_5^{\text{под}}}{S_5^{\text{под}}}} = \sqrt{\frac{45}{0,700 \cdot 10^{-6}}} = 802 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Располагаемый напор у перемычки П1 составит:

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{П1}} = \Delta H_{\text{н.л}} - (S_1^{\text{под}} + S_1^{\text{обр}} + S_2^{\text{под}} + S_2^{\text{обр}} + S_3^{\text{под}} + S_3^{\text{обр}} + 2S_4 + 2S_5)G_5^2 = 140 - (0,403 \cdot 10^{-6} + 0,224 \cdot 10^{-6} + 0,635 \cdot 10^{-6} + 0,452 \cdot 10^{-6} + 0,275 \cdot 10^{-6} + 0,237 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 0,407 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 0,700 \cdot 10^{-6})802^2 = 40,3 \text{ м}. \end{aligned}$$

Сопротивление перемычки П1, необходимое для пропуска через нее расхода $G_5 = 802 \text{ м}^3/\text{ч}$, равно:

$$S_{\text{П1}} = \frac{\Delta H_{\text{П1}}}{G_5^2} = \frac{40,3}{802^2} = 0,627 \cdot 10^{-4} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

По табл. 7.3 выбирают диаметр перемычки с ближайшим значением сопротивления:

$$d_y = 150 \text{ мм}, S_{\text{П1}} = 0,622 \cdot 10^{-4} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

Диаметр перемычки П3, устанавливаемой дополнительно к существующей перемычке П2 $d_y = 200 \text{ мм}$, определяют следующим образом.

Расход сетевой воды при испытаниях участков 3—4 определяют исходя из принимаемых потерь напора на участке 3, характеризующемся меньшим сопротивлением. При выбранной величине потерь напора в обратной линии этого участка 15 м находят необходимый расход при испытаниях участков 3—4:

$$G_{3-4} = \sqrt{\frac{\Delta H_3^{\text{обр}}}{S_3^{\text{обр}}}} = \sqrt{\frac{15}{0,237 \cdot 10^{-6}}} = 2520 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Таблица 7.2. УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ, $S, \text{ м}^2/(\text{м}^3/\text{ч})^2, \text{ м}$

Условный диаметр трубопровода, мм	Величина эквивалентной шероховатости, мм										
	0,5	1,0	3,0	5,0	10,0	15,0	20,0	30,0	50,0	$\xi=1$	
100	$0,193 \cdot 10^{-4}$	$0,241 \cdot 10^{-4}$	$0,364 \cdot 10^{-4}$	$0,455 \cdot 10^{-4}$	$0,647 \cdot 10^{-4}$	$0,820 \cdot 10^{-4}$	$0,990 \cdot 10^{-4}$	$0,133 \cdot 10^{-3}$	$0,210 \cdot 10^{-3}$	$0,637 \cdot 10^{-3}$	
125	$0,593 \cdot 10^{-5}$	$0,734 \cdot 10^{-5}$	$0,109 \cdot 10^{-4}$	$0,135 \cdot 10^{-4}$	$0,188 \cdot 10^{-4}$	$0,235 \cdot 10^{-4}$	$0,280 \cdot 10^{-4}$	$0,369 \cdot 10^{-4}$	$0,558 \cdot 10^{-4}$	$0,261 \cdot 10^{-3}$	
150	$0,226 \cdot 10^{-5}$	$0,278 \cdot 10^{-5}$	$0,408 \cdot 10^{-5}$	$0,501 \cdot 10^{-5}$	$0,689 \cdot 10^{-5}$	$0,852 \cdot 10^{-5}$	$0,101 \cdot 10^{-4}$	$0,130 \cdot 10^{-4}$	$0,191 \cdot 10^{-4}$	$0,126 \cdot 10^{-4}$	
200	$0,393 \cdot 10^{-6}$	$0,479 \cdot 10^{-6}$	$0,687 \cdot 10^{-6}$	$0,833 \cdot 10^{-6}$	$0,112 \cdot 10^{-5}$	$0,136 \cdot 10^{-5}$	$0,158 \cdot 10^{-5}$	$0,200 \cdot 10^{-5}$	$0,282 \cdot 10^{-5}$	$0,334 \cdot 10^{-5}$	
250	$0,122 \cdot 10^{-6}$	$0,148 \cdot 10^{-6}$	$0,209 \cdot 10^{-6}$	$0,251 \cdot 10^{-6}$	$0,333 \cdot 10^{-6}$	$0,401 \cdot 10^{-6}$	$0,463 \cdot 10^{-6}$	$0,573 \cdot 10^{-6}$	$0,794 \cdot 10^{-6}$	$0,137 \cdot 10^{-5}$	
300	$0,484 \cdot 10^{-7}$	$0,584 \cdot 10^{-7}$	$0,820 \cdot 10^{-7}$	$0,981 \cdot 10^{-7}$	$0,129 \cdot 10^{-6}$	$0,154 \cdot 10^{-6}$	$0,177 \cdot 10^{-6}$	$0,218 \cdot 10^{-6}$	$0,295 \cdot 10^{-6}$	$0,681 \cdot 10^{-6}$	
350	$0,215 \cdot 10^{-7}$	$0,258 \cdot 10^{-7}$	$0,359 \cdot 10^{-7}$	$0,428 \cdot 10^{-7}$	$0,458 \cdot 10^{-7}$	$0,563 \cdot 10^{-7}$	$0,756 \cdot 10^{-7}$	$0,926 \cdot 10^{-7}$	$0,124 \cdot 10^{-6}$	$0,367 \cdot 10^{-6}$	
400	$0,111 \cdot 10^{-7}$	$0,132 \cdot 10^{-7}$	$0,183 \cdot 10^{-7}$	$0,217 \cdot 10^{-7}$	$0,281 \cdot 10^{-7}$	$0,333 \cdot 10^{-7}$	$0,378 \cdot 10^{-7}$	$0,460 \cdot 10^{-7}$	$0,608 \cdot 10^{-7}$	$0,221 \cdot 10^{-6}$	
450	$0,579 \cdot 10^{-8}$	$0,692 \cdot 10^{-8}$	$0,951 \cdot 10^{-8}$	$0,112 \cdot 10^{-7}$	$0,145 \cdot 10^{-7}$	$0,171 \cdot 10^{-7}$	$0,193 \cdot 10^{-7}$	$0,234 \cdot 10^{-7}$	$0,193 \cdot 10^{-7}$	$0,135 \cdot 10^{-6}$	
500	$0,346 \cdot 10^{-8}$	$0,413 \cdot 10^{-8}$	$0,565 \cdot 10^{-8}$	$0,666 \cdot 10^{-8}$	$0,854 \cdot 10^{-8}$	$0,100 \cdot 10^{-7}$	$0,113 \cdot 10^{-7}$	$0,137 \cdot 10^{-7}$	$0,178 \cdot 10^{-7}$	$0,913 \cdot 10^{-7}$	
600	$0,136 \cdot 10^{-8}$	$0,162 \cdot 10^{-8}$	$0,220 \cdot 10^{-8}$	$0,258 \cdot 10^{-8}$	$0,328 \cdot 10^{-8}$	$0,364 \cdot 10^{-8}$	$0,432 \cdot 10^{-8}$	$0,516 \cdot 10^{-8}$	$0,664 \cdot 10^{-8}$	$0,449 \cdot 10^{-7}$	
700	$0,677 \cdot 10^{-9}$	$0,801 \cdot 10^{-9}$	$0,108 \cdot 10^{-8}$	$0,127 \cdot 10^{-8}$	$0,160 \cdot 10^{-8}$	$0,186 \cdot 10^{-8}$	$0,209 \cdot 10^{-8}$	$0,249 \cdot 10^{-8}$	$0,317 \cdot 10^{-8}$	$0,263 \cdot 10^{-7}$	
800	$0,342 \cdot 10^{-9}$	$0,403 \cdot 10^{-9}$	$0,542 \cdot 10^{-9}$	$0,632 \cdot 10^{-9}$	$0,795 \cdot 10^{-9}$	$0,922 \cdot 10^{-9}$	$0,103 \cdot 10^{-8}$	$0,122 \cdot 10^{-8}$	$0,155 \cdot 10^{-8}$	$0,156 \cdot 10^{-7}$	
900	$0,187 \cdot 10^{-9}$	$0,220 \cdot 10^{-9}$	$0,294 \cdot 10^{-9}$	$0,342 \cdot 10^{-9}$	$0,429 \cdot 10^{-9}$	$0,495 \cdot 10^{-9}$	$0,553 \cdot 10^{-9}$	$0,652 \cdot 10^{-9}$	$0,820 \cdot 10^{-9}$	$0,980 \cdot 10^{-8}$	
1000	$0,109 \cdot 10^{-9}$	$0,128 \cdot 10^{-9}$	$0,170 \cdot 10^{-9}$	$0,198 \cdot 10^{-9}$	$0,247 \cdot 10^{-9}$	$0,284 \cdot 10^{-9}$	$0,316 \cdot 10^{-9}$	$0,372 \cdot 10^{-9}$	$0,465 \cdot 10^{-9}$	$0,648 \cdot 10^{-8}$	
1200	$0,418 \cdot 10^{-10}$	$0,490 \cdot 10^{-10}$	$0,648 \cdot 10^{-10}$	$0,749 \cdot 10^{-10}$	$0,929 \cdot 10^{-10}$	$0,107 \cdot 10^{-9}$	$0,118 \cdot 10^{-9}$	$0,138 \cdot 10^{-9}$	$0,172 \cdot 10^{-9}$	$0,212 \cdot 10^{-8}$	
1400	$0,189 \cdot 10^{-10}$	$0,221 \cdot 10^{-10}$	$0,291 \cdot 10^{-10}$	$0,336 \cdot 10^{-10}$	$0,414 \cdot 10^{-10}$	$0,474 \cdot 10^{-10}$	$0,524 \cdot 10^{-10}$	$0,610 \cdot 10^{-10}$	$0,751 \cdot 10^{-10}$	$0,170 \cdot 10^{-8}$	

Таблица 7.3. СОПРОТИВЛЕНИЕ И ПРОВОДИМОСТЬ ПЕРЕМЫШЕК

Параметры	Условный диаметр, мм										
	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	
Сопротивление $S, \text{ м}^2/(\text{м}^3/\text{ч})^2$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	$0,129 \cdot 10^{-3}$	$0,622 \cdot 10^{-4}$	$0,160 \cdot 10^{-4}$	$0,648 \cdot 10^{-5}$	$0,318 \cdot 10^{-5}$	$0,173 \cdot 10^{-5}$	$0,104 \cdot 10^{-5}$	$0,636 \cdot 10^{-6}$	$0,428 \cdot 10^{-6}$	
Проводимость $A, \text{ м}^3/\text{ч}/\text{м}^{0,5}$	55,6	88,0	127	250	393	561	760	981	1250	1530	

Примечание. Сопротивление перемышек определено при $\xi=4,5$ и длинах перемышек: $d_y = 100-300$ мм, $l=2,0$ м; $d_y = 350-400$ мм, $l=3,0$ м; $d_y = 450-500$ мм, $l=4,0$ м.

При расходе $2520 \text{ м}^3/\text{ч}$ располагаемый напор у перемычек П2 и П3 составит:

$$\begin{aligned} \Delta H_{п2,3} = \Delta H_{п,1} - (S_1^{п2} + S_1^{п3} + S_2^{п2} + S_2^{п3} + S_3^{п2} + \\ + S_3^{п3} + 2S_4)G_{п,1}^2 = 140 - (0,403 \cdot 10^{-6} + \\ + 0,224 \cdot 10^{-6} + 0,635 \cdot 10^{-6} + 0,452 \cdot 10^{-6} + \\ + 0,275 \cdot 10^{-6} + 0,237 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 0,407 \cdot 10^{-6}) \cdot \\ \cdot 2520^2 = 44,9 \text{ м.} \end{aligned}$$

Сопротивление участка 5 и перемычки П1 равно:

$$S_{5,п1} = 2S_5 + S_{п1} = 2 \cdot 0,700 \cdot 10^{-4} + 0,622 \cdot 10^{-4} = \\ = 0,202 \cdot 10^{-3} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

Расход воды по участку 5 при испытаниях участков 3-4 составляет:

$$G_5 = \sqrt{\frac{\Delta H_{п2,3}}{S_{5,п1}}} \cdot \sqrt{\frac{44,9}{0,202 \cdot 10^{-3}}} = 471 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По перемычкам П2 и П3 при испытаниях участков 3-4 должен протекать расход воды

$$G_{п2,3} = G_{3,4} - G_5 = 2520 - 471 \approx 2050 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Сопротивление перемычек П2 и П3, необходимое для пропуска через них расхода $2050 \text{ м}^3/\text{ч}$, равно:

$$S_{п2,3}^н = \frac{\Delta H_{п2,3}}{G_{п2,3}^2} = \frac{44,9}{2050^2} = 0,107 \cdot 10^{-4} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2$$

По табл. 7.4 выбирают диаметр перемычки П3 так, чтобы суммарное сопротивление параллельно включенных перемычек П2 и П3 было близким к величине необходимого сопротивления этих перемычек:

$$d_3 = 100 \text{ мм}, S_{п3} = 0,323 \cdot 10^{-3} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

При этом $S_{п2,3} = 0,107 \cdot 10^{-4} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2$.

Диаметр перемычки П5 определяют так же, как перемычки П3. Расход воды при испытаниях участков 1-2 вычисляют исходя из потерь напора по обратной линии первого участка 15 м:

$$G_{1-2} = \sqrt{\frac{\Delta H_1^{п5}}{S_1^{п5}}} = \sqrt{\frac{15}{0,224 \cdot 10^{-6}}} = 8180 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Располагаемый напор у перемычек П4 и П5 составит:

$$\begin{aligned} \Delta H_{п4,5} = \Delta H_{п,1} - (S_1^{п4} + S_1^{п5} + S_2^{п4} + S_2^{п5})G_{1-2}^2 = \\ = 140 - (0,403 \cdot 10^{-6} + 0,224 \cdot 10^{-6} + 0,635 \cdot \\ \cdot 10^{-6} + 0,462 \cdot 10^{-6}) \cdot 8170^2 = 25,3 \text{ м.} \end{aligned}$$

Сопротивление части испытываемой магистрали, расположенной за перемычками П4 и П5, находят следующим образом.

Сопротивление последовательно расположенного участка 5 и перемычки П1

$$S_{5,п1} = 0,202 \cdot 10^{-3} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

Сопротивление параллельно включенных участка 5 с перемычкой П1 и перемычек П2 и П3

$$\begin{aligned} S_{5,п1,2,3} &= \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{S_{5,п1}}} + \frac{1}{\sqrt{S_{п2,3}}}\right)^2} = \\ &= \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{0,202 \cdot 10^{-3}}} + \frac{1}{\sqrt{0,107 \cdot 10^{-4}}}\right)^2} = \\ &= 0,707 \cdot 10^{-5} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2. \end{aligned}$$

Сопротивление части испытываемой магистрали, расположенной за перемычками П4 и П5

$$\begin{aligned} S_{3-5,п1,2,3} = S_3^{п4} + S_3^{п5} + 2S_4 + S_{5,п1,2,3} = \\ = 0,275 \cdot 10^{-5} + 0,237 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 0,407 \cdot 10^{-5} + \\ + 0,707 \cdot 10^{-5} = 0,203 \cdot 10^{-4} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2. \end{aligned}$$

При испытаниях участков 1-2 расход сетевой воды по части испытываемой магистрали, расположенной за перемычками П4 и П5, составит:

$$G_{3-5} = \sqrt{\frac{\Delta H_{п4,5}}{S_{3-5,п1,2,3}}} = \sqrt{\frac{25,3}{0,203 \cdot 10^{-4}}} = \\ = 1120 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По перемычкам П4 и П5 при испытаниях участков 1-2 расход воды должен составить:

$$G_{п4,5} = G_{1-2} - G_{3-5} = 8180 - 1120 = 7060 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Сопротивление перемычек П4 и П5, необходимое для пропуска через них расхода воды $7060 \text{ м}^3/\text{ч}$, равно:

$$\begin{aligned} S_{п4,5}^н = \frac{\Delta H_{п4,5}}{G_{п4,5}^2} = \frac{25,3}{7060^2} = \\ = 0,508 \cdot 10^{-6} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2. \end{aligned}$$

По табл. 7.4 выбирают диаметр перемычки П5 так, чтобы суммарное сопротивление параллельно включенных перемычек П4 и П5 было близко к полученному значению:

$$d_5 = 300 \text{ мм}; S_{п5} = 0,318 \cdot 10^{-6} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

При этом $S_{п4,5} = 0,574 \cdot 10^{-6} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ч})^2$.

Если в процессе подбора перемычек оказывается необходимым использовать более двух

Таблица 7.4. СОПРОТИВЛЕНИЕ И ПРОВОДИМОСТЬ ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ ПЕРЕМЫЧЕК S, М/(М°/Ч); А, М²/Ч

100 $\frac{S-0,811 \cdot 10^{-6}}{A=1,1}$	Условный диаметр шаровых переключки, мм									
	106	125	150	200	250	300	350	400	450	500
0,482 · 10 ⁻⁴ 144	0,325 · 10 ⁻⁴ 176									
0,299 · 10 ⁻⁴ 183	0,216 · 10 ⁻⁴ 215	0,155 · 10 ⁻⁴ 254								
0,107 · 10 ⁻³ 306	0,875 · 10 ⁻⁵ 338	0,704 · 10 ⁻⁵ 377	0,400 · 10 ⁻⁵ 500							
0,496 · 10 ⁻⁵ 449	0,432 · 10 ⁻⁵ 481	0,370 · 10 ⁻⁵ 520	0,242 · 10 ⁻⁵ 643	0,162 · 10 ⁻⁵ 786						
0,263 · 10 ⁻⁵ 617	0,237 · 10 ⁻⁵ 649	0,211 · 10 ⁻⁵ 688	0,152 · 10 ⁻⁵ 811	0,110 · 10 ⁻⁵ 954	0,797 · 10 ⁻⁵ 1120					
0,150 · 10 ⁻⁵ 816	0,139 · 10 ⁻⁵ 848	0,127 · 10 ⁻⁵ 887	0,980 · 10 ⁻⁶ 1010	0,756 · 10 ⁻⁶ 1150	0,574 · 10 ⁻⁶ 1320	0,433 · 10 ⁻⁶ 1520				
0,925 · 10 ⁻⁶ 1040	0,873 · 10 ⁻⁶ 1070	0,812 · 10 ⁻⁶ 1110	0,651 · 10 ⁻⁶ 1230	0,533 · 10 ⁻⁶ 1370	0,442 · 10 ⁻⁶ 1540	0,330 · 10 ⁻⁶ 1740	0,250 · 10 ⁻⁶ 1950			
0,583 · 10 ⁻⁶ 1310	0,557 · 10 ⁻⁶ 1340	0,525 · 10 ⁻⁶ 1380	0,444 · 10 ⁻⁶ 1500	0,372 · 10 ⁻⁶ 1640	0,306 · 10 ⁻⁶ 1810	0,248 · 10 ⁻⁶ 2010	0,201 · 10 ⁻⁶ 2230	0,160 · 10 ⁻⁶ 2500		
0,396 · 10 ⁻⁶ 1530	0,381 · 10 ⁻⁶ 1620	0,363 · 10 ⁻⁶ 1660	0,316 · 10 ⁻⁶ 1780	0,272 · 10 ⁻⁶ 1920	0,229 · 10 ⁻⁶ 2090	0,191 · 10 ⁻⁶ 2230	0,159 · 10 ⁻⁶ 2510	0,129 · 10 ⁻⁶ 2780	0,107 · 10 ⁻⁶ 3030	

Условный диаметр второй переключки, мм

перемычек, то их общее сопротивление находят по формулам:

$$S_{\Sigma} = 1/A_{\Sigma}^2;$$

$$A_{\Sigma} = A_{n1} + A_{n2} + A_{n3} + \dots,$$

где A_{n1} , A_{n2} , A_{n3} и т. д. — проводимости перемычек, представляющие собой расходы по ним при потерях напора 1 м, A_{Σ} — суммарная проводимость на параллельно включенных перемычках.

