

А. К. Тихомиров

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ РАЙОНА ГОРОДА



Хабаровск 2006

УДК 697.3 (07)

ББК

Рецензенты:

Управление перспективного развития топливно-энергетического комплекса министерства топлива и энергетики Хабаровского края (начальник управления *В.В. Выродов*);

заведующий кафедрой «Гидравлика и водоснабжение» Дальневосточного государственного университета путей сообщения д-р техн. наук проф. *Л.Д. Терехов*.

Научный редактор

канд. техн. наук, доц. *Ю. В. Хоничев*

**Тихомиров А. К.**

Т462

Теплоснабжение района города : учеб. пособие /  
А. К. Тихомиров. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та,  
2006. – 135 с.

ISBN 5 – 7389 – 0515 – 6 \_

Изложены теоретические основы проектирования водяных систем теплоснабжения, даны примеры расчетов и подбора оборудования тепловых сетей, приведены справочные приложения.

Издание предназначено для студентов высших учебных заведений специальности ТГВ и других, изучающих курс «Теплоснабжение».

**УДК 697.3(07)**

**ББК 3 38**

**ISBN 5 – 7389 – 0515 – 6**

© Тихоокеанский государственный университет, 2006

© Тихомиров А. К., 2006

## ВВЕДЕНИЕ

Суммарная реализация тепла в России в настоящее время составляет 2 060 млн Гкал/год. На теплоснабжение в год расходуется более 400 млн т условного топлива.

Согласно сводным данным по объектам теплоснабжения регионов Российской Федерации, суммарная протяжённость тепловых сетей в двухтрубном исчислении составляет около 185 000 км. Средний процент их износа оценивается в 60–70 %. По экспертной оценке 15 % тепловых сетей требуют безотлагательной замены. Для приведения системы транспорта теплоносителя в надежное состояние необходимо построить заново или провести реконструкцию 150 тыс. км теплотрасс в двухтрубном исчислении.

Для решения таких глобальных задач необходима подготовка специалистов в области теплоснабжения.

Учебное пособие написано для студентов специальности «Теплогасоснабжение и вентиляция» и может быть использовано при изучении дисциплины «Теплоснабжение», при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также при решении других практических задач по данной дисциплине.

Курсовое и дипломное проектирование, являясь составной частью учебного процесса, способствует усвоению студентами теоретических знаний, приобретению практических навыков в проектно-конструкторской работе.

Курсовое и дипломное проектирование по теплоснабжению дает возможность студенту освоить методы расчета различных видов теплового потребления, изучить способы регулирования отпуска теплоты, выполнить гидравлические расчеты трубопроводов тепловых сетей, тепловой и механический расчеты теплопроводов, приобрести навыки по использованию технической, справочной и нормативной литературы.

Приведенные в настоящем пособии нормативные, расчетные и руководящие материалы могут быть использованы при проектировании новых и реконструкции существующих водяных систем теплоснабжения.

Автор выражает благодарность сотрудникам Управления перспективного развития ТЭК министерства топлива и энергетики Хабаровского края и заведующему кафедрой «Гидравлика и водоснабжение» ДВТУПС доктору технических наук, профессору Л.Д. Терехову за ценные замечания при рецензировании пособия.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

### 1.1. КОНСТРУИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Проектирование тепловых сетей начинается с выбора трассы. Трасса тепловых сетей в городах должна размещаться преимущественно в отведенных для инженерных сетей технических полосах параллельно красным линиям улиц, дорог и проездов вне проезжей части и полосы древесных насаждений. На территории кварталов и микрорайонов допускается прокладка теплопроводов по проездам, не имеющим капитального дорожного покрытия, тротуарам и зеленым зонам. Диаметры трубопроводов, прокладываемых в кварталах или микрорайонах, по условиям безопасности следует выбирать не более 500 мм, а их трасса не должна проходить в местах возможного скопления населения (спортплощадки, скверы, дворы общественных зданий и др.). Допускается пересечение водяными тепловыми сетями диаметром условного прохода  $D_y = 300$  мм и менее жилых и общественных зданий при условии прокладки сетей в технических подпольях, коридорах и тоннелях (высотой не менее 1,8 м) с устройством дренирующего колодца в нижней точке на выходе из здания. Пересечение тепловыми сетями детских, дошкольных, школьных и лечебно-профилактических учреждений не допускается. Пересечение дорог, проездов, других коммуникаций, а также зданий и сооружений следует, как правило, предусматривать под прямым углом. В населенных пунктах для тепловых сетей предусматривается, в основном, подземная прокладка. Надземная прокладка в городской черте может применяться на участках со сложными грунтовыми условиями, при пересечении железных дорог общей сети, рек, оврагов, при большой густоте подземных сооружений и в других случаях, регламентируемых [1]. Уклон тепловых сетей независимо от направления движения теплоносителя и способа прокладки должен быть не менее 0,002.