Величины проводимостей одной и двух параллельно включенных перемычек принимают по табл. 7.3 и 7.4.

Для окончательного определения расходов воды при испытаниях и построения ожидаемого пьезометрического графика проводят гидравлический расчет магистрали для каждого этапа испытаний при выбранных диаметрах перемычек. Целью расчета служит определение расходов воды для выбора измерительных диафрагм и напоров в камерах испытываемой магистрали для подбора манометров.

При испытаниях участков 1—2 все перемычки на магистрали должны быть открыты. Сопротивление магистрали с открытыми перемычками при этом составит:

$$S_{\Sigma(1-2)} = S_1^{nol} + S_1^{op} + S_2^{nol} + S_2^{op} +$$

$$+ \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{S_{n1,5}}} + \frac{1}{\sqrt{S_{3-5,n1,2,3}}}\right)^2} = 0,403 \cdot 10^{-6} +$$

$$+ 0,224 \cdot 10^{-6} + 0,635 \cdot 10^{-6} + 0,452 \cdot 10^{-6} +$$

$$+ \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{0,574 \cdot 10^{-6}}} + \frac{1}{\sqrt{0,203 \cdot 10^{-4}}}\right)^2} =$$

$$= 0,214 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

Расчетный расход воды на участках 1—2 при их испытаниях, потери напора на них ΔH и пьезометрические напоры в их конце H^{nol} и H^{op} соответственно равны:

$$G_{1-2}^{nol} = \sqrt{\frac{\Delta H_{n,1}}{S_{\Sigma(1-2)}}} = \sqrt{\frac{140}{0,214 \cdot 10^{-5}}} =$$

$$= 8090 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Delta H_1^{nol} = S_1^{nol} (G_{1-2}^{nol})^2 = 0,403 \cdot 10^{-6} \cdot 8090^2 = 26,4 \text{ м};$$

$$\Delta H_1^{op} = S_1^{op} (G_{1-2}^{nol})^2 = 0,224 \cdot 10^{-6} \cdot 8090^2 = 14,7 \text{ м};$$

$$H_1^{nol} = (Z + H_0 + \Delta H)_{n,1} - \Delta H_1^{nol} - Z_1 =$$

$$= (100 + 20 + 140) - 26,4 - 95 = 138,6 \text{ м};$$

$$H_1^{op} = (Z + H_0)_{n,1} + \Delta H_1^{op} - Z_1 = (100 + 20) +$$

$$+ 14,7 - 95 = 39,7 \text{ м};$$

$$\Delta H_2^{nol} = S_2^{nol} (G_{1-2}^{nol})^2 = 0,635 \cdot 10^{-6} \cdot 8090^2 = 41,6 \text{ м};$$

$$\Delta H_2^{op} = S_2^{op} (G_{1-2}^{nol})^2 = 0,452 \cdot 10^{-6} \cdot 8090^2 = 29,6 \text{ м};$$

$$H_2^{nol} = Z_1 + H_1^{nol} - \Delta H_2^{nol} - Z_2 = 95 + 138,6 -$$

$$- 41,6 - 80 = 112,0 \text{ м};$$

$$H_2^{op} = Z_1 + H_1^{op} + \Delta H_2^{op} - Z_2 = 95 + 39,7 +$$

$$+ 29,6 - 80 = 84,3 \text{ м}.$$

Располагаемый напор перед перемычками П4 и П5 составляет

$$\Delta H_{n1,5} = H_2^{nol} - H_2^{op} = 112,0 - 84,3 = 27,7 \text{ м}.$$

Ожидаемый располагаемый напор при испытаниях перед перемычками П4 и П5 близок к полученному при выборе перемычек (25,3 м).

При испытаниях участков 3—4 перемычки П4 и П5 закрывают. Сопротивление магистрали при этом составит:

$$S_{\Sigma(3-4)} = S_1^{nol} + S_1^{op} + S_2^{nol} + S_2^{op} + S_{3-5,n1,2,3}$$

$$= 0,403 \cdot 10^{-6} + 0,224 \cdot 10^{-6} + 0,635 \cdot 10^{-6} +$$

$$+ 0,452 \cdot 10^{-6} + 0,203 \cdot 10^{-4} =$$

$$= 0,220 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(\text{м}^3/\text{ч})^2.$$

Расчетный расход по участкам 3—4 при их испытаниях, потери напора на участках магистрали и пьезометрические напоры в начале и конце участков 3—4 соответственно равны:

$$G_{3-4}^{nol} = \sqrt{\frac{\Delta H_{n,1}}{S_{\Sigma(3-4)}}} = \sqrt{\frac{140}{0,220 \cdot 10^{-4}}} =$$

$$= 2520 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\Delta H_1^{nol} = (S_1^{nol} + S_2^{nol}) (G_{3-4}^{nol})^2 =$$

$$= (0,403 \cdot 10^{-6} + 0,635 \cdot 10^{-6}) 2520^2 = 6,6 \text{ м};$$

$$\Delta H_1^{op} = (S_1^{op} + S_2^{op}) (G_{3-4}^{nol})^2 =$$

$$= (0,224 \cdot 10^{-6} + 0,452 \cdot 10^{-6}) 2520^2 = 4,3 \text{ м};$$

$$H_2^{nol} = (Z + H_0 + \Delta H)_{n,1} - \Delta H_1^{nol} - Z_2 =$$

$$= (100 + 20 + 140) - 6,6 - 80 = 173,4 \text{ м};$$

$$H_2^{op} = (Z + H_0)_{n,1} + \Delta H_1^{op} - Z_2 =$$

$$= (100 + 20) + 4,3 - 80 = 44,3 \text{ м};$$

$$\Delta H_3^{nol} = S_3^{nol} (G_{3-4}^{nol})^2 = 0,275 \cdot 10^{-5} \cdot 2520^2 = 17,5 \text{ м};$$

$$\Delta H_3^{op} = S_3^{op} (G_{3-4}^{nol})^2 = 0,237 \cdot 10^{-5} \cdot 2520^2 = 15,1 \text{ м};$$

$$H_3^{nol} = Z_2 + H_2^{nol} - \Delta H_3^{nol} - Z_3 =$$

$$= 80 + 173,4 - 17,5 - 90 = 145,9 \text{ м};$$

$$H_3^{op} = Z_2 + H_2^{op} + \Delta H_3^{op} - Z_3 =$$

$$= 80 + 44,3 + 15,1 - 90 = 49,4 \text{ м};$$

$$\Delta H_4^{nol} = \Delta H_4^{op} = S_4 (G_{3-4}^{nol})^2 = 0,407 \cdot 10^{-5} \cdot 2520^2 =$$

$$= 25,8 \text{ м};$$

$$H_4^{nol} = Z_3 + H_3^{nol} - \Delta H_4^{nol} - Z_4 =$$

$$= 90 + 145,9 - 25,8 - 105 = 105,1 \text{ м};$$

$$H_4^{op} = Z_3 + H_3^{op} + \Delta H_4^{op} - Z_4 =$$

$$= 90 + 49,4 + 25,8 - 105 = 60,2 \text{ м}.$$

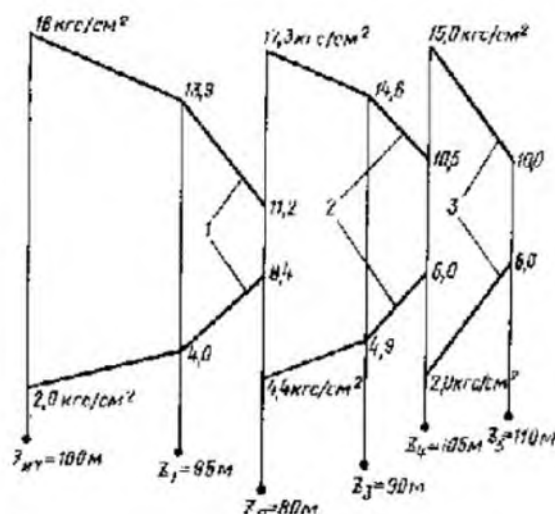


Рис. 7.4. Ожидаемые пьезометрические давления при испытаниях

1 — при испытаниях участков 1—2; 2 — при испытаниях участков 3—4; 3 — при испытаниях участка 5

Располагаемый напор перед перемышками П2 и П3 составляет:

$$\Delta H_{2,3} = H_4^{вд} - H_3^{6р} = 105,1 - 60,2 = 44,9 \text{ м.}$$

Ожидаемый располагаемый напор при испытаниях перед перемышками П4 и П5 равен полученному при выборе перемычек.

При испытании участка 5 дополнительно закрывают перемышки П2 и П3. Сопротивление магистрали при этом составляет

$$\begin{aligned} S_{м(5)} = & S_1^{вд} + S_1^{6р} + S_2^{вд} + S_2^{6р} + S_3^{вд} + S_3^{6р} + \\ & + 2S_4 + 2S_5 + S_{п1} = 0,403 \cdot 10^{-6} + 0,224 \cdot 10^{-6} + \\ & + 0,635 \cdot 10^{-6} + 0,452 \cdot 10^{-6} + 0,275 \cdot 10^{-5} + \\ & + 0,237 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 0,407 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 0,700 \cdot 10^{-4} + \\ & + 0,622 \cdot 10^{-4} = 0,217 \cdot 10^{-3} \text{ (м/м}^3/\text{ч)}^2. \end{aligned}$$

Расчетный расход по участку 5 при его испытании, потери напора на участках магистрали и пьезометрические напоры в начале и конце участка 5 соответственно равны:

$$G_5^в = \sqrt{\frac{\Delta H_{м.т}}{S_{м(5)}}} = \sqrt{\frac{140}{0,217 \cdot 10^{-3}}} = 803 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{1-4}^{вд} = & (S_1^{вд} + S_2^{вд} + S_3^{вд} + S_4^{вд}) (G_5^в)^2 = \\ = & (0,403 \cdot 10^{-6} + 0,635 \cdot 10^{-6} + 0,275 \cdot 10^{-5} + \\ & + 0,407 \cdot 10^{-5}) 803^2 = 5,1 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{1-4}^{6р} = & (S_1^{6р} + S_2^{6р} + S_3^{6р} + S_4^{6р}) (G_5^в)^2 = \\ = & (0,224 \cdot 10^{-6} + 0,452 \cdot 10^{-6} + 0,237 \cdot 10^{-5} + \\ & + 0,407 \cdot 10^{-5}) 803^2 = 4,6 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_4^{вд} = & (Z + H_0 + \Delta H)_{м.т} - \Delta H_{1-4}^{вд} - Z_4 = \\ = & (100 + 20 + 140) - 5,1 - 105 = 149,9 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_4^{6р} = & (Z + H_0)_{м.т} + \Delta H_{1-4}^{6р} - Z_4 = \\ = & (100 + 20) + 4,6 - 105 = 19,6 \text{ м.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_5^{вд} = \Delta H_5^{6р} = & S_5 (G_5^в)^2 = 0,700 \cdot 10^{-4} \cdot 803^2 = \\ = & 45,1 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_5^{вд} = & Z_4 + H_4^{вд} - \Delta H_5^{вд} - Z_5 = 105 + 149,9 - \\ & - 45,1 - 110 = 99,8 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_5^{6р} = & Z_4 + H_4^{6р} + \Delta H_5^{6р} - Z_5 = 105 + 19,6 + \\ & + 45,1 - 110 = 59,7 \text{ м} \end{aligned}$$

Располагаемый напор перед перемышкой П1 составляет

$$\Delta H_{п1} = H_5^{вд} - H_5^{6р} = 99,8 - 59,7 = 40,1 \text{ м.}$$

Ожидаемый располагаемый напор при испытаниях перед перемышкой П1 практически равен полученному при выборе перемычки (40,3 м).

Расчетные расходы воды, по которым выбирают отверстия измерительных диафрагм на источнике теплоты и пределы измерений манометров, устанавливаемых у источника теплоты и в концевых камерах испытываемых участков, приведены для каждого этапа испытаний в табл. 7.5.

Величины ожидаемых давлений (показаний манометров) в точках измерений для каждого этапа испытаний приведены на рис. 7.4.

Проведение испытаний. Испытания начинают с определения геодезических отметок точек наблюдения относительно нулевой точки, за которую, как правило, принимают отметку манометра, установленного на выходном коллекторе источника теплоты, или самую низкую точку сети. Геодезические отметки находят путем одновременного снятия показаний манометров при статическом режиме (сетевые насосы остановлены) и поддержании заданного давления в обратном коллекторе с помощью подпиточных насосов. Отметки определяют при двух режимах, различающихся на 0,5 кгс/см².

При статическом режиме необходимо снять не менее 10 показаний манометров с интервалом 5 мин. Задвижки в источнике теплоты на испытываемых магистралях и циркуляционных перемышках при статическом режиме должны быть открыты.

По данным статических испытаний, геодезическую поправку определяют по формуле

$$h_r = \frac{(P_0 - P_T) 10^4}{\gamma}, \quad (7.2)$$

где P_0 и P_T — манометрическое давление при статическом режиме соответственно в нулевой и данной точках, кгс/см²; γ — плотность воды, соответствующая ее температуре во время испытаний, кгс/м³.

Таблица 7.5. РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Испытания	Расчетный расход воды, м ³ /ч	Пределы измерений манометров для подающей и обратной линий, кгс/см ²												
		источник теплоты		участок										
		P ₁	P ₂	1		2		3		4		5		
P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	P ₁	P ₂	
Участков 1—2	8000	25	6	25	6	16	16	—	—	—	—	—	—	—
Участков 3—4	2500	—	—	—	—	25	6	25	10	16	10	—	—	—
Участка 5	800	—	—	—	—	—	—	—	—	25	6	16	10	—

На результаты измерений значительное влияние оказывают утечки воды. Поэтому при испытаниях следует тщательно следить за величиной подпитки, чтобы она при статическом режиме была близка к нулю, а при работе сетевых насосов не превышала 1% количества воды, циркулирующей в сети. При больших утечках испытания прекращают до устранения утечки.

Перед выполнением основных испытаний проводят пробные испытания при работающих сетевых насосах со снятием показаний всех установленных приборов. Во время пробных испытаний проверяют достаточность потерь напора на участках, правильность выбора пределов измерения манометров и работу дифманометра. Если пробные испытания покажут, что при принятом режиме потери напора недостаточны, необходимо увеличить скорость (расход) воды в тепловой сети путем включения дополнительных переключателей или крупных потребителей, увеличения напора на выводах с источника теплоты и т. п.

Основные гидравлические испытания проводят при максимально возможном расходе воды и расходе, сокращенном до 70—80% максимального. Испытания при максимальном расходе воды позволяют получить наиболее надежные результаты за счет максимального падения давления. Испытания с сокращенным расходом воды проводят для проверки величин падения давления, полученных при максимальном расходе. По каждому режиму следует снять не менее 15 показаний приборов с интервалом 5 мин.

Соответствие результатов испытаний при максимальном расходе воды результатам, полученным при сниженном расходе, проверяют по квадратичной зависимости

$$\frac{\Delta H_1}{\Delta H_2} = \left(\frac{G_1}{G_2} \right)^2,$$

где ΔH_1 и ΔH_2 — потери напора на участке соответственно при максимальном и сниженном расходах воды, м; G_1 и G_2 — соответственно максимальный и сниженный расходы воды при испытаниях, м³/ч.

Сетевые и подпиточные насосы испытывают при расходах воды, изменяемых в пределах от нуля до максимально возможного расхода и от максимально возможного до нуля. Подачу насоса изменяют с помощью задвижки на нагнетательном патрубке насоса. При испытаниях измеряют расход сетевой (подпиточной) воды, давление на всасывающем и нагнетательном патрубках (манометры устанавливают на одной высоте), мощность, потребляемую электродвигателем при различных режимах. При изменении расхода сетевой воды от нуля до максимального выполняют не менее пяти замеров одновременно по всем приборам и столько же при изменении расхода от максимального до нуля.

Гидравлическое сопротивление коммуникаций сетевой воды в источнике теплоты определяют от обратного до подающего коллектора на выводах тепловой сети. Испытания проводят при различных схемах включения оборудования, соответствующих условиям эксплуатации, при двух режимах работы сетевых насосов и одном статическом. На каждом режиме проводят не менее пяти измерений. Каждый подогреватель (водогрейный котел, бойлер) испытывают отдельно. При испытаниях измеряют расход воды через испытываемый подогреватель и давление воды на входе и выходе из подогревателя. Остальные параллельно присоединенные подогреватели должны быть надежно отключены.

Обработка материалов испытаний. Для расчетов используют показания приборов при максимальном расходе воды, которые являются наиболее надежными. Показания приборов обрабатывают следующим образом. Выбирают 10 показаний приборов, последовательных по

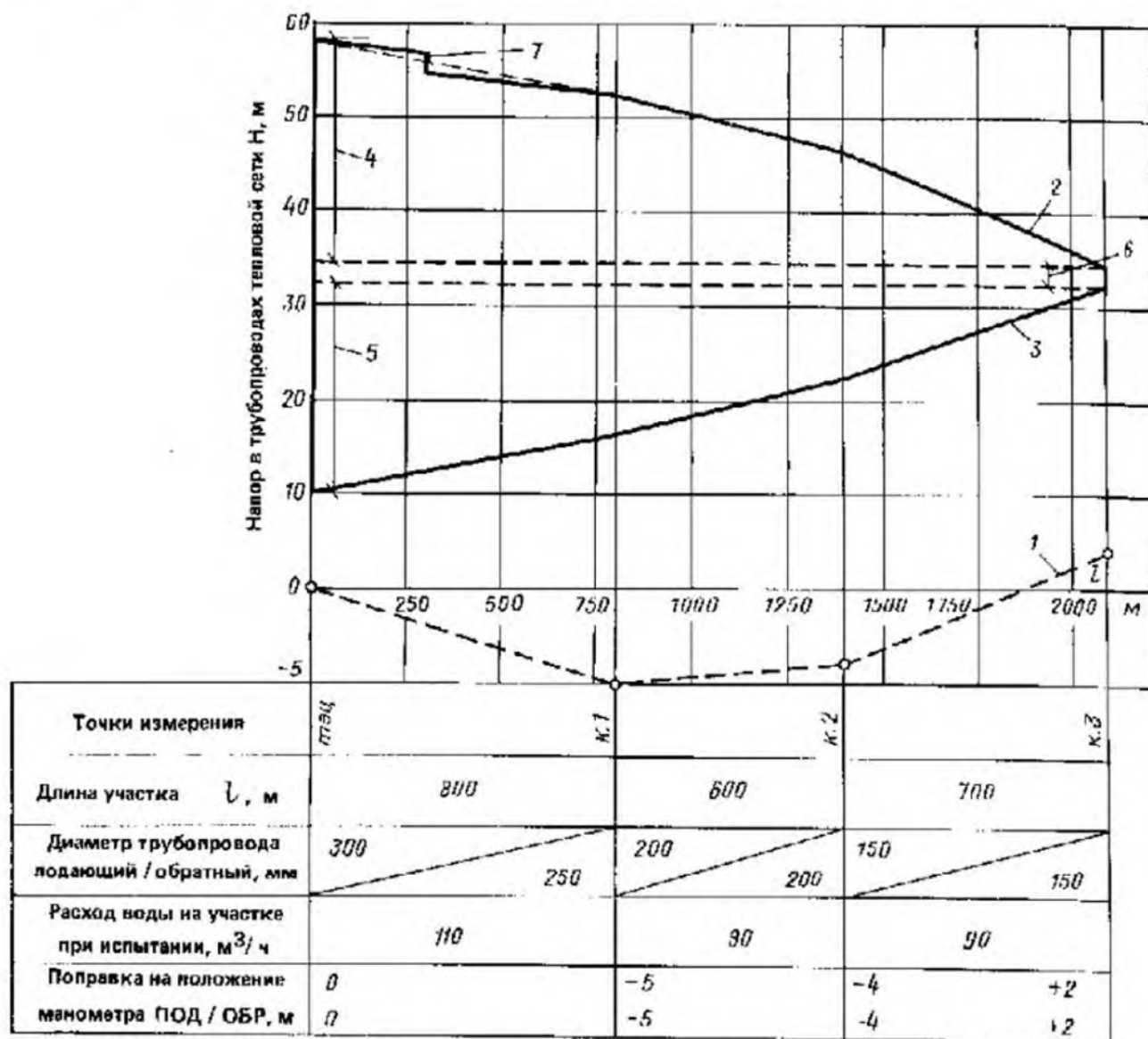


Рис. 7.5. График напора в тепловых сетях
 1 — условный профиль испытываемой магистрали; 2 — линия напоров в подающей магистрали; 3 — линия напора в обратной магистрали; 4 — потери напора в подающей магистрали; 5 — потери напора в обратной магистрали; 6 — потери напора в перемычке; 7 — потери напора в диафрагме

времени и соответствующих наиболее стабильному режиму. Среднеарифметическое значение выбранных показаний принимают за основу дальнейших расчетов. К усредненному показанию манометра вносят поправку согласно паспорту госповерки, а затем градусные показания манометра переводят в кгс/см². По величинам давлений с учетом поправок на погрешность и положение манометра по формуле (7.2) определяют полные напоры в начале и конце каждого участка:

$$H_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\gamma} + h_n;$$

$$H_k = \frac{P_k \cdot 10^4}{\gamma} + h_k,$$

где P_n и P_k — истинное давление (с учетом погрешности манометра) в трубопроводе соответственно в начале и конце участка, кгс/см², h_n и h_k — геодезические поправки на положение манометров в начале и конце участка, м; γ — плотность воды при испытаниях, кгс/м³.

По величине разности полных напоров в начале и конце участка находят величину общей потери напора на участке

$$\Delta H = H_n - H_k. \quad (7.3)$$

Для участков, на которых установлены измерительные диафрагмы, потеря напора в диафрагме должна исключаться из вычисленной по формуле (7.3) общей потери напора на участке. С достаточной степенью точности потеря напора в диафрагме составит

$$\Delta h = \frac{h \left(1 - \frac{d^2}{D_0^2}\right) 12,6}{1000},$$

где h — перепад давлений по дифманометру, мм рт. ст., d — диаметр мерного отверстия измерительной диафрагмы, мм; $D_в$ — внутренний диаметр трубопровода в месте установки диафрагмы, мм; 12,6 — коэффициент перевода мм рт. ст. в мм вод. ст.

Затем определяют потери напора в м в местных сопротивлениях каждого участка

$$\Delta H_m = \sum \xi \frac{G^2}{1,57 \cdot 10^8 D_в^5},$$

где $\sum \xi$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений; G — расход воды м³/ч; $D_в$ — внутренний диаметр трубы, м.

Далее определяют линейные (на трение) потери напора

$$\Delta H_{л} = \Delta H - \Delta H_m,$$

рассчитывают удельные линейные потери напора на участке

$$R = \frac{\Delta H_{л}}{l},$$

где l — длина участка, м.

Находят коэффициент трения

$$\lambda = \frac{RD_в^5}{G^2} \cdot 1,57 \cdot 10^8.$$

Эквивалентную шероховатость K , мм, определяют из соотношения

$$\lg \frac{D_в}{2K} = 0,5 \sqrt{\frac{1}{\lambda}} - 0,87.$$

Для анализа результатов испытаний строят график напоров в тепловой сети при испытаниях (рис. 7.5). Повышенные удельные потери напора на отдельных участках свидетельствуют о местных засорах трубопровода, неисправности запорной арматуры, наличии внутренних наплывов в сварных соединениях и т. д. Фактические величины эквивалентной шероховатости используют при последующей разработке гидравлических режимов тепловой сети для определения поправочного коэффициента β к гидравлическим потерям в трубопроводах.

7.2. ТЕПЛОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ И НОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

Тепловые испытания проводят с целью нормирования тепловых потерь через изоляцию трубопроводов. По результатам тепловых испытаний находят также фактические тепловые

потери через изоляцию за любой прошедший период работы тепловой сети.

Общие положения. Тепловые потери нормируют для предстоящего периода работы конкретной тепловой сети и представляют собой ожидаемые потери за 1 год или 1 мес. Фактические тепловые потери определяют за любой истекший период работы тепловой сети.

Нормируемые эксплуатационные тепловые потери водяной тепловой сети через изоляцию трубопроводов устанавливают экспериментально путем проведения специальных тепловых испытаний сети. Целью испытаний является определение тепловых потерь различными типами прокладок и конструкциями изоляции трубопроводов, характерными для данной тепловой сети. По результатам испытаний оценивают конкретные условия работы прокладок и состояние изоляции испытываемых трубопроводов. В связи с этим испытаниям следует подвергать те участки сети, у которых тип прокладки и конструкция изоляции являются преобладающими для данной сети. Это облегчает распространение результатов испытаний на тепловую сеть в целом.

Непосредственной задачей испытаний водяной сети является определение тепловых потерь испытываемыми участками при выбранном режиме.

Экспериментальное определение тепловых потерь через изоляцию трубопроводов следует проводить периодически: по мере расширения и реконструкции тепловой сети, изменения теплотехнических показателей изоляции трубопроводов в процессе их эксплуатации, замены изоляции на отдельных участках и т. п.

Испытания по определению тепловых потерь в тепловых сетях необходимо проводить не реже одного раза в 5 лет.

Нормируемые значения тепловых потерь с утечкой воды из тепловых сетей определяют на основании часовой утечки воды, регламентируемой Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей (М.: Энергия, 1977).

Определение нормируемых тепловых потерь. Нормирование эксплуатационных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов. При определении нормируемых значений часовых среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов для тепловой сети в целом

на основе данных испытаний отдельных участков этой сети в качестве исходных принимают следующие положения:

для испытанных участков сети используют значения измеренных тепловых потерь с пересчетом на среднегодовой режим работы тепловой сети;

для участков тепловой сети, не подвергшихся испытаниям, но имеющих типы прокладки и конструкции изоляции, аналогичные испытанным участкам, используют нормативные значения среднегодовых тепловых потерь для данной тепловой сети с введением в них поправочных коэффициентов K , значения которых принимают по результатам тепловых испытаний;

для участков тепловой сети, не подвергшихся испытаниям и имеющих типы прокладок или конструкции изоляции, отличные от испытанных участков, принимают нормативные значения среднегодовых тепловых потерь без введения в них поправочных коэффициентов,

нормируемые значения среднегодовых эксплуатационных потерь по тепловой сети в целом получают суммированием тепловых потерь по охарактеризованным выше группам участков.

Нормативные (проектные) значения среднегодовых тепловых потерь данной тепловой сети определяются исходя из действующих норм тепловых потерь для различных типов прокладок сетей, на основании которых запроектирована тепловая изоляция тех или иных участков данной сети. («Нормы проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования электростанций и тепловых сетей». Госэнергоиздат, 1959). Структура норм тепловых потерь одинакова (табл. 7.6 и 7.7).

В этих таблицах значения удельных тепловых потерь для двухтрубных водяных сетей, дифференцированных по типам прокладок, приведены для каждого наружного диаметра труб и нескольких значений разности среднегодовых температур воды и окружающей среды (грунта при подземной и воздуха при надземной прокладке). Для подземной прокладки значения удельных тепловых потерь приводят суммарно по обоим трубопроводам, для надземной прокладки - по одному трубопроводу. Поскольку приведенные в табл. 7.6 и 7.7 значения разности температур воды и окружающей среды, как правило, отличаются

от разности температур для данной тепловой сети, необходим пересчет этих значений на разность среднегодовых температур, соответствующую условиям работы данной тепловой сети.

Нормативные значения среднегодовых тепловых потерь для данной тепловой сети определяют по следующим формулам:

$$\text{для участков подземной прокладки} \quad Q_{\text{пз}}^{\text{ср}} = \sum \beta q_{\text{пз}} l; \quad (7.4)$$

$$\text{для участков надземной прокладки} \quad Q_{\text{нз}}^{\text{ср}} = \sum \beta q_{\text{нз}} l; \quad (7.5)$$

$$Q_{\text{нз}}^{\text{ср}} = \sum \beta q_{\text{нз}} l; \quad (7.6)$$

где $Q_{\text{пз}}^{\text{ср}}$, $Q_{\text{нз}}^{\text{ср}}$ и $Q_{\text{нз}}^{\text{ср}}$ — нормативные среднегодовые тепловые потери соответственно для участков подземной прокладки, подающего и обратного трубопроводов участков надземной прокладки, ккал/ч; $q_{\text{пз}}$ — нормативные значения удельных тепловых потерь подающего и обратного трубопроводов водяных тепловых сетей при подземной прокладке для каждого диаметра труб, ккал/м·ч; $q_{\text{нз}}$ и $q_{\text{нз}}$ — нормативные значения удельных тепловых потерь соответственно подающего и обратного трубопроводов для каждого диаметра труб при надземной прокладке, ккал/(м·ч); l — длина участка тепловой сети, характеризующегося одинаковым диаметром трубопроводов и типом прокладки, м; β — коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери арматуры, опор и компенсаторов.

Нормативные значения удельных тепловых потерь определяют, исходя из действующих норм отдельно для участков подземной и надземной прокладки применительно к среднегодовым условиям работы данной тепловой сети.

Значения $q_{\text{пз}}$ для различных диаметров трубопроводов подземной прокладки определяют путем линейной интерполяции (или экстраполяции) между табличными значениями удельных тепловых потерь при разностях температур 52,5 и 65°C (или 65 и 75°C) на разность среднегодовых температур воды и грунта для данной тепловой сети (см. табл. 7.6).

Значения $q_{\text{нз}}$ и $q_{\text{нз}}$ для различных диаметров трубопроводов надземной прокладки определяют путем линейной интерполяции между табличными значениями удельных тепловых потерь при разностях температур 70 и 95°C для подающей линии и 45 и 70°C для обратной линии. Интерполяцию проводят на разность среднегодовых температур воды в соответствующей линии и окружающего воздуха для данной тепловой сети (см. табл. 7.7).

Разность среднегодовых температур теплоносителя и окружающей среды для данной тепловой сети определяют на основании средних за год температур наружного воздуха и грунта на уровне заложения теплопроводов, прини-

Таблица 7.6. НОРМЫ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ $q_{\text{н}}$ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ВОДЯНЫМИ ТЕПЛОПРОВОДАМИ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ БЕСКАНАЛЬНОЙ ПРОКЛАДКЕ И ПРОКЛАДКЕ В НЕПРОХОДНЫХ КАНАЛАХ С РАСЧЕТНОЙ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ГРУНТА 5°C НА ГЛУБИНЕ ЗАЛОЖЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДОВ

Наружный диаметр трубы $d_{\text{н}}$, мм	Нормы тепловых потерь, ккал/(м·ч), для двухтрубной прокладки при разности среднегодовых температур воды и грунта, °C			Наружный диаметр трубы $d_{\text{н}}$, мм	Нормы тепловых потерь, ккал/(м·ч), для двухтрубной прокладки при разности среднегодовых температур воды и грунта, °C		
	52,5	65	75		52,5	65	75
32	45	52	58	377	—	183	202
57	56	65	72	426	—	203	219
76	64	74	82	478	—	223	241
89	69	80	88	529	—	243	261
108	76	88	96	630	—	277	298
159	94	107	117	720	—	306	327
219	113	130	142	820	—	341	364
273	132	150	163	920	—	373	399
325	149	168	183	1020	—	410	436

Таблица 7.7. НОРМЫ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ $q_{\text{н}}$ ИЛИ $q_{\text{н.к}}$ ОДИН ИЗОЛИРОВАННЫМ ВОДЯНЫМ ТЕПЛОПРОВОДОМ ПРИ НАДЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКЕ С РАСЧЕТНОЙ СРЕДНЕГОДОВОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА 5°C

Наружный диаметр трубопровода, мм	Нормы тепловых потерь, ккал/(м·ч)				Наружный диаметр трубопровода, мм	Нормы тепловых потерь, ккал/(м·ч)			
	Разность среднегодовых температур воды и воздуха, °C					Разность среднегодовых температур воды и воздуха, °C			
	45	70	95	120		45	70	95	120
32	15	23	31	38	325	60	80	100	120
48	18	27	36	45	377	71	93	114	135
57	21	30	40	49	426	82	105	128	150
76	25	35	45	55	478	89	113	136	160
89	28	38	50	60	529	95	120	145	170
108	31	43	55	67	630	104	133	160	190
133	35	48	60	74	720	115	145	176	206
159	38	50	65	80	820	135	168	200	233
194	42	58	73	88	920	155	190	225	260
219	46	60	78	95	1020	180	220	255	292
273	53	70	87	107	1420	230	280	325	380

маемых по климатологическим справочникам или по данным ближайшей метеорологической станции. Среднегодовые температуры воды в подающей и обратной линиях тепловой сети находят как среднеарифметические из среднемесячных температур ее в соответствующих линиях за весь период работы сети в течение года. Среднемесячные температуры воды определяют по утвержденному эксплуатационному температурному графику при среднемесячной температуре наружного воздуха.

Значение коэффициента β в соответствии с действующими СНиП «Тепловые сети. Нормы проектирования» принимают для беска-

нальной прокладки 1,15, для канальной — 1,2 и для надземной прокладки — 1,25.

В формулах (7.4)—(7.6) суммирование производят по всем участкам тепловой сети, не подвергающимся тепловым испытаниям, отдельно для участков с типами прокладки и конструкциями изоляции, аналогичными испытанным и отличающимися от них.

Нормируемые значения часовых среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь по каждой группе участков определяют отдельно для подземной и надземной прокладок следующим образом.

Нормируемые значения тепловых потерь по

участкам, подвергнутым испытаниям, находят по формулам (7.32) — (7.34).

Нормируемые значения тепловых потерь по участкам, не подвергнутым испытаниям, но имеющим типы прокладки и конструкции изоляции, аналогичные испытанным участкам, находят по формулам:

для подземной прокладки

$$Q_{н.п}^{ср.г} = Q_{н.п}^{ср.ч} K; \quad (7.7)$$

для надземной прокладки

$$Q_{н.н.в}^{ср.г} = Q_{н.н.в}^{ср.ч} K_n; \quad (7.8)$$

$$Q_{н.н.о}^{ср.г} = Q_{н.н.о}^{ср.ч} K_o, \quad (7.9)$$

где $Q_{н.п}^{ср.г}$, $Q_{н.н.в}^{ср.г}$ и $Q_{н.н.о}^{ср.г}$ — нормируемые значения годовых среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь соответственно для участков подземной прокладки и для участков подающей и обратной линий надземной прокладки, ккал/ч.

Коэффициенты K , K_n и K_o определяют по результатам тепловых испытаний.

Нормируемые значения тепловых потерь по участкам, не подвергнутым испытаниям и имеющим типы прокладок и конструкции изоляции, отличные от испытанных участков, находят по формулам (7.7) — (7.9) без введения коэффициентов.