При выборе схемы магистральных тепловых сетей необходимо учитывать обеспечение надежности и экономичности их работы. Следует стремиться к наименьшей протяженности тепловых сетей, к меньшему количеству тепловых камер, применяя, по возможности, двухстороннее подключение кварталов. При прокладке в районе города двух и более крупных магистралей от одного источника следует предусматривать, при необходимости, устройство резервных перемычек между магистралями. Водяные тепловые сети следует принимать, как правило, 2-трубными, подающими теплоноситель одновременно на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и технологические нужды.

Схемы квартальных тепловых сетей принимаются тупиковыми, без резервирования. Для трубопроводов тепловых сетей, работающих при давлениях до 2,5 МПа и температурах теплоносителя до 200 °С, следует предусматривать стальные электросварные трубы. Основные характеристики стальных труб для водяных тепловых сетей приведены в прил. 15. (Приведенный порядок ссылок на приложения, таблицы и рисунки определен логикой выполнения курсовых и выпускных квалификационных работ).

Допущены к применению в тепловых сетях стойкие в отношении коррозии напорные бесшовные горячепрессованные трубы из чугуна с шаровидным графитом (трубы ВЧШГ) по ТУ 14-3-1848-92.

Арматуру в тепловых сетях следует применять стальную. Допускается применять арматуру из высокопрочного чугуна в районах с расчетной температурой наружного воздуха для проектирования систем отопления  $t_0$  выше  $-40$  °С; из ковкого чугуна с  $t_0$  выше  $-30$  °С; из серого чугуна с  $t_0$  выше  $-10$  °С. На выводах тепловых сетей от источника теплоты, на вводах в центральные тепловые пункты и индивидуальные тепловые пункты с суммарной тепловой нагрузкой на отопление и вентиляцию 0,2 МВт и более должна предусматриваться стальная запорная арматура. Запорную арматуру в тепловых сетях следует предусматривать:

- а) на трубопроводах выводов тепловых сетей от источников теплоты;
- б) на трубопроводах водяных тепловых сетей  $D_y \geq 100$  мм на расстоянии не более 1 000 м друг от друга (секционирующие задвижки), допускается увеличивать расстояния между секционирующими задвижками для трубопроводов  $D_y = 400-500$  мм – до 1 500 м, для трубопроводов  $D_y > 600$  мм – до 3 000 м, для трубопроводов надземной прокладки  $D_y \geq 900$  – до 5 000 м;
- в) в узлах на трубопроводах ответвлений  $D_y > 100$  мм, а также в узлах на трубопроводах ответвлений к отдельным зданиям независимо от диаметров трубопроводов.

При длине ответвлений к отдельным зданиям до 30 м и при  $D_y \leq 50$  мм допускается запорную арматуру на этих ответвлениях не устанавливать, при этом следует предусматривать запорную арматуру, обеспечивающую отключение группы зданий с суммарной тепловой нагрузкой, не превышающей 0,6 МВт. В нижних точках трубопроводов тепловых сетей необходимо предусматривать штуцера с запорной арматурой для спуска воды (спускные устройства). Спускные устройства должны обеспечить продолжительность опорожнения участка для

трубопроводов  $D_y \leq 300$  мм – не более 2 ч; для трубопроводов  $D_y = 350$ –  
500 мм – не более 4 ч; для трубопроводов  $D_y \geq 600$  – не более 5 ч.

Диаметры спускных устройств должны определяться по методике [1] и приниматься не менее указанных в табл. 1.6. В высших точках трубопроводов тепловых сетей должны предусматриваться штуцера с запорной арматурой для выпуска воздуха (воздушники), условный проход которых приведен в табл. 1.7. Данные по запорной арматуре приведены в прил. 20. Следует отдавать предпочтение малогабаритной запорной арматуре (шаровым кранам, затворам).

После определения диаметров трубопроводов на схеме тепловых сетей должны быть расставлены неподвижные опоры, воспринимающие горизонтальные усилия вдоль оси теплопроводов. Неподвижные опоры в первую очередь устанавливают в местах размещения ответвлений, секционирующих задвижек, на участках самокомпенсации с углами поворота 90–130°. Далее расставляют промежуточные неподвижные опоры на протяженных прямолинейных участках. Максимальные расстояния между неподвижными опорами не должны превышать величин указанных в прил. 7. Неподвижные опоры следует предусматривать:

- упорные – при всех способах прокладки трубопроводов;
- щитовые – при бесканальной прокладке и прокладке в непроходных каналах при размещении опор вне камер;
- хомутовые – при прокладке надземной и в тоннелях (на участках с гибкими компенсаторами и самокомпенсацией).