Нормируемые значения среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов тепловой сети в целом устанавливают отдельно для подземной и надземной прокладок (а для последней и отдельно по обеим линиям сети) путем суммирования тепловых потерь по всем группам участков:

$$Q_{подз}^{ср.г} = Q_{н.п}^{ср.г} + Q_{п.д}^{ср.г} + Q_{о.б}^{ср.г}; \quad (7.10)$$

$$Q_{надз.в}^{ср.г} = Q_{п.д.в}^{ср.г} + Q_{н.н.в}^{ср.г} + Q_{о.б.в}^{ср.г}; \quad (7.11)$$

$$Q_{надз.о}^{ср.г} = Q_{п.д.о}^{ср.г} + Q_{н.н.о}^{ср.г} + Q_{о.б.о}^{ср.г}; \quad (7.12)$$

где $Q_{подз}^{ср.г}$, $Q_{надз.в}^{ср.г}$ и $Q_{надз.о}^{ср.г}$ — нормируемые значения среднегодовых часовых эксплуатационных тепловых потерь для конкретной тепловой сети соответственно для подземной прокладки и для подающей и обратной линии надземной прокладки, Гкал/ч; $Q_{н.п}^{ср.ч}$, $Q_{п.д.в}^{ср.ч}$ и $Q_{п.д.о}^{ср.ч}$ — нормируемые значения часовых среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь для участков, подвергнутых испытаниям, соответственно при подземной и надземной прокладке в м (для последней — отдельно по обеим линиям сети), Гкал/ч; $Q_{н.н.в}^{ср.ч}$, $Q_{н.н.о}^{ср.ч}$ и $Q_{о.б.в}^{ср.ч}$ — нормируемые значения часовых среднегодовых эксплуатационных тепловых потерь для участков, не подвергнутых испытаниям и имеющих типы прокладок и конструкции изоляции, отличные от испытанных участков, соответственно при подземной и надземной прокладке (для последней — отдельно по обеим линиям сети), Гкал/ч.

Нормируемые значения месячных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов для тепловой сети в целом определяются по формуле

$$Q_{из}^{мес} = (Q_{подз}^{ср.м} + Q_{надз.в}^{ср.м} + Q_{надз.о}^{ср.м}) n, \quad (7.13)$$

где $Q_{из}^{мес}$ — нормируемое значение месячных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов, Гкал; $Q_{подз}^{ср.м}$, $Q_{надз.в}^{ср.м}$ и $Q_{надз.о}^{ср.м}$ — нормируемые значения часовых тепловых потерь соответственно для участков сети подземной и надземной прокладок (подающей и обратной линий), определенные применительно к среднемесячным температурам воды и окружающей среды, Гкал/ч; n — продолжительность работы сети в данном месяце, ч.

Пересчет нормируемых значений средние годовых тепловых потерь $Q_{подз}^{ср.г}$, $Q_{надз.в}^{ср.г}$ и $Q_{надз.о}^{ср.г}$ на их среднемесячные значения $Q_{подз}^{ср.м}$, $Q_{надз.в}^{ср.м}$ и $Q_{надз.о}^{ср.м}$ производится отдельно для участков сети подземной и надземной прокладок (подающей и обратной линий) по следующим формулам:

для участков подземной прокладки

$$Q_{подз}^{ср.м} = Q_{подз}^{ср.г} \frac{t_n^{ср.м} + t_o^{ср.м} + 2t_{г.р}^{ср.м}}{t_n^{ср.г} + t_o^{ср.г} - 2t_{г.р}^{ср.г}}; \quad (7.14)$$

для участков подающей линии надземной прокладки

$$Q_{надз.в}^{ср.м} = Q_{надз.в}^{ср.г} \frac{t_n^{ср.м} - t_o^{ср.м}}{t_n^{ср.г} - t_o^{ср.г}}; \quad (7.15)$$

для участков обратной линии надземной прокладки

$$Q_{надз.о}^{ср.м} = Q_{надз.о}^{ср.г} \frac{t_o^{ср.м} - t_n^{ср.м}}{t_o^{ср.г} - t_n^{ср.г}}; \quad (7.16)$$

где $t_n^{ср.м}$ и $t_o^{ср.м}$ — ожидаемые среднемесячные температуры воды в подающей и обратной линиях тепловой сети, определенные по эксплуатационному температурному графику при среднемесячной температуре наружного воздуха $t_n^{ср.м}$, °С; $t_n^{ср.г}$ и $t_o^{ср.г}$ — среднегодовые температуры воды в подающей и обратной линиях тепловой сети, определенные как среднеарифметические из ожидаемых среднемесячных температур ее в соответствующих линиях за весь период работы сети в течение года, °С; $t_{г.р}^{ср.м}$ и $t_{г.р}^{ср.г}$ — среднемесячная и среднегодовая температура грунта на глубине заложения теплопроводов, °С; $t_n^{ср.м}$ и $t_n^{ср.г}$ — среднемесячная и среднегодовая температура наружного воздуха, °С.

Для тех месяцев, в течение которых производится перевод круглогодично эксплуатируемой сети с отопительного на летний режим работы, подсчет нормируемых значений тепловых потерь выполняют отдельно по соответствующим периодам этих месяцев с подстановкой в формулу (7.13) вместо n числа часов работы сети в течение данного периода.

Нормируемые значения годовых тепловых потерь через изоляцию трубопроводов по тепловой сети в целом определяют как сумму нормируемых значений месячных тепловых потерь.

При необходимости нормируемые годовые тепловые потери через изоляцию могут быть определены как доля нормируемого годового отпуска теплоты.

Тепловые испытания. Задачи испытаний и последовательность работ. Во время тепловых испытаний водяной тепловой сети выявляют тепловые потери через изоляцию трубопроводов испытываемыми участками сети при выбранном режиме и сопоставляют их с нормативными значениями по тем же участкам.

Перед проведением испытаний необходимо восстановить разрушенную тепловую изоляцию, осушить камеры тепловых сетей, привести в порядок дренажи, организовать сток поверхностных вод с трассы и т. п.

Испытания водяной сети предусматривают выполнение следующих работ: анализ материалов по тепловой сети; выбор участков сети, подлежащих испытаниям; расчет параметров испытаний; подготовку сети и оборудования к испытаниям; подготовку измерительной аппаратуры; проведение тепловых испытаний; обработку данных, полученных при испытаниях; сопоставление измеренных при испытаниях тепловых потерь с нормативными.

Анализ материалов по тепловой сети. Подготовка к испытаниям должна начинаться с детального анализа схемы тепловой сети, оборудования подогревательной установки, типов прокладки, конструкции изоляции и состояния ее на отдельных участках сети.

В процессе подготовки составляют таблицу с данными по характеристике сети, в которой указывают диаметр и длину труб по участкам, конструкцию изоляции и типы прокладки (подземная бесканальная и в непроходных каналах, надземная вне помещений). Образец таблицы приведен в примере расчета тепловых потерь через изоляцию трубопроводов.

Для пересчета полученных при испытаниях результатов на различные эксплуатационные режимы работы сети и определения температурных параметров испытаний используют климатологические данные для того населенного пункта, в котором расположена испытываемая сеть:

среднегодовые температуры грунта $t_{гр}^{ср}$ на среднем уровне оси теплопроводов при подземной прокладке и наружного воздуха $t_{в}^{ср}$ при надземной прокладке вне помещений; среднемесячные температуры грунта $t_{гр}^{м}$ на среднем уровне оси теплопроводов при подземной прокладке и наружного воздуха по каждому месяцу в отдельности.

Эти данные следует принимать как многолетние по материалам ближайшей к данному населенному пункту метеостанции или из соответствующих справочников.

Выбор участков сети, подлежащих испытаниям. Испытаниям следует подвергать участки сети, у которых тип прокладки и конструкции изоляции являются преобладающими для данной сети.

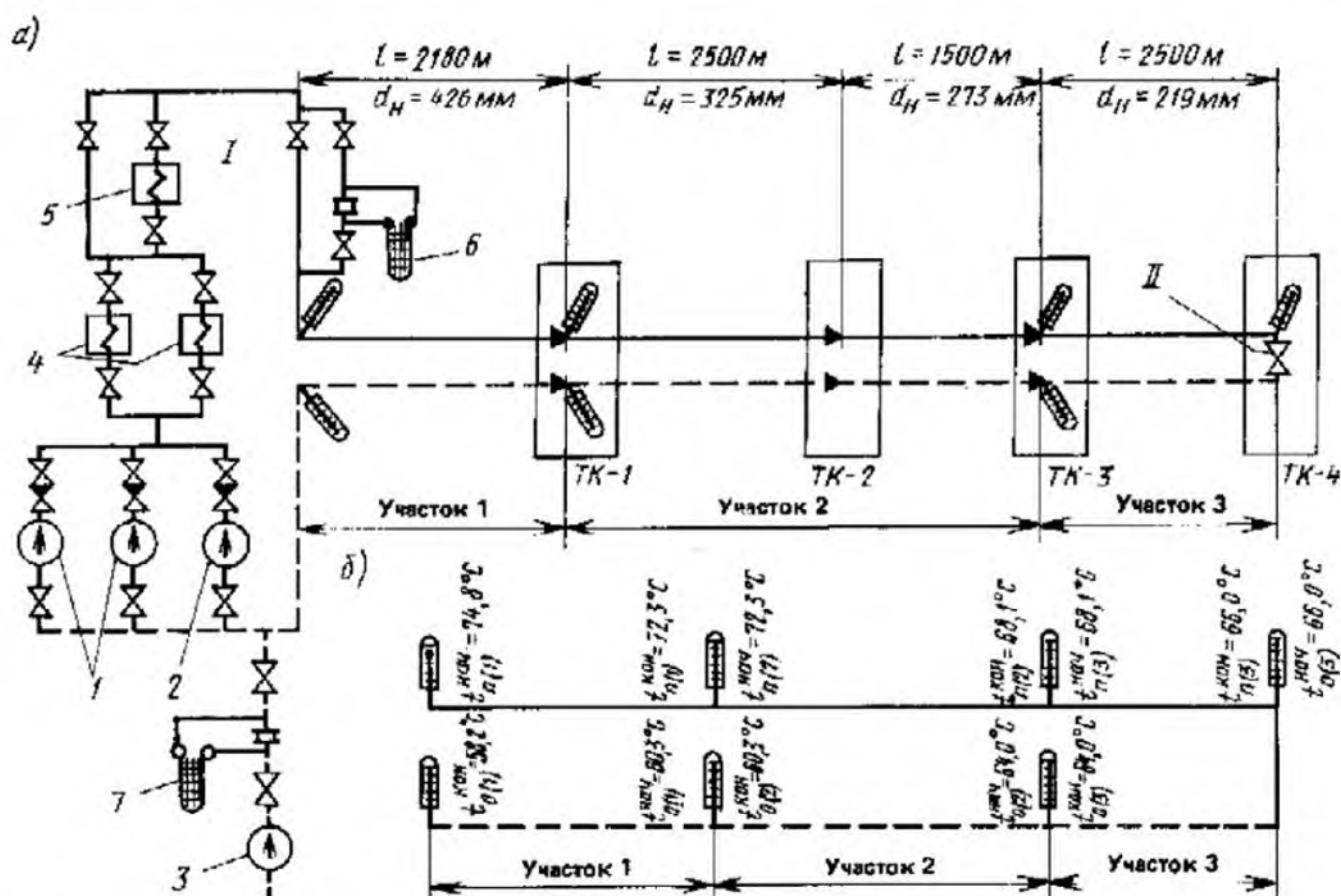
Испытания по определению тепловых потерь двухтрубной водяной тепловой сети необходимо проводить на циркуляционном кольце, состоящем из подающей и обратной линии с перемычкой между ними на конечном участке кольца.

Начальный участок циркуляционного кольца образуется оборудованием и трубопроводами теплоподготовительной установки (рис. 7.6).

Циркуляционное кольцо состоит из ряда последовательно соединенных участков, различающихся, как правило, типом прокладки и конструкцией изоляции. Участки могут состоять из трубопроводов различных диаметров. Рекомендуется проводить испытания с циркуляционным кольцом, которое включает в себя основную магистраль тепловой сети, состоящую из труб наибольшего диаметра и максимальной протяженности от источника теплоты. В конечный участок циркуляционного кольца по возможности следует вводить трубопроводы квартальной распределительной сети. Все ответвления и отдельные потребители, присоединенные к циркуляционному кольцу, на время испытаний отсоединяют от него.

При таком выборе циркуляционного кольца расходы воды на всех его участках во время испытаний в основном одинаковые и могут различаться между собой за счет незначительной утечки воды из кольца, покрываемой его подпиткой.

Понижение температуры воды по мере ее движения по кольцу обуславливается только тепловыми потерями трубопроводов и арма-



туры в окружающую среду. Значения этих тепловых потерь подсчитывают исходя из измеренного во время испытаний расхода воды и понижения ее температуры на отдельных участках кольца. При таком режиме работы в отличие от условий нормальной эксплуатации двухтрубной водяной тепловой сети температура воды в обратной линии кольца лишь незначительно ниже ее температур в подающей линии соответствующего участка, поскольку это снижение вызвано только тепловыми потерями соответствующей части кольца.

Типы прокладки и конструкции изоляции, которые целесообразно подвергать испытаниям, выбирают исходя из их доли в материальной характеристике M_c тепловой сети в целом. При $M/M_c < 0,15$, данные типы прокладки и конструкции изоляции, как правило, испытаниям не подлежат, а эксплуатационные потери теплоты для них определяют из нормативных данных. При $M/M_c \geq 0,15$ соответствующие типы прокладки и конструкции изоляции, как правило, подвергают испытаниям. Здесь $M = \sum(d_n l)$ — материальная характеристика для подающей или обратной линии сети, просуммированная по всем участкам с данным типом прокладки и конструкцией изоля-

Рис. 7.6. Схема испытываемого циркуляционного кольца

a — движение воды и расстановка измерительных приборов при испытаниях; *b* — измерение температур воды: I — теплоприготовительная установка; II — циркуляционная перемычка; I — сетевые насосы; 2 — летний насос малой производительности; 3 — подпиточный насос; 4 — основные подогреватели сетевой воды; 5 — пиковый подогреватель сетевой воды или водогрейный котел; 6 — дифманометр на подающей линии; 7 — на подпиточной линии

ция, m^2 ; $M_c = \sum(d_n l)$ — материальная характеристика для подающей или обратной линии, просуммированная по всей сети в целом, m^2 ; d_n — наружный диаметр труб в пределах одного участка сети (по подающей или обратной линии при равных диаметрах труб этих линий), m ; l — протяженность участка сети, m .

Участки тепловой сети, которые должны быть подвергнуты испытаниям, выявляют по данным таблицы с характеристикой сети.

Определение параметров испытаний. Основными параметрами испытаний, определяемыми расчетным путем, являются поддерживаемые в процессе испытаний значения температуры воды в подающей линии сети на выходе из теплоподготовительной установки и расхода воды на начальном участке испытываемого

циркуляционного кольца. Кроме того, выявляют ожидаемые в процессе испытаний значеня температуры воды в обратной линии на входе в теплоподготовительную установку и расхода подпиточной воды, а также ориентировочную продолжительность испытаний.

Температурный режим циркуляционного кольца во время испытаний задается исходя из следующих условий:

разность между средней температурой воды по всем участкам кольца и температурой окружающей среды во время испытаний должна быть по возможности близка к среднегодовому значению разности средней по подающей и обратной линиям температуры воды и температуры окружающей среды по данной сети;

понижение температуры воды в циркуляционном кольце за счет его тепловых потерь $\Delta t_{\text{н}}$ при испытаниях должно составлять не менее 8 и не более 20°C.

При наличии на испытываемом кольце участков с различными типами прокладки и конструкциями изоляции понижение температуры воды в кольце выбирают в соответствии с формулой

$$\Delta t_{\text{н}} = \frac{\Delta t_{\text{мин}}}{\left(\frac{M_{\text{к.п}} + M_{\text{к.о}}}{M_{\text{мин}}} \right)}, \quad (7.17)$$

где $\Delta t_{\text{мин}}$ — минимально допустимое понижение температуры воды в подающей или обратной линии на участке с наименьшей материальной характеристикой $M_{\text{мин}}$, принимаемое равным 2°C из соображений обеспечения надлежащей точности измерений температуры; $\left(\frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{к.п}} + M_{\text{к.о}}} \right)_n$ — наименьшее в пределах кольца отношение материальной характеристики для подающей или обратной линии отдельного участка испытываемого кольца $M_{\text{мин}}$ к суммарной материальной характеристике подающей $M_{\text{к.п}}$ и обратной $M_{\text{к.о}}$ линий для всего кольца в целом.

При значении отношения $\left(\frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{к.п}} + M_{\text{к.о}}} \right)_n < 0,1$ тепловые потери на соответствующих участках испытываемого кольца, как правило, отдельно не измеряют.

Температура воды в подающей $t_{\text{п.н}}$ и обратной $t_{\text{об.н}}$ линиях испытываемого кольца на выходе из теплоподготовительной установки и на входе в нее определяются по формулам:

$$t_{\text{п.н}} = \frac{t_{\text{п.г}}^{\text{ср.г}} + t_{\text{о.г}}^{\text{ср.г}}}{2} + \frac{\Delta t_{\text{н}}}{2} + t_{\text{окр.н}} - t_{\text{окр.г}}^{\text{ср.г}}; \quad (7.18)$$

$$t_{\text{об.н}} = t_{\text{п.н}} - \Delta t_{\text{н}} = \frac{t_{\text{п.г}}^{\text{ср.г}} + t_{\text{о.г}}^{\text{ср.г}}}{2} - \frac{\Delta t_{\text{н}}}{2} + t_{\text{окр.н}} - t_{\text{окр.г}}^{\text{ср.г}}; \quad (7.19)$$

где $t_{\text{п.г}}^{\text{ср.г}}$ и $t_{\text{о.г}}^{\text{ср.г}}$ — среднегодовые температуры воды в подающей и обратных линиях для испытываемой сети, °C; $t_{\text{окр.н}}$ — ожидаемая усредненная по всем участкам кольца температура окружающей среды во время испытаний, °C; $t_{\text{окр.г}}^{\text{ср.г}}$ — усредненная по тем же участкам среднегодовая температура окружающей среды, °C.

При наличии в пределах испытываемого кольца участков как с подземной, так и с надземной прокладкой тепловой сети усредненные температуры окружающей среды $t_{\text{окр.н}}$ и $t_{\text{окр.г}}^{\text{ср.г}}$ подсчитывают соответственно по формулам:

$$t_{\text{окр.н}} = [t_{\text{п.г}}^{\text{ср.г}} M_{\text{подз}} + t_{\text{н.г}}^{\text{ср.г}} M_{\text{надз}}] / M_{\text{к}}; \quad (7.20)$$

$$t_{\text{окр.г}}^{\text{ср.г}} = [t_{\text{п.г}}^{\text{ср.г}} M_{\text{подз}} + t_{\text{н.г}}^{\text{ср.г}} M_{\text{надз}}] / M_{\text{к}}; \quad (7.21)$$

где $t_{\text{п.г}}^{\text{ср.г}}$ и $t_{\text{н.г}}^{\text{ср.г}}$ — соответственно средние за месяц проведения испытаний температуры грунта на среднем уровне оси теплопроводки и наружного воздуха, °C; $t_{\text{п.г}}^{\text{ср.г}}$ и $t_{\text{н.г}}^{\text{ср.г}}$ — соответственно среднегодовые температуры грунта и наружного воздуха, °C; $M_{\text{подз}}$ и $M_{\text{надз}}$ — материальные характеристики для подающей или обратной линии по всем участкам соответственно подземной и надземной прокладки, расположенным в пределах испытываемого циркуляционного кольца, м²; $M_{\text{к}}$ — суммарная материальная характеристика для подающей или обратной линии по всем участкам испытываемого кольца, м².