Для восприятия вертикальных нагрузок от теплопроводов следует предусматривать подвижные опоры:

- скользящие – независимо от направления горизонтальных перемещений трубопроводов при всех способах прокладки и для всех диаметров труб;
- катковые – для труб диаметром 200 мм и более при осевом перемещении труб;
- шариковые – для труб диаметром 200 мм и более при горизонтальных перемещениях труб под углом к оси трассы (на углах поворотов с самокомпенсацией).

Конструкции подвижных и неподвижных опор приведены в прил. 16.

Компенсация температурных деформаций в тепловых сетях обеспечивается компенсаторами – сальниковыми, сильфонными, радиальными, а также самокомпенсацией – использованием участков поворотов теплотрассы. Сальниковые компенсаторы имеют большую компенсирующую способность, малую металлоемкость, однако требуют постоянного наблюдения и обслуживания. В местах размещения сальниковых компенсаторов при подземной прокладке должны быть

предусмотрены тепловые камеры. Сальниковые компенсаторы выпускаются  $D_y = 100\text{--}1\ 400$  мм на условное давление до 2,5 МПа и температуру до 300 °С, односторонние и двухсторонние. Сальниковые компенсаторы желательнее применять на прямолинейных участках трубопроводов с большими диаметрами. Сильфонные компенсаторы выпускаются для трубопроводов диаметром от 50 до 1 000 мм. Они не требуют обслуживания и могут применяться при любых способах прокладки. Однако они имеют сравнительно небольшую компенсирующую способность (до 100 мм), и их допускается применять с использованием направляющих опор. Широкое применение получили радиальные (в основном П-образные) компенсаторы. Радиальные компенсаторы могут применяться для любых диаметров, они не требуют обслуживания, однако металлоемки, имеют значительную осевую реакцию и большее гидравлическое сопротивление по сравнению с сальниковыми и сильфонными. При решении вопросов компенсации температурных деформаций в тепловых сетях в первую очередь необходимо использовать для самокомпенсации естественные углы поворота трассы, и уже затем применять специальные компенсирующие устройства. Конструкции различных типов компенсаторов приведены в прил. 14.

Подземная прокладка тепловых сетей может осуществляться в каналах и бесканально. Широкое распространение в настоящее время получила прокладка в непроходных каналах различных конструкций. Наиболее перспективны для строительства тепловых сетей непроходные каналы типа МКЛ, а также КЛп, обеспечивающие свободный доступ к трубопроводам при производстве сварочных, изоляционных и других видов работ. Конструкции непроходных каналов приведены в прил. 18.

Бесканальную прокладку применяют для диаметров трубопроводов до 500 мм. Конструкции тепловой изоляции бесканальных прокладок должны иметь следующие качества:

- обеспечение основным теплоизоляционным слоем тепловых потерь не более нормируемых и отсутствие в составе теплоизоляции примесей, способных вызвать наружную коррозию;
- устойчивость физических и химических характеристик теплоизоляционных и антикоррозионных покрытий в течение нормативного срока службы;
- прочность, обеспечивающую надежную работу подземного теплопровода;
- индустриальность, сборность, а также возможность изготовления и нанесения изоляции в заводских условиях с высоким качеством работ;

- возможность транспортировки и удобство монтажа на трассах.

По конструкции бесканальные прокладки делятся на засыпные, сборные, литые и монолитные. Наиболее желательны для применения, с учетом указанных ранее требований, монолитные оболочки из пенополиуретана, полимербетона, армопенобетона, битумоперлита, битумокерамзита, фенольного поропласта, асфальтоизола. Выбор конструкции теплоизоляционного слоя и расчет его толщины, как при канальной, так и при бесканальной прокладке следует выполнять в соответствии с рекомендациями [4, 5] с учетом параметров теплоносителя, условий эксплуатации и неперевышения нормируемых тепловых потерь.

Для защиты наружной поверхности труб тепловых сетей от коррозии необходимо предусматривать защитное покрытие, конструкция которого может быть принята по прил. 13. При подземной прокладке для размещения запорной арматуры, спускных и воздушных устройств, сальниковых компенсаторов и другого оборудования, требующего постоянного доступа и обслуживания, устраиваются тепловые камеры. Размеры камеры принимаются из условий нормального обслуживания размещаемого в камере оборудования согласно [1. Прил. В]. Наименьшая высота камер 1,8 м. Строительная часть камер выполняется из сборного железобетона. Камеры при необходимости могут быть выполнены также из монолитного железобетона с отдельным перекрытием. В перекрытиях камер должно быть не менее двух люков  $D = 630$  мм, расположенных по диагонали при внутренней площади камер до  $6 \text{ м}^2$ , и четырех люков при внутренней площади камер более  $6 \text{ м}^2$ . Под люками должны быть устроены лестницы или скобы. Днище камеры выполняется с уклоном не менее 0,02 в сторону водосборного приемка.

При пересечении теплопроводов с другими инженерными коммуникациями и сооружениями необходимо учитывать расстояния по вертикали и горизонтали согласно [1. Прил. Б].