При определении расчетного расхода воды, циркулирующей по испытываемому кольцу, следует исходить из ориентировочно оцененного значения тепловых потерь этого кольца при режиме испытаний $Q_{\text{н}}$, подсчитываемого по формуле

$$Q_{\text{н}} = \sum_{\text{д.п.н}} (q_{\text{д.п.н}} + q_{\text{д.об.н}}) \beta l + \sum_{\text{д.н.п}} q_{\text{д.н.п}} \beta l; \quad (7.22)$$

где $Q_{\text{н}}$ — ожидаемые значения тепловых потерь испытываемого кольца при режиме испытаний, ккал/ч; β — коэффициент местных потерь; $q_{\text{д.п.н}}$ — значение удельных тепловых потерь данной тепловой сети для каждого диаметра труб подземной прокладки при температурном режиме испытаний, ккал/(м·ч); $q_{\text{д.п.н}}$ и $q_{\text{д.об.н}}$ — значения удельных тепловых потерь данной тепловой сети соответственно по подающей и обратной линиям для каждого диаметра труб надземной прокладки при температурном режиме испытаний, ккал/(м·ч).

Эти значения определяют исходя из действующих норм тепловых потерь отдельно для участков подземной и надземной прокладки применительно к температурному режиму, поддерживаемому во время испытаний в циркуляционном кольце.

Значения $q_{\text{д.п.н}}$ для подземной и $q_{\text{д.п.н}}$ и $q_{\text{д.об.н}}$

для подземной прокладок находят по формулам:

$$q_{н.н} = q_n \frac{t_{н.н}^{ср} + t_{о.н}^{ср} - 2t_{ср.н}^{ср}}{t_{н.н}^{ср.г} + t_{о.н}^{ср.г} - 2t_{ср.г}^{ср}}; \quad (7.23)$$

$$q_{н.в.н} = q_{н.в} \frac{t_{н.н}^{ср} - t_{о.н}^{ср.м}}{t_{н.н}^{ср.г} - t_{о.н}^{ср.г}}; \quad (7.24)$$

$$q_{н.в.в} = q_{н.в} \frac{t_{о.н}^{ср} - t_{о.н}^{ср.м}}{t_{н.н}^{ср.г} - t_{о.н}^{ср.г}}; \quad (7.25)$$

где значения q_n , $q_{н.н}$ и $q_{н.в.н}$ для испытываемых участков подземной прокладки находят согласно с указанными по расшифровке величинам, приведенных в формулах (7.4)–(7.6).

Средние температуры воды при режиме испытаний соответственно в подающей и обратной линиях испытываемого кольца $t_{н.н}^{ср}$ и $t_{о.н}^{ср}$ определяют по формулам:

$$t_{н.н}^{ср} = t_{н.н} - \frac{\Delta t_n}{4} = \frac{t_{н.н}^{ср.г} + t_{о.н}^{ср.г}}{2} + \frac{\Delta t_n}{4} + t_{окр.н} - t_{окр.г}; \quad (7.26)$$

$$t_{о.н}^{ср} = t_{о.н} + \frac{\Delta t_n}{4} = \frac{t_{н.н}^{ср.г} + t_{о.н}^{ср.г}}{2} - \frac{\Delta t_n}{4} + t_{окр.н} - t_{окр.г}. \quad (7.27)$$

При расчетах по формуле (7.22) суммирование осуществляют по всем участкам длиной l испытываемого кольца, отличающимся наружным диаметром труб или типом прокладки, а не конструкцией изоляции, так как последняя не влияет на нормативные значения удельных тепловых потерь.

Расчетный расход воды в циркуляционном кольце, назначаемый на время испытаний, определяют по формуле

$$G_n = \frac{Q_n}{c\Delta t_n} 10^{-3}, \quad (7.28)$$

где G_n — расчетный расход воды при испытаниях, т/ч.

Предполагаемое значение часовой подпитки сети при испытаниях принимают равным 0,5% суммарного объема трубопроводов в пределах испытываемого циркуляционного кольца.

Ожидаемая продолжительность пробега частицы воды по испытываемому циркуляционному кольцу τ_k определяют по формуле, ч:

$$\tau_k = \frac{V\rho 10^{-3}}{G_n}, \quad (7.29)$$

где V — суммарный объем труб испытываемого циркуляционного кольца в пределах от выхода до входа их в теплоподготовительную установку, м³; ρ — плотность воды в испытываемом кольце при средней температуре воды в нем $(t_{н.н} + t_{о.н})/2$, кг/м³.

Подготовка сети и оборудования к испытаниям. Циркуляция воды в испытываемом кольце создается легким сетевым насосом небольшой подачи. При отсутствии такого насоса необходимый расход воды может быть обеспечен основным сетевым насосом, оборудованным циркуляционной переключкой с регулирующей задвижкой.

Тепловая мощность теплоподготовительной установки во время испытаний должна примерно соответствовать значению тепловых потерь циркуляционного кольца. При невозможности обеспечить необходимую тепловую мощность на существующем оборудовании источника теплоты следует использовать нестационарные горизонтальные пароводяные или скоростные водо-водяные подогреватели соответствующей мощности.

На конечном участке испытываемого кольца для перепуска воды из подающей линии в обратную устанавливают циркуляционную переключку, рассчитанную на потери напора в ней 1–2 м.

Для перепуска воды из подающей линии в обратную можно использовать также элеваторные переключки вводов, расположенных за конечным участком испытываемого кольца. Сошла элеваторов при этом должны быть удалены.

Непосредственно перед началом испытаний все тепловые вводы потребителей сети, кроме используемых в качестве переключек за конечным участком, а также все ответвления, не подвергающиеся испытаниям, и переключки между подающей и обратной линиями должны быть отключены от испытываемого кольца. Плотность отключения необходимо тщательно проверить.

Подготовка измерительной аппаратуры. При тепловых испытаниях сети измеряют расход воды, циркулирующей по испытываемому кольцу, расход подпиточной воды и температуру воды в точках наблюдения. Кроме того, контролируют давление в обратной линии испытываемого кольца на входе ее в теплоподготовительную установку.

Расходы сетевой и подпиточной воды измеряют посредством сужающих устройств (измерительных диафрагм), установленных на подающей или обратной линии, а также на подпиточной линии. К измерительным диафраг-

мам должны быть присоединены расходомеры переменного перепада давления.

Измерительные диафрагмы рассчитывают на расходы сетевой и подпиточной воды, которые были выявлены при определении параметров испытаний, и на перепад давления, соответствующий примерно 400 мм рт. ст.

Расчет и установку новых диафрагм выполняют согласно «Правилам измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами» (М.: Стандарты, 1980).

Для устранения пульсаций давления точку измерения расхода воды, циркулирующей по испытываемому кольцу, следует выбирать на расстоянии от циркуляционного насоса, превышающем 50 диаметров трубопровода.

Температуру воды в испытываемом циркуляционном кольце измеряют отдельно по подающей и обратной линиям в точках, расположенных на границах участков. На перемычке конечного участка кольца устанавливают один термометр.

Термометр на обратном трубопроводе в теплоподготовительной установке размещают до точки врезки подпиточного трубопровода (по ходу воды), чтобы избежать введения поправки на температуру подпиточной воды. Во время испытаний температуру воды измеряют лабораторными ртутными термометрами с ценой деления $0,1^{\circ}\text{C}$. Глубину врезки гильзы для термометров выбирают так, чтобы ртутный баллончик находился на оси трубопровода.

Применяемые при испытаниях средства измерения должны иметь действующие клейма о государственной и ведомственной поверках, а расчеты сужающих устройств должны быть проверены в территориальных органах Госстандарта.

На основании результатов подготовительной работы составляют перечень подготовительных мероприятий, необходимых для проведения тепловых испытаний. В перечне указывают точки врезки и размеры перемычек в теплоподготовительной установке и в сети, точки врезки гильз для термометров, расположение и диаметры отверстий устанавливаемых измерительных диафрагм и т. п.

Проведение тепловых испытаний. Перед проведением испытаний проверяют выполнение подготовительных мероприятий и составляют рабочую программу испытаний, которую согласовывают и утверждают главные инженеры

ТЭЦ (котельной) и предприятия тепловых сетей.

Программа испытаний включает схемы и режимы работы сети и теплоподготовительной установки, точки наблюдения, число наблюдателей, ответственных представителей по проведению испытаний, сроки проведения испытаний, а также необходимые мероприятия по технике безопасности согласно действующим Правилам техники безопасности при обслуживании тепловых сетей.

Необходимые гидравлические и температурные режимы испытаний осуществляют в следующем порядке:

включают расходомеры на линиях сетевой и подпиточной воды и устанавливают термометры на циркуляционной перемычке конечного участка кольца, на выходе трубопроводов из теплоподготовительной установки и на входе в нее;

устанавливают определенный расчетом расход воды по циркуляционному кольцу, который поддерживается неизменным в течение всего периода испытаний;

устанавливают давление в обратной линии испытываемого кольца на входе ее в теплоподготовительную установку;

устанавливают температуру $t_{\text{вх}}$ воды в подающей линии испытываемого кольца на выходе из теплоподготовительной установки, определенную по формуле (7.18). Во время испытаний температура воды в подающей линии должна поддерживаться постоянной с точностью $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Отклонение показаний расходомера, контролирующего расход сетевой воды в циркуляционном кольце, от расчетного значения не должно превышать 2%.

Тепловые потери при подземной прокладке сетей определяют при максимальном приближении к установившемуся тепловому состоянию, что достигается путем дополнительного прогресса грунта, окружающего теплопроводы. Доведение температурного поля в грунте до поля, соответствующего установившемуся состоянию, осуществляют при режиме, принятом для проведения испытаний. Во время прогресса грунта измеряют расходы циркулирующей и подпиточной воды и температуру ее в теплоподготовительной установке и на перемычке конечного участка испытываемого кольца. Результаты измерений фиксируют одновременно через каждые 30 мин.

Показателем достижения установившегося теплового состояния грунта по испытываемому кольцу является дательное установившееся температуры воды в обратной линии кольца на входе в теплоподготовительную установку. Процесс достижения установившегося теплового состояния считается завершенным, если температура воды в этой точке кольца остается постоянной в течение 4–6 ч.

Продолжительность достижения установившегося теплового состояния испытываемого кольца зависит от степени предварительного прогрева грунта и обычно находится в пределах $(2 \div 8) \tau_0$, где τ_0 — продолжительность (ч) пробега частиц воды по испытываемому кольцу, определяемое по формуле (7.29). Продолжительность периода достижения установившегося теплового состояния кольца существенно сокращается, если перед испытаниями горячее водоснабжение погребителей, присоединенных к испытываемой магистрали, осуществляется при температуре воды в подающей линии, близкой к $t_{с.к.}$.

Начиная с момента достижения установившегося теплового состояния, во всех назначенных точках наблюдения устанавливаются термометры и измеряют температуру воды. Запись показаний термометров и расходомеров воды одновременно с интервалом 10 мин. Продолжительность основного режима испытаний, т. е. периода измерений во всех точках наблюдений, должна составить не менее $\tau_0 + (8 \div 10) \tau_0$.

На заключительном этапе испытаний «температурной волной» увеличивают продолжительность пробега τ_0 частиц воды по циркуляционному кольцу, предварительно определенную по формуле (7.29). На этом этапе температура воды в подающей линии за 20–40 мин повышается на 10–20°C сверх значения $t_{с.к.}$ и поддерживается вышеназванным уровнем в течение 1 ч. Затем с той же скоростью температура воды снижается до значения $t_{с.к.}$, которое и поддерживается до конца испытаний.

Гидравлический режим испытаний при прохождении «температурной волны» остается неизменным. Движение «температурной волны» по испытываемому кольцу фиксируется во всех точках наблюдения с интервалом 10 мин, что дает возможность определить фактическую продолжительность пробега частиц воды по каждому участку испытываемого кольца. Не-

затания заканчивают лишь после того, как «температурная волна» будет отмечена в обратной линии кольца на входе в теплоподготовительную установку. Суммарная продолжительность основного режима испытаний и периода пробега «температурной волны» составляет $2\tau_0 + (10 \div 12) \tau_0$.

Если циркуляционное кольцо от источника теплоты начинается участком надземной прокладки, то «температурная волна» может быть создана на источнике еще в период основного режима испытаний. Продолжительность испытаний при этом сокращается на время пробега частиц воды по подающему трубопроводу надземной прокладки.

Обработка результатов испытаний. В результате испытаний определяют тепловые потери для каждого участка испытываемого кольца отдельно по подающей и обратной линиям.

Предварительно по каждому наблюдательному пункту должны быть усреднены значения температуры воды, полученные при 20–30 последовательных измерениях в тот период, когда режим испытаний был наиболее близок к установившемуся. За этот же период усредняют значения расходов сетевой и подпиточной воды.

Усредненные значения температуры должны относиться к одним и тем же частицам движущейся воды. Поэтому в расчет вводят температуры, сдвинутые по времени на фактическую продолжительность пробега частиц между точками измерения, определенную методом «температурной волны».

Для выявления периода, в течение которого температурный режим испытаний был наиболее близок к установившемуся, необходимо построить по всем точкам измерений график изменения температуры частиц воды (рис. 7.7).

Тепловые потери по подающей и обратной линиям для каждого участка испытываемого кольца определяют по формулам:

$$Q_{с.п.} = c \left(G_c - \frac{G_n}{4} \right) (t_u - t_0) 10^3; \quad (7.30)$$

$$Q_{с.об.} = c \left(G_c - \frac{3}{4} G_n \right) (t_0^* - t_0^*) 10^3. \quad (7.31)$$

где $Q_{с.п.}$ и $Q_{с.об.}$ — тепловые потери соответственно по подающей и обратной линиям для каждого

участка испытываемого кольца, ккал/ч ; G_c — усредненный расход сетевой воды в подающей линии на выходе из теплоподготовительной установки, т/ч ; G_n — усредненный расход подпиточной воды, т/ч ; t_n^k и t_n^b — усредненные температуры воды в начале и конце подпиточной линии на этом участке, $^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 7.6); t_n^k и t_n^b — усредненные температуры воды в начале и конце обратной линии на этом участке, $^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 7.6).

При наличии в середине испытанного участка циркуляционного кольца нехарактерных отрезков трубопровода с другими типами прокладок или конструкциями изоляции, на которых невозможно измерить температурный перепад, обработку результатов испытаний по этому участку выполняют следующим образом. По формулам (7.30) и (7.31) определяют фактические тепловые потери по подающей и обратной линиям на испытанном участке, включая нехарактерные отрезки трубопровода. Для каждого нехарактерного отрезка трубопровода рассчитывают средние температуры воды в отрезке по подающей t_n^{cp} и по обратной t_n^{cp} линиям:

$$(t_n^{cp})^p = t_n^k - (t_n^k - t_n^b) \frac{M_{n,под} + 0,5M_{n,отр}}{M_{с,уч}};$$

$$(t_n^{cp})^o = t_n^b + (t_n^k - t_n^b) \frac{M_{n,под} + 0,5M_{n,отр}}{M_{с,уч}};$$

где $M_{с,р}$ и $M_{с,о}$ — материальные характеристики соответственно подающей и обратной линий на всем испытанном участке циркуляционного кольца, м^2 ; $M_{n,под}$ и $M_{n,отр}$ — материальные характеристики соответственно подающей и обратной линий части участка циркуляционного кольца от начала участка, до места расположения нехарактерного отрезка трубопровода, м^2 ; $M_{n,под}$ и $M_{n,отр}$ — материальные характеристики соответственно подающей и обратной линий нехарактерного отрезка трубопровода, м^2 .

По формулам (7.22) — (7.25) определяют приближенные тепловые потери нехарактерного отрезка трубопровода при температурном режиме испытаний; при этом l — длина нехарактерного отрезка (м), а значения $q_{n,в}$, $q_{n,о}$ и $q_{n,ср}$ находят по температурам $(t_n^{cp})^p$ и $(t_n^{cp})^o$ и температурам грунта и воздуха, средним за время испытаний.

Фактические тепловые потери по основной части испытанного участка циркуляционного кольца (без нехарактерных отрезков трубопроводов) определяют как разность тепловых потерь по каждой линии, найденных по формулам (7.30), (7.31) и (7.22). Эта разность и должна быть использована при дальнейшей обработке результатов испытаний.



Рис. 7.7. График изменения температуры частиц воды

а — график температур воды при испытаниях; б — график изменения температуры частиц воды; в — схема испытываемого циркуляционного кольца; Н — начало испытаний, К — конец испытаний; $\Delta t_{\text{ф}}$ — фактическое время пробега частицы воды по циркуляционному кольцу между точками А и В; $\Delta t_{\text{ф}}$ — фактическое время пробега частицы воды по всему циркуляционному кольцу между точками А и В (при построении графика изменения температуры частиц воды значения температуры в точке В должны быть сдвинуты по шкале t влево на $\Delta t_{\text{ф}}$, а в точке В — на $\Delta t_{\text{ф}}$).

Сопоставление измеренных тепловых потерь с нормативными. Для разработки на основе результатов испытаний нормируемых эксплуатационных тепловых потерь данной тепловой сети в целом измеренные значения этих потерь по каждому испытанному участку сопоставляют с нормативными значениями тепловых потерь для того же участка сети.

Для сопоставления с нормативными измеренные значения тепловых потерь по каждому испытанному участку предварительно пересчитывают на среднегодовые условия работы данной тепловой сети (температуры воды в подающей и обратной линиях сети, а также окружающей среды).

Для участков подземной прокладки пересчет измеренных тепловых потерь на среднегодовые условия работы сети выполняют суммарно для подающей и обратной линий по формуле

$$Q_{н,к}^{ср} = \frac{Q_{н,к}(t_n^{cp,p} - t_{г,ср}) + Q_{н,к}(t_n^{cp,o} - t_{в,ср})}{\frac{t_n^k + t_n^b + t_n^k + t_n^b}{4} - t_{г,ср}}, \quad (7.32)$$

а для участков надземной прокладки такой

пересчет выполняют отдельно для подающей и обратной линий по формулам:

$$Q_{н.п.}^{сп.г} = \frac{Q_{н.п.}(t_{н.п.}^{сп.г} - t_{г.п.}^{сп.г})}{\frac{t_{н.п.}^{сп.г} + t_{г.п.}^{сп.г}}{2} - t_{г.п.}}; \quad (7.33)$$

$$Q_{н.об.}^{сп.г} = \frac{Q_{н.об.}(t_{н.об.}^{сп.г} - t_{г.об.}^{сп.г})}{\frac{t_{н.об.}^{сп.г} + t_{г.об.}^{сп.г}}{2} - t_{г.об.}}; \quad (7.34)$$

где $Q_{н.п.}^{сп.г}$, $Q_{н.об.}^{сп.г}$ и $Q_{н.г.п.}^{сп.г}$ — пересчитанные на средние годовые условия работы сети измеренные тепловые потери по каждому испытанному участку кольца, ккал/ч; $t_{г.п.}$ и $t_{г.об.}$ — температура грунта и окружающего воздуха, средняя за время испытаний, °С.