Заглубление тепловых сетей от поверхности земли или дорожного покрытия должно приниматься не менее:

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

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



## 1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ НА ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЮ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Максимальные тепловые потоки на отопление  $Q_{o\max}$ , вентиляцию  $Q_{v\max}$  и горячее водоснабжение  $Q_{h\max}$  жилых, общественных и производственных зданий следует принимать при проектировании тепловых сетей по соответствующим проектам. Тепловые потоки при отсутствии проектов отопления, вентиляции и горячего водоснабжения определяются:

- для предприятий – по укрупненным ведомственным нормам, утвержденным в установленном порядке, либо по проектам аналогичных предприятий;
- для жилых районов городов и других населенных пунктов – по формулам:
  - а) максимальный тепловой поток, Вт, на отопление жилых и общественных зданий

$$Q_{o\max} = q_0 A (1 + K_1); \quad (1.1)$$

- б) максимальный тепловой поток, Вт, на вентиляцию общественных зданий

$$Q_v^{общ} = q_0 K_1 K_2 A; \quad (1.2)$$

- в) средний тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий

$$Q_{hm} = \frac{1,2m(a+b)(55-t_c)}{24 \cdot 3,6} c \quad (1.3)$$

или

$$Q_{hm} = q_h m; \quad (1.4)$$

- г) максимальный тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий

$$Q_{h\max} = 2,4 q_h m, \quad (1.5)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий; при отсутствии данных  $K_1$  следует прини

мать равным 0,25;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию общественных зданий; при отсутствии данных  $K_2$  следует принимать равным: для общественных зданий, построенных до 1985 г., 0,4, после 1985 г. – 0,6.

Среднечасовой тепловой поток на отопление за отопительный период  $Q_o^{om}$ , Вт, следует определять по формуле

$$Q_o^{om} = Q_{o \max} \left( \frac{t_i - t_{от}}{t_i - t_o} \right). \quad (1.6)$$

Среднечасовой тепловой поток на вентиляцию за отопительный период  $Q_v^{om}$ , Вт, следует определять по формуле

$$Q_v^{om} = Q_{v \max} \left( \frac{t_i - t_{от}}{t_i - t_o} \right). \quad (1.7)$$

Среднечасовой тепловой поток на горячее водоснабжение  $Q_{hm}^s$ , Вт, жилого района в неотапливаемый период определяют по формуле

$$Q_{hm}^s = \beta Q_{hm} \left( \frac{55 - t_c^s}{55 - t_c} \right). \quad (1.8)$$

Тепловые потоки на отопление и вентиляцию зданий при известных наружных строительных объемах  $V_{зд}$ , м<sup>3</sup>, и удельных отопительных  $q_{от}$ , Вт/(м<sup>3</sup> · К) и вентиляционных  $q_{вент}$ , Вт/(м<sup>3</sup> · К), характеристиках могут быть определены по формулам

$$Q_{омакс} = q_{от} V_{зд} (t_i - t_o) a; \quad (1.9)$$

$$Q_{v \max} = q_{вент} V_{зд} (t_i - t_o), \quad (1.10)$$

где  $a$  – поправочный коэффициент к величине  $q_{от}$ , принимаемый по прил. 4.

Среднечасовые  $Q_{hm}$  и максимальные  $Q_{hmax}$  тепловые потоки на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий следует определять по нормам расхода горячей воды в соответствии с требованиями [4. С. 4] по формулам

$$Q_{\text{hm}} = 1,16q_{\text{т}}^{\text{h}}(55 - t_{\text{c}}) + Q^{\text{ht}}; \quad (1.11)$$

$$Q_{\text{hmax}} = 1,16q_{\text{hr}}^{\text{h}}(55 - t_{\text{c}}) + Q^{\text{ht}}. \quad (1.12)$$

Буквенные обозначения расчетных величин, используемые в этом и последующих разделах, приведены в прил. 1. Значения расчетных величин  $q_0$ ,  $q_{\text{h}}$ ,  $q_{\text{от}}$ ,  $q_{\text{вент.}}$ ,  $t_{\text{i}}$  приведены в прил. 2, 3, 4.