Значения $Q_{н.п.}^{сп.г}$, $Q_{н.об.}^{сп.г}$ и $Q_{н.г.п.}^{сп.г}$, подсчитанные по формулам (7.32) — (7.34) для всех испытанных участков сети, сопоставляют с соответствующими нормативными величинами тепловых потерь $Q_{н.п.}^{н.г}$, $Q_{н.об.}^{н.г}$ и $Q_{н.г.п.}^{н.г}$, которые определяют для каждого из испытанных участков согласно формулам (7.4) — (7.6). При этом в формулах (7.4) — (7.6) суммирование следует проводить по всем диаметрам труб на данном участке.

При сопоставлении измеренных и нормативных тепловых потерь подсчитывают их соотношения, характеризуемые коэффициентами K , равными

для участков подземной прокладки

$$K = Q_{н.п.}^{сп.г} / Q_{н.п.}^{н.г}, \quad (7.35)$$

а для участков надземной прокладки

$$K_n = Q_{н.п.}^{сп.г} / Q_{н.п.}^{н.г}; \quad (7.36)$$

$$K_o = Q_{н.об.}^{сп.г} / Q_{н.об.}^{н.г}. \quad (7.37)$$

Для участков с измеренными тепловыми потерями, существенно превышающими нормативные, т. е. со значениями коэффициента $K > 1,1$, в дальнейшем составляют программу работ с целью доведения тепловых потерь этих участков до нормативных значений. Объем, содержание и сроки проведения таких работ определяются местными условиями.

Если измеренные тепловые потери, определенные раздельно по каждому испытанному участку и пересчитанные на среднегодовые температуры воды и окружающей среды, не превышают или незначительно превышают соответствующие значения нормативных тепловых потерь для этих участков ($K \leq 1,1$), за основу нормирования эксплуатационных тепловых потерь сети принимают измеренные тепловые потери. Полученные таким путем нормируемые значения эксплуатационных тепловых потерь

сети утверждают как действующие на срок до проведения следующих тепловых испытаний сети, но не более чем на пять лет.

В случаях когда измеренные тепловые потери по отдельным испытанным участкам существенно превышают нормативные ($K > 1,1$), они могут быть положены в основу нормирования эксплуатационных тепловых потерь сети лишь на срок выполнения программы работ по доведению этих потерь до нормативных, но не более чем на три года.

Пример расчета тепловых потерь через изоляцию трубопроводов водяной тепловой сети. Исходные данные. Тепловые потери определяют для двухтрубной водяной сети. Материальная характеристика этой сети для разных типов прокладок и конструкций изоляции приведена в табл. 7.8.

Для испытываемой сети приняты:

среднегодовые температуры наружного воздуха и грунта на уровне оси теплопроводов $t_{н.п.}^{сп.г} = 0^\circ\text{C}$ и $t_{г.п.}^{сп.г} = 4^\circ\text{C}$;

температуры наружного воздуха и грунта на уровне оси теплопроводов, средние за месяц проведения испытаний

$$t_{н.п.}^{сп.м} = 15^\circ\text{C} \text{ и } t_{г.п.}^{сп.м} = 7^\circ\text{C};$$

средние температуры воды и окружающей среды за один из месяцев работы сети $t_{н.п.}^{сп.н} = 92^\circ\text{C}$; $t_{н.п.}^{сп.м} = 50^\circ\text{C}$; $t_{г.п.}^{сп.м} = -6^\circ\text{C}$; $t_{г.п.}^{сп.н} = 3^\circ\text{C}$ (среднемесячные температуры воды находят по температурному графику сети при среднемесячной температуре наружного воздуха);

среднегодовые температуры воды в подающей и обратной линиях, определенные как среднесрифметические из среднемесячных температур ее в этих линиях

$$t_{н.п.}^{сп.г} = 78^\circ\text{C} \text{ и } t_{н.об.}^{сп.г} = 46^\circ\text{C}.$$

Выбор участков сети, подлежащих испытаниям. Типы прокладки и конструкций изоляции, которые необходимо подвергнуть испытаниям, выбирают на основании табл. 7.8.

Доля материальной характеристики участков с различными типами прокладки и конструкциями изоляции в материальной характеристике сети в целом в данном случае составляет:

для участков надземной прокладки с изоляцией из минеральной ваты

$$\frac{M}{M_0} = \frac{1185}{5817} = 0,204 > 0,15;$$

Таблица 7.8. МАТЕРИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДВУХТРУБНОЙ ВОДЯНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Тип прокладки и конструкция изоляции трубопроводов	Наружный диаметр подающего или обратного трубопровода d_n , м	Длина подающего или обратного трубопровода L , м	Материальная характеристика $M = d_n L$, м ²	Объем трубопровода V , м ³
1	2	3	4	5
<i>По всем участкам сети</i>				
Надземная прокладка, изоляция из минеральной ваты	0,426	2180	930	—
	0,108	2365	255	—
Итого:	—	4545	1185	—
Подземная канальная прокладка, изоляция из минеральной ваты	0,325	2500	812	—
	0,273	1500	409	—
	0,219	2160	473	—
	0,159	5150	820	—
	0,108	4325	467	—
	0,076	1055	80	—
	0,057	585	33	—
Итого:	—	17275	3094	—
Подземная канальная прокладка, изоляция из диатомового кирпича	0,219	2500	548	—
	0,159	2065	328	—
	0,108	3085	333	—
	0,076	2600	198	—
	0,057	2310	131	—
Итого:	—	12560	1538	—
Всего по сети:	—	—	5817	—
<i>По испытываемым участкам сети</i>				
Участок 1				
Надземная прокладка, изоляция из минеральной ваты	0,426	2180	930	2 × 285
Итого:	—	2180	930	2 × 285
Участок 2				
Подземная канальная прокладка, изоляция из минеральной ваты	0,325	2500	812	2 × 185
	0,273	1500	409	2 × 78
Итого:	—	4000	1221	2 × 263
Участок 3				
Подземная канальная прокладка, изоляция из диатомового кирпича	0,219	2500	548	2 × 81
Итого:	—	2500	548	2 × 81
Всего:	—	—	2699	2 × 629 = 1258

Примечание. Расположение участка на тепловой сети см. рис. 7.6.

для участков подземной прокладки с изоляцией из минеральной ваты

$$\frac{M}{M_c} = \frac{3094}{5818} = 0,532 > 0,15;$$

для участков подземной прокладки с изоляцией из диатомового кирпича

$$\frac{M}{M_c} = \frac{1538}{5817} = 0,264 > 0,15.$$

Таким образом, все три использованных в данных тепловых сетях типа прокладок и

конструкции изоляции должны быть подвергнуты испытаниям.

Для испытаний выбрана главная магистраль тепловой сети, тилы прокладок и изоляционные конструкции которой охватывают все три типа, подлежащих испытаниям. Схема испытываемого циркуляционного кольца приведена на стр. 7.6.

Характеристика участков испытываемого циркуляционного кольца такова:

участок 1 — ТЭЦ — ТК-1. Надземная про-

кладка трубопроводов, изоляция из минеральной ваты;

участок 2 -- ТК-1 -- ТК-3. Подземная канальная прокладка трубопроводов, изоляция из минеральной ваты;

участок 3 -- ТК-3 -- ТК-4. Подземная канальная прокладка трубопроводов, изоляция из диатомового кирпича.

Расчет параметров испытаний. Снижение температуры воды в испытываемом кольце, определенное по формуле (7.17), составляет

$$\Delta t_{\text{в}} = \frac{2}{\left(\frac{548}{2699} + \frac{2699}{2699} \right)} \approx 20^\circ \text{C}.$$

Средние температуры окружающей среды $t_{\text{вн}}^{\text{ср}}$ и $t_{\text{вн}}^{\text{об}}$ подсчитывают соответственно по формулам (7.20) и (7.21):

$$t_{\text{вн}}^{\text{ср}} = \frac{7(1221 + 548) + 15 \cdot 930}{2699} = 9,8^\circ \text{C};$$

$$t_{\text{вн}}^{\text{об}} = \frac{4(1221 + 548) + 0 \cdot 930}{2699} = 2,6^\circ \text{C}.$$

Температуру воды, поддерживаемую при испытаниях и подающей линией испытываемого кольца на выходе из теплоподготовительной установки, определяют по формуле (7.18):

$$t_{\text{вн}} = \frac{78 + 46}{2} + \frac{20}{2} + 9,8 + 2,6 \approx 79^\circ \text{C}.$$

Ожидаемая температура воды в обратной линии испытываемого циркуляционного кольца на входе в теплоподготовительную установку, вычисляемую по формуле (7.19), составляет

$$t_{\text{вн}} = 79 - 20 = 59^\circ \text{C}.$$

Средние температуры воды соответственно в подающей и обратной линиях испытываемого кольца, определяемые по формулам (7.26) и (7.27) равны

$$t_{\text{вн}}^{\text{ср}} = 79 + \frac{20}{4} = 74^\circ \text{C};$$

$$t_{\text{вн}}^{\text{об}} = 59 + \frac{20}{4} = 64^\circ \text{C}.$$

Значения нормативных удельных тепловых потерь подающей и обратной линии трубопроводов с наружным диаметром $d_{\text{вн}}$, равным 426 мм, для испытываемого участка 1 при надземной прокладке, определяемые путем линейной интерполяции, составляют:

$$q_{\text{нн}} = 105 + \frac{128 - 105}{95 - 70} [(78 - 0) - 70] = 112 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч});$$

$$q_{\text{об}} = 82 + \frac{105 - 82}{70 - 45} [(46 - 0) - 45] = 83 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч}),$$

где 128, 105 и 82 -- нормативные удельные тепловые потери трубопровода с наружным диаметром $d_{\text{вн}} = 426$ мм при надземной прокладке и соответственно при разности среднегодовых температур воды и окружающего воздуха 95; 70; 45°C, ккал/м·ч.

Значения нормативных удельных тепловых потерь суммарно по подающей и обратной линиям трубопроводов с наружным диаметром $d_{\text{вн}}$, равным 325 и 273 мм, для участка 2 испытываемого кольца при подземной прокладке, определяемые путем линейной интерполяции, составляют:

$$q_{\text{нн}} = 149 + \frac{168 - 149}{65 - 52,5} \left[\left(\frac{78 + 46}{2} - 4 \right) - 52,5 \right] = 157 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч});$$

$$q_{\text{об}} = 132 + \frac{150 - 132}{65 - 52,5} \left[\left(\frac{78 + 46}{2} - 4 \right) - 52,5 \right] = 140 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч}),$$

где 168 и 149 -- нормативные удельные тепловые потери трубопровода с наружным диаметром $d_{\text{вн}}$, равным 325 мм, при подземной прокладке и соответственно при разности среднегодовых температур воды и грунта 65 и 52,5°C; 150 и 132 -- те же величины, но принятые для $d_{\text{вн}}$, равного 273 мм, ккал/м·ч.

Значение нормативных тепловых потерь $q_{\text{н}}$ суммарно по подающей и обратной линиям для трубопроводов с наружным диаметром $d_{\text{вн}}$, равным 219 мм, для участка 3 испытываемого кольца определяют аналогично. Значение составляет 120 ккал/м·ч.

Значения ожидаемых удельных тепловых потерь для испытываемых участков сети при температурном режиме, принятом для проведения испытаний, определяют по формулам (7.33) -- (7.25). Значения составляют:

для участка 1

$$q_{\text{нн}} = 112 \cdot \frac{74 - 15}{78 - 0} = 85 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч});$$

$$q_{\text{об}} = 83 \cdot \frac{64 - 15}{46 - 0} = 88 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч});$$

для участка 2 с диаметром трубопроводов $d_{\text{вн}} = 325$ и 273 мм

$$q_{\text{нн}} = 157 \cdot \frac{74 + 64 - 2,7}{78 + 46 - 2,4} = 168 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч});$$

$$q_{\text{об}} = 140 \cdot \frac{74 + 64 - 2,7}{78 + 46 - 2,4} = 150 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч});$$

для участка 3

$$q_{н.3} = 120 \cdot \frac{74 + 64 - 2,7}{78 + 6 - 2,4} = 128 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч)}$$

Длина участков испытываемого циркуляционного кольца с различными диаметрами трубопроводов принимают по данным табл. 7.8

Ориентировочное значение тепловых потерь всем циркуляционным кольцом при испытаниях, определяемое по формуле (7.22), составляет

$$Q_n = (85 + 88) \cdot 1,25 \cdot 2180 + 168 \cdot 1,2 \cdot 2500 + \\ + 150 \cdot 1,2 \cdot 1500 + 128 \cdot 1,2 \cdot 2500 = \\ = 1\,629\,000 \text{ ккал/ч,}$$

где $\beta = 1,25$ и $1,2$ — коэффициенты местных тепловых потерь.

Расчетный расход воды, принимаемый на время испытаний, определяют по формуле (7.28)

$$G_n = \frac{1\,629\,000}{120} \cdot 10^{-3} = 81,5 \text{ т/ч}$$

Ожидаемое значение подпитки испытываемого циркуляционного кольца составляет

$$G_{п.н} = 0,005 \cdot 1258 = 6,3 \text{ т/ч}$$

Ожидаемую продолжительность пробега частиц воды по испытываемому циркуляционному кольцу при средней плотности воды $\rho = 978 \text{ кг/м}^3$, соответствующей ее средней температуре $\frac{t_{в.н} + t_{в.к}}{2} = \frac{79 + 59}{2} = 69^\circ\text{C}$, находят по формуле (7.29)

$$\tau_k = \frac{1258 \cdot 978 \cdot 10^{-3}}{81,5} = 15 \text{ ч.}$$

Обработка результатов испытаний. После проведения испытаний и усреднения полученных данных с учетом фактической продолжительности пробега частиц воды по участкам испытанного циркуляционного кольца были получены расходы сетевой и подпиточной воды $G_n = 78,2 \text{ т/ч}$ и $G_{п.н} = 5,2 \text{ т/ч}$.

Измеренные температуры воды ($^\circ\text{C}$) приведены ниже:

Точка наблюдения	ТЭЦ	ТК-1	ТК-3	ТК-4
Подающая линия	74,8	72,3	68,1	66,0
Обратная линия	58,2	60,3	64,0	66,0

По данным метеослужбы, температура грунта на уровне оси трубопроводов за период испытаний составила 6°C , а средняя температура наружного воздуха за тот же период была равна 23°C .

При испытаниях тепловые потери по подающей и обратной линиям испытанного участка 1, определяемые по формулам (7.30) и (7.31), составляют:

$$Q_{п.н.1} = 1,0 \cdot (78,2 - \frac{5,2}{4}) (74,8 - 72,3) \cdot 10^3 = \\ = 192\,000 \text{ ккал/ч,}$$

$$Q_{в.к.1} = 1,0 \cdot (78,2 - \frac{3 \cdot 5,2}{4}) (60,3 - 58,2) \cdot 10^3 = \\ = 156\,000 \text{ ккал/ч.}$$

Результаты подсчета измеренных тепловых потерь по всем испытанным участкам сведены в табл. 7.9.

Сопоставление измеренных тепловых потерь с нормативными. Необходимые для сопоставления значения измеренных тепловых потерь испытанных участков циркуляционного кольца, пересчитанные на среднегодовые условия работы сети, определяют по формулам (7.32) — (7.34). Эти значения составляют:

для испытанного участка 1 надземной прокладки

$$Q_{н.н.1}^{ср.г} = \frac{192\,000(78 - 0)}{74,8 + 72,3 - 2} = 296\,000 \text{ ккал/ч;}$$

$$Q_{в.к.1}^{ср.г} = \frac{156\,000(46 - 0)}{60,3 + 58,2 - 2} = 198\,000 \text{ ккал/ч;}$$

для участка 2 подземной прокладки

$$Q_{н.н.2}^{ср.г} = \frac{323\,000(78 - 4) + 275\,000(46 - 4)}{72,3 + 68,1 + 61,0 + 60,3 - 6} = \\ = 589\,000 \text{ ккал/ч.}$$

Результаты пересчета тепловых потерь испытанных участков циркуляционного кольца на среднегодовые условия работы сети приведены в табл. 6.9. В этой же таблице приведены значения нормативных удельных потерь испытанных участков при среднегодовых условиях работы сети, определяемые при расчете параметров испытаний — q_n , $q_{н.н}$ и $q_{в.к.н}$.