### 1.3. ГРАФИКИ ТЕПЛООВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ

Графики теплового потребления часовые, годовые по продолжительности тепловой нагрузки, годовые по месяцам необходимы для решения ряда вопросов централизованного теплоснабжения: определения расходов топлива, выбора оборудования источников теплоты, выбора режима загрузки и графика ремонта этого оборудования, выбора параметров теплоносителя, а также для технико-экономических расчетов при проектировании и эксплуатации системы теплоснабжения. На рис. 2.2 (см. главу Примеры ...) представлены часовые графики расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение в зависимости от температуры наружного воздуха. Для построения часовых графиков расходов теплоты на отопление и вентиляцию достаточно использовать два значения тепловых потоков: максимальные  $Q_{\text{o max}}$  и  $Q_{\text{v max}}$  и определенные при температуре наружного воздуха начала (конца) отопительного периода  $t_{\text{нк}}$ . При определении тепловых потоков на отопление и вентиляцию для любых температур наружного воздуха  $t_{\text{н}}$  используют следующие зависимости:

$$Q_{\text{o}}^{\text{т}} = Q_{\text{o max}} \left( \frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right); \quad (1.13)$$

$$Q_{\text{v}}^{\text{т}} = Q_{\text{v max}} \left( \frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right). \quad (1.14)$$

Среднечасовой тепловой поток на горячее водоснабжение жилого района в неотапительный период определяют по формуле

$$Q_{\text{hm}}^{\text{s}} = \beta Q_{\text{hm}} \left( \frac{55 - t_{\text{c}}^{\text{s}}}{55 - t_{\text{c}}} \right). \quad (1.15)$$

Суммируя ординаты часовых графиков по отдельным видам теплотребления, строят суммарный часовой график расходов теплоты  $Q_{\Sigma}$ , который используют также для построения годового графика по продолжительности тепловой нагрузки. Для такого построения необходимо иметь данные по продолжительности стояния температур наружного воздуха. Пример построения годового графика по продолжительности тепловой нагрузки приведен на с. 54.

Для построения годового графика по месяцам (см. рис. 2.3, с. 55), используя среднемесячные температуры наружного воздуха из [5], определяют по формулам (1.13) и (1.14) тепловые потоки на отопление и вентиляцию для каждого месяца отопительного периода. Суммарный тепловой поток для каждого месяца отопительного периода определяется как сумма тепловых потоков на отопление, вентиляцию и среднечасового теплового потока для данного периода на горячее водоснабжение  $Q_{hm}$ .

Например, для января суммарный тепловой поток  $Q_{\Sigma}^{янв}$  равен

$$Q_{\Sigma}^{янв} = Q_o^{янв} + Q_v^{янв} + Q_{hm}.$$

Для неотапительного периода при  $t_n \geq t_{нк}$  суммарный тепловой поток будет равен среднечасовому тепловому потоку на горячее водоснабжение в данный период  $Q_{hm}^s$ .

## 1.4. РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ

### 1.4.1. Теплоносители и их параметры

Максимальная расчетная температура сетевой воды на выходе из источника теплоты, в тепловых сетях и приемниках теплоты устанавливается на основании технико-экономических расчетов.

Минимальная температура сетевой воды на выходе из источника теплоты и в тепловых сетях при наличии в закрытых системах теплоснабжения нагрузки горячего водоснабжения должна обеспечивать возможность подогрева воды, поступающей на горячее водоснабжение, до нормируемого уровня.

При расчете графиков температур сетевой воды в системах централизованного теплоснабжения температура наружного воздуха начала и конца отопительного периода  $t_{нк}$  согласно [1] принимается при среднесуточной температуре наружного воздуха:

+8 °С в районах с расчетной температурой наружного воздуха для проектирования отопления до –30 °С и усредненной расчетной температурой внутреннего воздуха жилых и общественных отапливаемых зданий 18 °С;

+10 °С в районах с расчетной температурой наружного воздуха для проектирования отопления ниже –30 °С и усредненной расчетной температурой внутреннего воздуха жилых и общественных отапливаемых зданий 20 °С.

Усредненная расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемых производственных зданий принимается 16 °С.

При отсутствии у приемников теплоты в системах отопления и вентиляции автоматических индивидуальных устройств регулирования температуры внутри помещений в водяных тепловых сетях может применяться следующее регулирование температуры теплоносителя:

1. Центральное качественное по нагрузке отопления или по совместной нагрузке отопления, вентиляции и горячего водоснабжения – путем изменения на источнике теплоты температуры теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха;

2. Центральное качественно-количественное по совместной нагрузке отопления, вентиляции и горячего водоснабжения – путем регулирования на источнике теплоты как температуры, так и расхода сетевой воды.

Центральное качественно-количественное регулирование на источнике теплоты может быть дополнено групповым количественным регулированием на тепловых пунктах преимущественно в переходный период отопительного сезона.

При центральном качественно-количественном регулировании отпуска теплоты для подогрева воды в системах горячего водоснабжения потребителей температура воды в подающем трубопроводе должна быть:

для закрытых систем теплоснабжения – не менее 70 °С;

для открытых систем теплоснабжения – не менее 60 °С.

В системах теплоснабжения, при наличии у потребителя теплоты в системах отопления и вентиляции индивидуальных устройств регулирования температуры воздуха внутри помещений количеством протекающей через приемники сетевой воды, следует применять центральное качественно-количественное регулирование, дополненное групповым количественным регулированием на тепловых пунктах с целью уменьшения колебаний гидравлических и тепловых режимов в конкретных квартальных (микрорайонных) системах в пределах, обеспечивающих качество и устойчивость теплоснабжения.

В жилых и общественных зданиях при отсутствии у отопительных приборов терморегулирующих клапанов следует предусматривать автоматическое регулирование в тепловых пунктах по температурному

графику для поддержания средней по зданию температуры внутреннего воздуха.

## 1.4.2. Регулирование отпуска теплоты на отопление

### Центральное качественное регулирование

Центральное качественное регулирование по нагрузке отопления принимают в том случае, если тепловая нагрузка на жилищно-коммунальные нужды составляет менее 65 % от суммарной нагрузки района, а также при величине отношения среднечасовой нагрузки на горячее водоснабжение к расчетной нагрузке на отопление  $\mu = Q_{\text{гвм}} / Q_{\text{от max}}$  менее 0,15. При таком способе регулирования для зависимых схем присоединения элеваторных систем отопления температуры сетевой воды  $\tau_{10}$ ,  $\tau_{20}$ ,  $\tau_{30}$  соответственно в подающей и обратной магистралях, а также после элеватора в течение отопительного периода определяют по следующим формулам:

$$\tau_{10} = t_i + \Delta t \left( \frac{t_i - t_{\text{н}}}{t_i - t_o} \right)^{0,8} + (\Delta \tau - 0,5\theta) \left( \frac{t_i - t_{\text{н}}}{t_i - t_o} \right); \quad (1.16)$$

$$\tau_{20} = t_i + \Delta t \left( \frac{t_i - t_{\text{н}}}{t_i - t_o} \right)^{0,8} - 0,5\theta \left( \frac{t_i - t_{\text{н}}}{t_i - t_o} \right); \quad (1.17)$$

$$\tau_{30} = t_i + \Delta t \left( \frac{t_i - t_{\text{н}}}{t_i - t_o} \right)^{0,8} + 0,5\theta \left( \frac{t_i - t_{\text{н}}}{t_i - t_o} \right), \quad (1.18)$$

где  $t_i$  – усредненная расчетная температура внутреннего воздуха;  
 $t_{\text{н}}$  – температура наружного воздуха, °С;  
 $\Delta t$  – расчетный температурный напор нагревательного прибора, °С,  
определяемый по формуле

$$\Delta t = \frac{\tau_3 + \tau_2}{2} - t_i, \quad (1.19)$$

где  $\tau_3$  и  $\tau_2$  – расчетные температуры воды соответственно после элеватора и в обратной магистрали тепловой сети (для жилых районов, как правило,  $\tau_3 = 95$  °С;  $\tau_2 = 70$  °С);

$\Delta \tau$  – расчетный перепад температур сетевой воды в тепловой сети

$$\Delta \tau = \tau_1 - \tau_2; \quad (1.20)$$

$\theta$  – расчетный перепад температур сетевой воды в местной системе отопления

$$\theta = \tau_3 - \tau_2. \quad (1.21)$$

Задаваясь различными значениями температур наружного воздуха  $t_n$ , (обычно  $t_{нк}$ , 0,  $-10$ ,  $t_v$ ,  $t_o$ ), по формулам (1.16), (1.17), (1.18) определяют температуры  $\tau_{1o}$ ,  $\tau_{2o}$ ,  $\tau_{3o}$  и строят отопительный график температур сетевой воды. Для удовлетворения нагрузки горячего водоснабжения температура сетевой воды в подающей магистрали  $\tau_{1o}$  не может быть ниже 70 °С в закрытых системах теплоснабжения. Для этого отопительный график спрямляется на уровне указанной температуры и становится отопительно-бытовым (см. рис. 2.4).

Температура наружного воздуха, соответствующая точке излома графиков температур воды  $t_n^I$ , делит отопительный период на диапазоны с различными режимами регулирования:

- в диапазоне I с интервалом температур наружного воздуха от  $t_{нк}$  до  $t_n^I$  осуществляется групповое или местное регулирование, задачей которого является недопущение "перегрева" систем отопления и бесполезных потерь теплоты;
- в диапазонах II и III с интервалом температур наружного воздуха от  $t_n^I$  до  $t_o$  осуществляется центральное качественное регулирование.