Нормативные тепловые потери для испытанных участков, пересчитанные на среднегодовые условия работы сети, определяют согласно формулам (7.4) — (7.6)

Они составляют для участка 1 надземной прокладки:

$$Q_{н.н.1}^{н.г} = 1,25 \cdot 112 \cdot 2180 = 305\,000 \text{ ккал/ч;}$$

$$Q_{в.к.1}^{н.г} = 1,25 \cdot 83 \cdot 2180 = 226\,000 \text{ ккал/ч.}$$

Таблица 7.9. РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ИЗМЕРЕННЫХ И НОРМАТИВНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРОКЛАДКИ И КОНСТРУКЦИЙ ИЗОЛЯЦИИ

Подсчитываемые величины	Участок		
	1 (надземная прокладка, изоляция из минеральной ваты)	2 (подземная прокладка, изоляция из минеральной ваты)	3 (подземная прокладка, изоляция из диатомового кирпича)
$Q_{н.к.}$ ккал/ч	192 000	323 000	161 000
$Q_{о.н.}$ »	156 000	275 000	149 000
$Q_{н.к.}^{ср.г.}$ »		589 000	303 000
$Q_{н.к.}^{ср.г.}$ »	296 000	—	—
$Q_{н.к.}^{ср.г.}$ »	198 000	—	—
$Q_{н.к.}$ ккал/(м·ч)		157 (при $d_0=325$) 140 (при $d_0=273$)	120
$q_{н.к.}$ ккал/(м·ч)	112	—	—
»	83	—	—
$q_{н.к.}$ ккал/ч	—	723 000	360 000
$Q_{н.к.}^{ср.г.}$ »	205 000	—	—
$Q_{н.к.}^{ср.г.}$ »	226 000	—	—
K	—	0,81	0,84
K_1	0,97	—	—
K_2	0,88	—	—

Таблица 7.10. НОРМИРУЕМЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ УЧАСТКАМИ СЕТИ

Тип прокладки и конструкции изоляции теплопроводов	Наружный диаметр подающего или обратного трубопровода d_n , м	Длина подающего или обратного трубопровода l , м	Нормативные удельные тепловые потери ккал/(м·ч), для длины		Нормируемые эксплуатационные среднегодовые тепловые потери, ккал/ч, для линии	
			подающей	обратной	подающей	обратной
Надземная прокладка, изоляция из минеральной ваты	0,426	2 180	—	—	296 000	198 000
	0,108	2 365	47	31	135 000	81 000
Итого по надземной прокладке:					431 000	279 000
Подземная канальная прокладка, изоляция из минеральной ваты	0,325	2 500	—	—	589 000	
	0,273	1 500	—	—	—	
	0,219	2 160	120	—	251 000	—
	0,219	5 150	100	—	500 000	—
	0,108	4 325	81	—	340 000	—
	0,076	1 055	68	—	70 000	—
	0,057	585	60	—	34 000	—
Подземная канальная прокладка, изоляция из диатомового кирпича	0,219	2 500	—	—	303 000	—
	0,159	2 065	100	—	208 000	—
	0,108	3 085	81	—	252 000	—
	0,076	2 600	68	—	178 000	—
	0,057	2 310	60	—	139 000	—
Итого по подземной прокладке:					2 864 000	
Всего по сети:					3 574 000	

Аналогично для участка 2 подземной прокладки

$$Q_{н.к.}^{ср.г.} = 1,2 \cdot 157 \cdot 2500 + 1,2 \cdot 140 \cdot 1500 = 723 000 \text{ ккал/ч.}$$

Результаты расчета нормативных абсолютных тепловых потерь испытанных участков приведены в табл. 6.9.

Далее сопоставляют измеренные и нормативные тепловые потери по различным испытанным типам прокладки и конструкции изоляции путем определения коэффициента K по формулам (7.35) — (7.37).

Для участков надземной прокладки при

изоляции из минеральной ваты получаем:

по подающей линии

$$K = 296\,000 : 305\,000 = 0,97;$$

по обратной линии

$$K_{\text{н}} = 198\,000 : 226\,000 = 0,88.$$

Соответственно для подземной прокладки при изоляции из минеральной ваты суммарно по обеим линиям

$$K = 589\,000 : 723\,000 = 0,81.$$

То же, для подземной прокладки при изоляции из диатомового кирпича суммарно по обеим линиям.

$$K = 303\,000 : 360\,000 = 0,84.$$

Как следует из сопоставления значений измеренных и нормативных тепловых потерь, измеренные тепловые потери подающей и обратной линий надземной прокладки, а также суммарные потери по обеим линиям для участков подземной прокладки с различными типами изоляции оказались ниже нормативных. В связи с этим за основу при определении эксплуатационных тепловых потерь принимают измеренные тепловые потери, полученные при испытаниях для различных типов прокладки и конструкций изоляции.

Нормирование эксплуатационных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов. Для нормирования эксплуатационных тепловых потерь на участках сети, не подвергшихся испытаниям, определяют нормативные удельные тепловые потери для этих участков, приведенные к среднегодовым условиям работы сети. Значения указанных нормативных удельных тепловых потерь, а также нормируемых эксплуатационных тепловых потерь для не подвергшихся испытаниям участков сети, определенные по формулам (7.7)–(7.9) с введением соответствующих поправочных коэффициентов K , приведены в табл. 7.10. В эту же таблицу включены значения нормируемых эксплуатационных потерь участков сети, прошедших испытания.

Как следует из табл. 6.10, значение нормируемых среднегодовых тепловых потерь по тепловой сети в целом, определенное по формулам (7.10)–(7.12), составляет по участкам подземной прокладки $Q_{\text{н}}^{\text{ср.г.}} = Q_{\text{н}}^{\text{ср.г.}} = 2,864$ Гкал/ч, а по участкам надземной прокладки $Q_{\text{н}}^{\text{ср.г.}} = 0,431$ Гкал/ч и $Q_{\text{н}}^{\text{ср.г.}} = 0,279$ Гкал/ч.

Для определения нормируемых тепловых потерь сети за один из месяцев их работы, характеризуемый приведенными выше данными, необходимо найти среднемесячные значения тепловых потерь по формулам (7.14)–(7.16). Они составляют:

для участков подземной прокладки

$$Q_{\text{н}}^{\text{ср.м.}} = 2,864 \cdot \frac{92 + 50}{78 + 46} \cdot \frac{2,3}{2,4} = 3,358 \text{ Гкал/ч};$$

для участков надземной прокладки

$$Q_{\text{н}}^{\text{ср.м.}} = 0,431 \cdot \frac{92 + 6}{78 - 0} = 0,542 \text{ Гкал/ч};$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{ср.м.}} = 0,279 \cdot \frac{50 + 6}{46 - 0} = 0,340 \text{ Гкал/ч}.$$

Отсюда нормируемое значение месячных потерь теплоты через изоляцию трубопроводов для сети в целом, определяемое по формуле (7.13), равно

$$Q_{\text{н}}^{\text{мес}} = (3,358 + 0,542 + 0,340) \cdot 720 = 3063 \text{ Гкал}.$$

7.3. ИСПЫТАНИЯ СЕТЕЙ НА РАСЧЕТНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Общие положения. Водяные тепловые сети испытывают на расчетную температуру теплоносителя. Испытание заключается в проверке тепловой сети на прочность в условиях температурных деформаций, вызванных подъемом температуры теплоносителя до расчетных значений, а также в проверке в этих условиях компенсирующей способности тепловой сети. Испытанию на расчетную температуру теплоносителя подвергают всю тепловую сеть — от источника теплоснабжения до тепловых пунктов систем теплоснабжения, включая магистральные, разводящие теплопроводы и абонентские ответвления.

Эксплуатируемые тепловые сети подвергают испытаниям на расчетную температуру теплоносителя не реже одного раза в два года. вновь сооружаемые тепловые сети подвергают испытаниям на расчетную температуру теплоносителя до ввода их в эксплуатацию. Если тепловую сеть прокладывают в зимний период, и она не имеет отдельного шывода с ТЭЦ, допускается проводить испытания этой сети

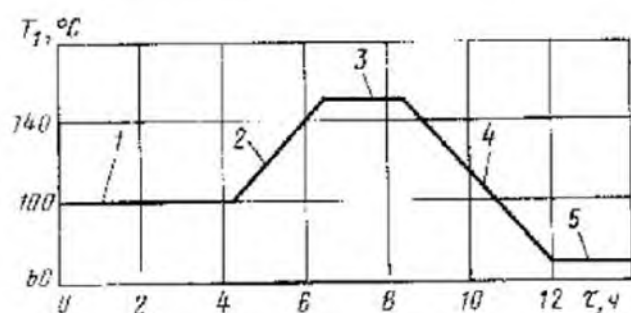


Рис. 7.8. Примерный график изменения температуры воды в подающем трубопроводе котельной (ТЭЦ) при испытаниях

1 — прогрев тепловой сети; 2 — подъем температуры до расчетной; 3 — поддержание заданной расчетной температуры; 4 — снижение температуры; 5 — режим после окончания испытаний

на расчетную температуру в конце первого отопительного сезона. Испытания действующих тепловых сетей на расчетную температуру теплоносителя, как правило, проводят непосредственно перед окончанием отопительного сезона при устойчивых суточных плюсовых температурах наружного воздуха.

Испытания на расчетную температуру теплоносителя тепловых сетей, эксплуатируемых длительное время и имеющих ненадежные участки, проводят после текущего ремонта и предварительных испытаний этих сетей на плотность, но не позднее чем за три недели до начала отопительного сезона. Аналогичным образом испытывают отдельные тепломагистрали, подвергавшиеся ремонту. Запрещается одновременно проводить испытания на расчетную температуру теплоносителя и на плотность.

Испытания на расчетную температуру теплоносителя проводят при расчетных значениях температуры воды, циркулирующей в подающем трубопроводе, при этом температура воды в обратном трубопроводе не должна превышать 90°C. Необходимо строго следить за тем, чтобы высокотемпературный теплоноситель не попадал в обратный трубопровод во избежание нарушения нормальной работы сетевых насосов, условий работы компенсационных устройств и целостности изоляционных конструкций. Для снижения температуры воды, поступающей в обратный трубопровод, испытания проводят с включенными системами отопления, присоединенными через смесительные устройства и теплообогреватели, а также с включенными системами горячего водоснабжения, присоединенными по закрытой

схеме и оборудованными автоматическими регуляторами температуры

Во время испытаний на расчетную температуру теплоносителя от тепловой сети отключают: а) отопительные системы детских и лечебных учреждений; б) неавтоматизированные закрытые системы горячего водоснабжения; в) системы горячего водоснабжения, присоединенные по открытой схеме; г) системы отопления, присоединенные через элеваторы с заниженными по сравнению с расчетными коэффициентами смешения; д) caloriferные установки; е) отопительные системы с непосредственной схемой присоединения. На промышленных предприятиях по согласованию с отделом главного энергетика допускается во время испытаний оставлять в работе присоединенные по непосредственной схеме отопительные приборы конвективно-излучающего действия.

Режим испытаний тепловой сети на расчетную температуру теплоносителя. Для проведения испытаний температуру воды в подающем трубопроводе тепловой сети на выходе с ТЭЦ (или другого источника теплоснабжения) поднимают до расчетного значения. Снижение температуры воды, поступающей в обратный трубопровод, достигается включением систем отопления и горячего водоснабжения. Испытания проводят методом «температурная волна» (рис. 7.8), что позволяет сократить их продолжительность и уменьшить нежелательный перегрев подключенных потребителей теплоты. Продолжительность поддержания максимальной температуры воды с учетом возможного размыва граничных зон «температурной волны» по мере удаления от ТЭЦ составляет 2 ч. При недостаточной тепловой мощности оборудования ТЭЦ, не обеспечивающей достижения расчетной температуры воды при одновременном испытании всей сети, испытания сети выполняют по частям. Давление воды в тепловой сети при испытаниях не должно превышать значений, которые имеют место при эксплуатационном режиме, т. е. во всех точках сети должно соблюдаться условие $P_{исп} \leq P_{эксп}$.

Если испытания тепловой сети на расчетную температуру теплоносителя проводят по частям, необходимо предусмотреть соответствующее снижение давления в подающем трубопроводе на выходе с ТЭЦ. Для этого

в каждом конкретном случае перед началом испытаний делают оценочный гидравлический расчет для наиболее неблагоприятных точек сети. Во всех точках подающей линии тепловой сети при испытаниях поддерживают давление, обеспечивающее не вскипание воды при расчетной температуре.

На период испытаний должны быть заданы определенные параметры: максимальная (расчетная) температура сетевой воды на выходе с ТЭЦ; максимально допустимая температура обратной воды на ТЭЦ; давление в обратном коллекторе ТЭЦ; давление в подающем коллекторе ТЭЦ; ожидаемый расход сетевой воды; ожидаемый максимальный отпуск теплоты (с указанием, в какие часы суток); ожидаемый минимальный отпуск теплоты при прохождении пункта температуры обратной воды после окончания испытаний (с указанием, в какие часы суток) и максимально допустимая величина подпитки. Отклонения от заданного режима испытаний не должны превышать: по температуре воды в подающем коллекторе ТЭЦ (относительно максимального значения) $\pm 2^\circ\text{C}$; по давлению в обратном коллекторе ТЭЦ — $0,2 \text{ кгс/см}^2$; по давлению в подающем коллекторе ТЭЦ $\pm 5\%$.

Температуру воды на тепловых вводах систем теплоснабжения не задают; она определяется естественным охлаждением воды по длине теплопровода. При подготовке к испытаниям следует учитывать значительные изменения объемов воды в тепловой сети при повышении и снижении температуры в процессе испытаний. Величину ожидаемого часового прироста объема воды в тепловой сети ($\text{м}^3/\text{ч}$) при изменении температуры можно приблизительно определить по формуле

$$\Delta V = G \left(\frac{1}{v_{t_2}} - \frac{1}{v_{t_1}} \right),$$

где G — расход циркулирующей воды, кг/ч ; v_{t_2} и v_{t_1} — объемная масса воды при температуре соответственно t_1 и t_2 , кг/м^3 ; t_1 и t_2 — соответственно начальная и конечная температура воды, $^\circ\text{C}$.

При испытаниях заданную величину давления в обратном трубопроводе ТЭЦ поддерживают регулированием величины подпитки дренажа. Скорость изменения температуры воды при испытаниях определяют при подтеке температуры в зависимости от пропускной способности дренажного трубопровода, а при

снижении температуры в зависимости от теплоемкости подпиточного устройства. При этом скорость изменения температуры не должна превышать 30°C/ч .

Температура воды в присоединенных к тепловой сети системах отопления при испытаниях не должна превышать расчетной величины для систем отопления, а для систем горячего водоснабжения она должна быть не более 75°C .

В период испытаний с целью снижения температуры воздуха внутри помещений потребителям следует рекомендовать усиленно проветривать помещения.

Измерения и измерительная аппаратура. При испытаниях на расчетную температуру измеряют следующие параметры (рис. 7.9):

а) на ТЭЦ: температуру воды в подающем T_1 и обратном T_2 трубопроводах, давление в подающем P_1 и обратном P_2 трубопроводах, расход сетевой воды G_0 , расход подпиточной воды G_2 ;

б) на тепловых пунктах систем теплоснабжения: температуру воды в подающем t_1 и обратном t_2 трубопроводах тепловой сети, температуру воды в подающем t_3 и обратном t_4 трубопроводах отопительной системы, температуру воды в системе горячего водоснабжения t_5 , давление в подающем P_1 и обратном P_2 трубопроводах тепловой сети;

в) в тепловой сети: величину максимального перемещения стаканов сальниковых компенсаторов на подающем трубопроводе Δl_{max} (измеряют выборочно в предусмотренных программой местах);

Для измерения температуры воды при испытаниях применяют: на ТЭЦ — регистрирующие термометры, на тепловых пунктах систем теплоснабжения — ртутные термометры с ценой деления $0,5$ — $1,0^\circ\text{C}$. Для измерения давления используют: на ТЭЦ регистрирующие манометры, на тепловых пунктах систем теплоснабжения — пружинные манометры класса $1,0$ — $1,5$.

Расход сетевой и подпиточной воды измеряют с помощью нормальных измерительных диафрагм и регистрирующих расходомеров. Расчет, изготовление и установку измерительных диафрагм выполняют согласно действующим «Правилам измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами», (М.: Стандарты, 1980).

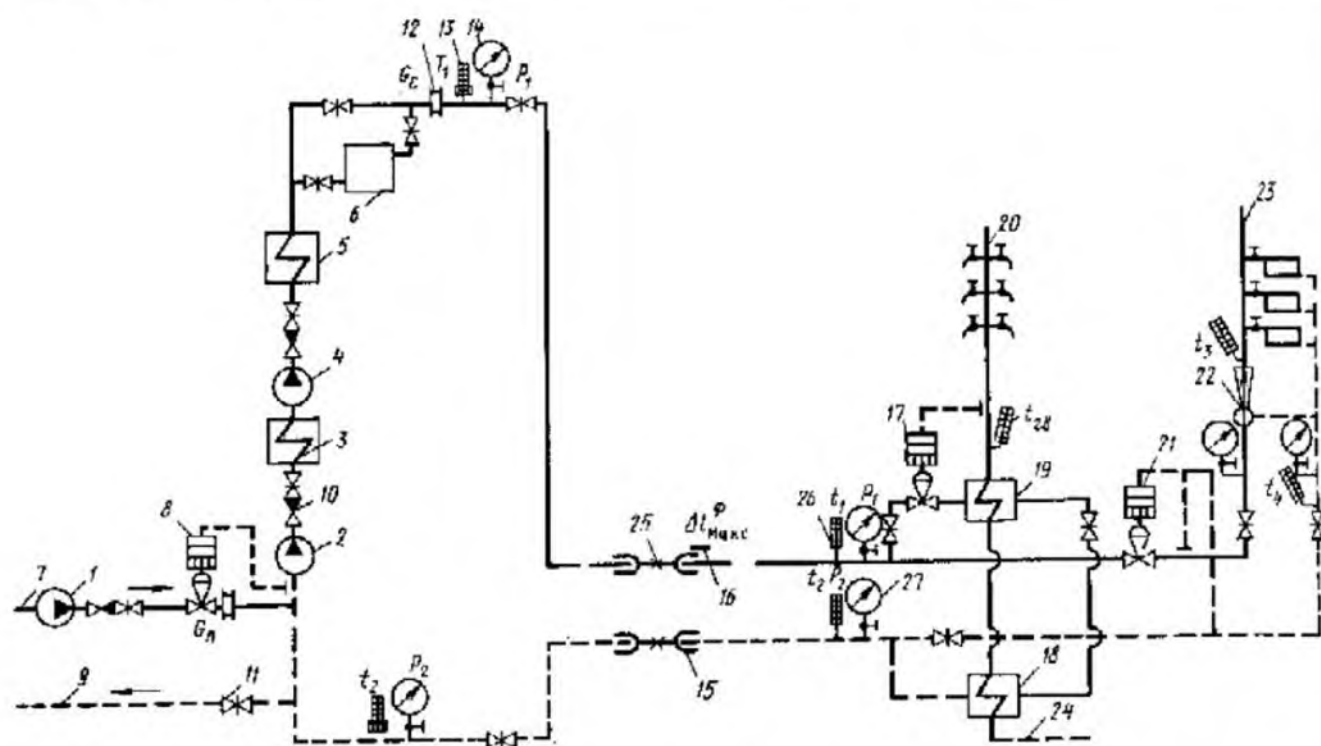


Рис. 7.9. Схемы работы тепловой сети и расстановки контрольно-измерительной аппаратуры при испытаниях

Величину максимального перемещения стаканов сальниковых компенсаторов измеряют с помощью специальных фиксирующих приспособлений, установленных до начала испытаний, так как людям запрещается находиться в тепловых камерах и тоннелях при испытаниях на расчетную температуру. Температуру воды, необходимую для оценки величины перемещения стакана сальникового компенсатора, измеряют на ближайшем тепловом пункте. Для измерения максимального перемещения стакана сальникового компенсатора рекомендуется применять фиксатор перемещения.