### 1.4.3. Центральное качественное регулирование по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения

В системах теплоснабжения с преобладающей (более 65 %) жилищно-коммунальной нагрузкой следует принимать регулирование по совместной

нагрузке отопления и горячего водоснабжения, то есть по повышенному (скорректированному) графику температур воды. Применение данного метода регулирования позволяет определять диаметры трубопроводов тепловых сетей по суммарному расходу сетевой воды на отопление и вентиляцию без учета расхода воды на горячее водоснабжение. Однако для удовлетворения нагрузки горячего водоснабжения температура воды в подающем трубопроводе должна быть выше, чем по отопительному графику. Некоторая недоподача теплоты в системы отопления в часы максимального водоразбора компенсируется в ночное время при отсутствии водоразбора на горячее водоснабжение. При этом строительные конструкции зданий служат аккумуляторами теплоты, выравнивающими неравномерность подачи теплоты на отопление. В **закрытых** системах теплоснабжения эффективность повышенного графика реализуется при применении двухступенчатой смешанной с ограничением расхода и последовательной схем включения водоподогревателей. Расчет повышенного графика для таких систем заключается в определении перепадов температур сетевой воды  $\delta_1$  и  $\delta_2$  соответственно в водоподогревателях верхней и нижней ступеней при различных температурах наружного воздуха и **балансовой** нагрузке горячего водоснабжения  $Q_{\text{hm}}^{\circ}$  :

$$Q_{\text{hm}}^{\circ} = 1,2Q_{\text{hm}} . \quad (1.22)$$

Суммарный перепад температур сетевой воды в верхней и нижней ступенях водоподогревателей  $\delta$  в течение всего отопительного периода постоянен и определяется по формуле

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{Q_{\text{hm}}^{\circ}}{Q_{\text{o max}}} (\tau_1 - \tau_2) . \quad (1.23)$$

Перепад температуры сетевой воды в нижней ступени водоподогревателя  $\delta_2^I$ , соответствующий температуре наружного воздуха для точки излома температурного графика  $t_h^I$ , а также для всего диапазона температур наружного воздуха от  $t_{\text{нк}}$  до  $t_h^I$  определяют по формуле

$$\delta_2^I = \delta \frac{(t_h^I - t_c)}{(t_h - t_c)} , \quad (1.24)$$



для диапазона от  $t_h^I$  до  $t_o$  величину  $\delta_2$  определяют по формуле

$$\delta_2 = \delta_2^I \frac{(\tau_{2o} - t_c)}{(\tau_{2o}^I - t_c)}, \quad (1.25)$$

где  $t_h$  – температура горячей воды, поступающей из водоподогревателя в систему горячего водоснабжения, °С;

$t_c$  – температура холодной водопроводной воды перед водоподогревателем нижней ступени, °С;

$t_h^I$  – температура водопроводной воды после водоподогревателя нижней ступени, °С, определяемая по формуле

$$t_h^I = \tau_{2o}^I - \Delta t, \quad (1.26)$$

где  $\tau_{2o}^I$  – температура сетевой воды в обратной магистрали, соответствующая точке излома температурного графика, °С;

$\tau_{2o}$  – температура сетевой воды в обратной магистрали, принимаемая по отопительному графику в соответствии с заданной температурой наружного воздуха  $t_{н}$ , °С;

$\Delta t$  – величина недогрева, принимаемая 5–10 °С.

Температуру сетевой воды по повышенному графику в обратной магистрали  $\tau_{2п}$  определяют по формуле

$$\tau_{2п} = \tau_{2o} - \delta_2. \quad (1.27)$$

Перепад температур сетевой воды в верхней ступени водоподогревателя  $\delta_1$  определяют по формуле

$$\delta_1 = \delta - \delta_2. \quad (1.28)$$

Температуру сетевой воды в подающей магистрали  $\tau_{1п}$  определяют по формуле

$$\tau_{1п} = \tau_{1o} + \delta_1. \quad (1.29)$$

Для построения повышенного графика отпуска теплоты по совместной нагрузке на отопление и горячее водоснабжение для **открытых** систем теплоснабжения необходимо вначале построить

графики температур  $\tau_{1o}$ ,  $\tau_{2o}$ ,  $\tau_{3o}$  для зависимых элеваторных схем присоединения систем отопления (см. формулы (1.16), (1.17), (1.18)).

Температуры сетевой воды в подающей и обратной магистралях для повышенного графика, соответственно  $\tau_{1п}$  и  $\tau_{2п}$ , в течение отопительного периода определяют по следующим формулам:

$$\tau_{1п} = t_i + \frac{\bar{Q}_o}{\bar{G}_o} \left( \Delta\tau + \Delta t \frac{\bar{G}_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} - 0,5\theta \right); \quad (1.30)$$

$$\tau_{2п} = t_i + \frac{\bar{Q}_o}{\bar{G}_o} \left( \Delta t \frac{\bar{G}_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} - 0,5\theta \right), \quad (1.31)$$

где  $\bar{Q}_o$  – относительный расход теплоты на отопление, определяемый по формуле

$$\bar{Q}_o = \frac{Q_o}{Q_{o\max}} = \frac{(t_i - t_h)}{(t_i - t_o)}; \quad (1.32)$$