Фиксатор (рис. 7.10) представляет собой стержень 4, один конец которого ввернут в торец стяжного болта 3 грунта-буксы 2 компенсатора, а на другой свободный конец насажены две фиксирующие шайбы 5. К трубопроводу вблизи примыкания его к стакану компенсатора приварена вилка 6. Высоту вилки выбирают в зависимости от диаметра трубы. Перед испытаниями при начальной температуре воды в трубопроводе шайбы подводят вплотную к вилке, а стержень смазывают тугоплавкой смазкой (например, консталином УТ-2). Во время повышения температуры воды при испытаниях вилка перемещается вместе со стаканом компенсатора и передвигает левую шайбу. После окончания испытания и снижения температуры до начальной измеряют величину максимального хода компенсатора.

1 — подпиточный насос; 2 — первая ступень сетевых насосов; 3 — первая ступень сетевых подогревателей; 4 — вторая ступень сетевых насосов; 5 — вторая ступень сетевых подогревателей; 6 — пиковый котел; 7 — подпиточный трубопровод; 8 — регулятор подпитки; 9 — дренажный трубопровод ($d = 100-200$ мм); 10 — обратный клапан; 11 — задвижка; 12 — измерительная диафрагма с регистрирующим расходомером; 13 — регистрирующий термометр; 14 — регистрирующий манометр; 15 — сальниковый компенсатор; 16 — фиксатор перемещения стакана компенсатора; 17 — регулятор температуры; 18 — первая ступень подогревателей горячего водоснабжения; 19 — вторая ступень подогревателей горячего водоснабжения; 20 — система горячего водоснабжения; 21 — регулятор расхода; 22 — элеватор; 23 — система отопления; 24 — водопровод; 25 — неподвижная опора; 26 — термометр; 27 — манометр

Величину теоретического перемещения стакана сальникового компенсатора определяют по формуле

$$\Delta l = \alpha \Delta t l,$$

где α — коэффициент линейного расширения (для стали $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-2}$), мм/(м·°C); Δt — разность между максимальной и начальной температурой теплоносителя, °C; l — длина компенсационного участка трубопровода (от неподвижной опоры до компенсатора), м.

Величину теоретического перемещения можно также определять по номограмме (рис. 7.11).

Подготовка к испытаниям. Испытания на расчетную температуру теплоносителя проводят под руководством начальника района

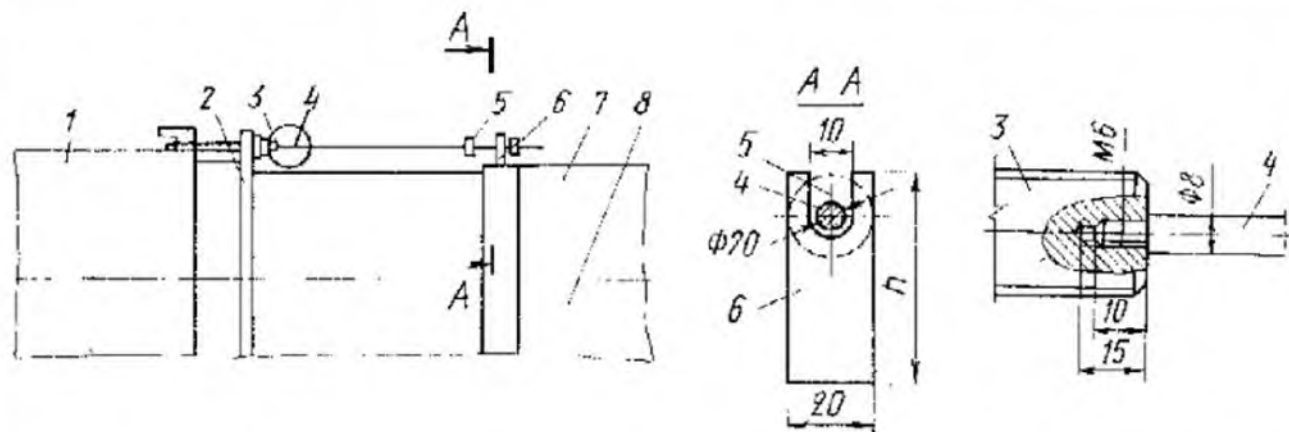


Рис. 7.10. Фиксатор перемещения для измерения максимального перемещения стакана сальникового компенсатора

1 — корпус сальникового компенсатора; 2 — гнуд-буksa; 3 — Г-образный болт со сверлением; 4 — стержень ($d = 8$ мм, $l = 350-570$ мм); 5 — фиксирующие шайбы ($d_a = 20$ мм, $d_n = 8 + 0,2$ мм, $\delta = 15$ мм) 6 — гайка ($\delta = 8-5$ мм, h — в зависи-мости от диаметра трубопровода); 7 — трубопровод; 8 — стакан компенсатора

(предприятия, цеха) теплосети или его заместителя. До начала испытаний составляют рабочую программу испытаний, которую утверждают главный инженер предприятия тепловых сетей и согласовывают с главным инженером ТЭЦ. Изменения в графике электрической нагрузки ТЭЦ оформляет персонал ТЭЦ в установленном порядке.

В рабочей программе указывают: а) задачи испытаний; б) параметры испытаний; в) схему включения оборудования ТЭЦ; г) схему работы тепловой сети; д) перечень подготовительных мероприятий на ТЭЦ и тепловой сети; е) время и последовательность проведения каждого этапа испытаний; ж) измеряемые при испытаниях параметры, интервалы измерений; з) места установки измерительной аппаратуры; и) перечень ответственных за обеспечение заданных режимов на ТЭЦ и в тепловой сети; к) необходимые для испытаний транспортные средства и средства оповещения; л) список абонентов, подлежащих отключению на время испытаний; м) число наблюдателей, необходимых для проведения измерений на ТЭЦ и тепловых пунктах, а также дежурных по трассе тепловой сети; н) мероприятия по оповещению абонентов; о) мероприятия по технике безопасности.

На ТЭЦ перед началом испытаний выполняют следующие подготовительные работы:

а) проверяют готовность оборудования ТЭЦ

к работе по намеченной схеме и принятию ожидаемой тепловой нагрузки; б) выявляют состояние дренажного трубопровода (дренажный трубопровод должен быть выполнен из труб диаметром 100-200 мм с радижкой, расположенной в удобном для обслуживания месте); в) проверяют состояние автоматических устройств и запорной арматуры на теплофикационном оборудовании; г) устанавливают и проверяют работу контрольно-измерительной аппаратуры, предусмотренной программой.

В тепловой сети при подготовке к испытаниям проводят следующие работы: а) осматривают тепловую сеть, проверяют состояние сальниковых компенсаторов, фланцевых соединений, опор и других элементов, а также оборудования насосно-перекачивающих станций; неисправности, для ликвидации которых не требуется отключение теплопровода (негерметичность сальниковых уплотнений, фланцевых соединений и т. п.), устраняют до начала испытаний; б) проверяют величину коэффициентов смешения элеваторных присоединений отопительных систем; заменяют сопла элеваторов в системах, если коэффициенты смешения оказываются ниже расчетных, при невозможности замены сопел отопительные системы отключают; в) организуют пункты наблюдения на ряде абонентских присоединений для контроля за режимом испытаний; г) устанавливают в пунктах наблюдения предварительно проверенную контрольно-измерительную аппаратуру и обеспечивают освещение приборов; д) устанавливают фиксаторы перемещений в предусмотренных программой местах в тепловых камерах на сальниковых компенсаторах; е) отключают предусмотренные программой системы теплоснабжения.

Пункты наблюдения организуют на теп-

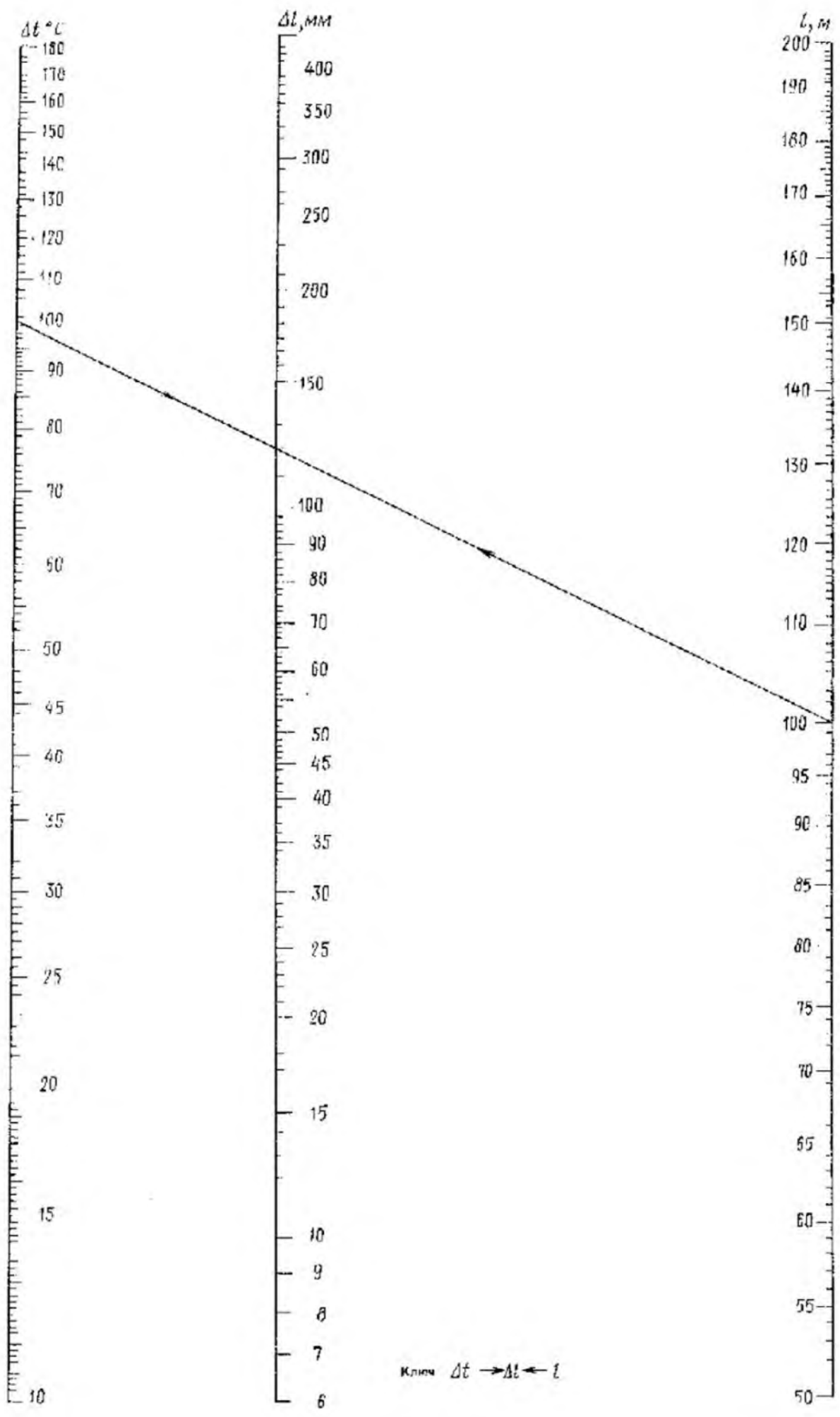


Рис. 7.11. Помограмма для определения расчетных температурных удлинений стальных трубопроводов тепловых сетей

l — длина компенсационного участка трубопровода;
 M — величина изменения температуры теплоносителя;
 Ml — расчетная величина удлинения трубопровода

ловых вводах систем теплоснабжения, расположенных на концевых участках тепловой сети, а также на нескольких тепловых вводах по длине тепловой сети на различном удалении от ТЭЦ. Персонал предприятия тепловой сети записывает показания приборов на пунктах наблюдения.

Выборочную проверку компенсирующей способности компенсационных участков тепловой сети выполняют в местах, где при эксплуатации наблюдались недостаточные (по оценочным измерениям) величины перемещений стаканов сальниковых компенсаторов. Компенсирующую способность участков оценивают путем сопоставления максимальных фактических перемещений стаканов сальниковых компенсаторов, измеренных при испытаниях с помощью фиксаторов, с теоретическими значениями, определенными расчетным путем. Непосредственно перед испытаниями до начала прогрева тепловой сети (при температуре 70–80°C) настраивают смонтированные на сальниковых компенсаторах фиксаторы перемещений.

Предусмотренные программой системы теплоснабжения отключают с помощью входных задвижек на подающих и обратных трубопроводах тепловых пунктов. В случае неплотности этих задвижек дополнительно отключают задвижки, установленные в тепловых камерах на ответвлении к тепловым пунктам. В местах, где задвижки не обеспечивают плотного отключения, ставят заглушки.

Из эксплуатационного персонала предприятия тепловой сети и обслуживающего персонала систем теплоснабжения выделяют дежурных для наблюдения за трассой тепловой сети и своевременного выявления возможных мест повреждений. На тепловых пунктах систем теплоснабжения, находящихся во время испытаний в работе, организуют дежурство обслуживающего персонала. Особое внимание уделяют абонентам систем с насосным подменным; проводят мероприятия, обеспечивающие бесперебойную работу насосов во время испытаний. Персонал, участвующий в испыта-

ниях, должен быть четко распределен по пунктам наблюдения и по участкам трассы тепловой сети, ознакомлен с программой испытаний, с возлагаемыми на него обязанностями и требованиями техники безопасности. На пунктах наблюдения персонал обеспечивает средствами связи для оперативного сообщения руководителя испытаний о величинах измеряемых параметров и возможных неполадках. Для объезда трассы тепловой сети во время испытаний персоналу выдают автотранспорт.

Абонентов оповещают о намеченных испытаниях через ответственных уполномоченных под расписку не позднее чем за 48 ч до начала испытаний. Абонентам, системы теплоснабжения которых на период испытаний подлежат отключению, сообщают время, на которое система будет отключена. До начала испытаний проверяют выполнение мероприятий по технике безопасности.

Порядок проведения испытаний. Перед началом испытаний тепловую сеть прогревают при температуре воды в подающем трубопроводе 100°C. Продолжительность прогрева определяют исходя из обеспечения двукратной циркуляции воды через наиболее удаленные участки испытываемой сети. Затем проводят расстановку персонала в пунктах наблюдения и на трассе тепловой сети. В предусмотренный программой срок на ТЭЦ начинают постепенно поднимать температуру воды при строгом контроле за давлением в обратном коллекторе тепловой сети и величиной подпитки (дренажа). Заданную расчетную температуру поддерживают постоянной в течение установленного программой времени, а затем плавно снижают до 70–80°C.

Скорость повышения и снижения температуры выбирают такой, чтобы в течение всего периода испытаний соблюдалось заданное давление в обратном коллекторе ТЭЦ. При повышении температуры поддерживают давление в обратном коллекторе сначала путем регулирования величины подпитки, а затем полным прекращением подпитки и дренированием воды из обратного коллектора. Для создания возможности автоматического регулирования давления в обратном коллекторе ТЭЦ, в период дренирования (при неавтоматизированном дренаже) допускается повышение расхода дренируемой воды против необходимого до величины, при которой вступает в работу регулятор

подпитки. Расход дренажной воды при этом устанавливают возможно меньшим.

С начала испытаний (с момента повышения температуры) в пунктах наблюдения на тепловой сети непрерывно (с интервалом 10—15 мин) измеряют температуру и давление. В наиболее удаленных от ТЭЦ точках сети измерения можно начинать позднее с учетом времени пробега воды от ТЭЦ до этих точек. На тепловых вводах с насосным подмешиванием наблюдение за температурой воды, поступающей в отопительную систему, ведут непрерывно. При останове насосов систему отопления немедленно отключают. Руководитель испытаний по данным, поступающим из пунктов наблюдения, следит за повышением температуры на ТЭЦ и в тепловой сети и прохождением температурной волны по участкам тепловой сети.

Для своевременного выявления повреждений, которые могут возникнуть в тепловой сети при испытаниях, особое внимание следует уделять режимам подпитки и дренажирования. Поскольку расходы подпиточной и дренажной воды в процессе испытаний сильно изменяются, это затрудняет определение по ним момента появления неплотностей в сети. Поэтому в период неустановившегося режима необходимо анализировать причины каждого резкого увеличения расхода подпиточной и снижения расхода дренажной воды. Герметичность (плотность) тепловой сети при испытаниях наиболее правильно можно определить в период установившейся максимальной температуры теплоносителя. Резкое отклонение величины подпитки от начальной в этот период свидетельствует о появлении неплотности в тепловой сети и о необходимости принятия срочных мер по ликвидации повреждения.

Специально выделенный персонал во время испытаний объезжает и осматривает тепловую сеть (без спуска в тепловые камеры и туннели) и о выявленных дефектах немедленно сообщает руководителю испытаний. При обнаружении дефектов, которые могут привести к серьезным последствиям, испытания приостанавливают до устранения этих дефектов. Системы теплоотребления, температура воды в которых при испытаниях превысила расчетную для отопления величину, а для горячего водоснабжения 75°C, немедленно отключают.

Измерения температуры и давления в пунк-

тах наблюдения заканчивают после прохождения в данном месте температурной волны и снижения температуры в подающем трубопроводе до 100°C. Испытания считают законченными после снижения температуры воды в подающем трубопроводе тепловой сети до 70—80°C.

Выявление дефектов. По окончании испытаний тепловую сеть тщательно осматривают:

а) измеряют величины максимального перемещения стаканов сальниковых компенсаторов в местах, где для этих целей устанавливали фиксаторы перемещений;

б) проверяют состояние компенсаторов на всей тепловой сети (герметичность сальниковых уплотнений, целостность сварных соединений, наличие следов теплового перемещения);

в) определяют состояние подвижных и неподвижных опор, расположенных в доступных местах, выявляют места смещения опор и поврежденные элементы;

г) проверяют состояние запорной арматуры (целостность арматуры, плотность фланцевых соединений);

д) выявляют места неплотностей теплопроводов.

Для сальниковых компенсаторов, на которых устанавливали фиксаторы перемещений, сопоставляют фактические и теоретические максимальные перемещения стаканов. Фактическая величина максимального перемещения должна составлять не менее 75% теоретического значения. Меньшая величина свидетельствует о неудовлетворительной компенсирующей способности компенсационного участка тепловой сети и необходимости принятия мер к ее устранению. Такими причинами могут быть: просадка теплопровода, вызывающая перекоп компенсатора, смещение неподвижной опоры, большие силы трения теплопровода о грунт (при бесканальной прокладке), чрезмерное уплотнение сальниковой набивки и т. п.

После проведения испытаний составляют акт, содержащий:

а) краткие данные по режиму испытаний (максимальные значения температуры воды в подающем и обратном трубопроводах на ТЭЦ, давление воды в подающем и обратном трубопроводах на ТЭЦ, расходы сетевой воды, максимальные температуры воды, достигнутые в конечных точках тепловой сети, время поддержания максимальной температуры, время про-