$\bar{G}_o$  – относительный расход сетевой воды на отопление, определяемый по формуле

$$\bar{G}_o = \frac{1 - 0,5\rho^\delta \frac{\theta}{t_h - t_c}}{1 + \frac{t_h - t_i}{t_h - t_c} \frac{\rho^\delta}{\bar{Q}_o} - \frac{\Delta t}{t_h - t_c} \frac{\rho^\delta}{\bar{Q}_o^{0,2}}}, \quad (1.33)$$

где  $\rho^\delta = \frac{1,1Q_{hm}}{Q_{o\max}}$ . (1.34)

Регулирование по повышенному графику в открытых системах осуществляется в диапазоне температур наружного воздуха от  $t_{нк}$  до  $t_n^*$ . Температура наружного воздуха  $t_n^*$  соответствует началу периода, когда температура сетевой воды в обратном трубопроводе достигает значений  $t_h$  и весь водоразбор на горячее водоснабжение в диапазоне наружных температур от  $t_n^*$  до  $t_o$  осуществляется только из обратного трубопровода.

#### 1.4.4. Регулирование отпуска теплоты на вентиляцию

По характеру изменения температуры наружного воздуха и расхода теплоты на вентиляцию отопительный период делится на три диапазона. В диапазоне I (от  $t_{нк}$  до  $t_h^I$ ) при переменной тепловой вентиляционной нагрузке температура воды в подающем трубопроводе постоянна. В этом диапазоне осуществляется местное количественное регулирование изменением расхода сетевой воды.

В диапазоне II (от  $t_h^I$  до  $t_v$ ) по мере увеличения вентиляционной нагрузки возрастает и температура сетевой воды. В этом диапазоне для систем вентиляции осуществляется центральное качественное регулирование.

В диапазоне III (от  $t_v$  до  $t_0$ ) возрастает температура сетевой воды и тепловая нагрузка для систем вентиляции без рециркуляции воздуха. Для этих систем в III диапазоне осуществляется центральное качественное регулирование. Для систем с рециркуляцией в диапазоне III осуществляется местное количественное регулирование изменением расхода сетевой воды и соотношением количества наружного и рециркуляционного воздуха перед калориферами.

При построении графиков температур сетевой воды для систем вентиляции основной задачей является определение температуры сетевой воды в обратном трубопроводе после калориферов  $\tau_{2v}$  для различных диапазонов отопительного периода. Для решения этой задачи используют следующие уравнения:

для диапазона I (от  $t_{нк}$  до  $t_h^I$ )

$$\frac{\Delta t_k}{\Delta t_k^I} \left( \frac{\tau_1^I - \tau_{2v}^I}{\tau_1 - \tau_{2v}} \right)^{0,15} = \left( \frac{t_i - t_h}{t_i - t_h^I} \right)^{0,85} \quad (1.35)$$

для диапазона II (от  $t_h^I$  до  $t_v$ )

$$\tau_{2v} = \tau_1 - (\tau_{1v}^p - \tau_{2v}^p) \left( \frac{t_i - t_h}{t_i - t_h^I} \right); \quad (1.36)$$

для диапазона III (от  $t_v$  до  $t_0$ )

$$\frac{\Delta t_{\kappa}}{\Delta t_{\kappa}^p} \left( \frac{\tau_{1v}^p - \tau_{2v}^p}{\tau_1 - \tau_{2v}} \right)^{0,15} = 1, \quad (1.37)$$

где  $\Delta t_{\kappa}$  – температурный напор в калорифере, определяемый при температуре  $t_{\text{н}}$  ( $\Delta t_{\kappa}'$  – то же при температуре  $t_{\text{н}}^I$ )

$$\Delta t_{\kappa} = 0,5(\tau_1 + \tau_{2v}) - 0,5(t_{\text{н}} + t_i); \quad (1.38)$$

$\Delta t_{\kappa}^p$  – расчетный температурный напор в калорифере, определенный при температуре наружного воздуха, расчетной для систем вентиляции  $t_v$ :

$$\Delta t_{\kappa}^p = 0,5(\tau_{1v}^p + \tau_{2v}^p) - 0,5(t_v + t_i), \quad (1.39)$$

$\tau_1, \tau_{2v}$  – значения температур сетевой воды соответственно в подающем трубопроводе перед калориферами и в обратном трубопроводе после калориферов при заданной температуре наружного воздуха  $t_{\text{н}}$ ;

$\tau_1^I, \tau_{2v}^I$  – то же, но для точки излома температурного графика  $t_{\text{н}}$ ;

$\tau_{1v}^p, \tau_{2v}^p$  – то же, но при расчетной температуре наружного воздуха для вентиляции  $t_v$ .

Неизвестные значения температуры обратной воды после калориферов  $\tau_{2v}$  для I и III диапазонов определяют по формулам (1.35) и (1.37) методом последовательных приближений. Расчет температур сетевой воды для отопительных и повышенных графиков регулирования может быть выполнен с использованием таблиц и номограмм, приведенных в [8, 9]. Расчет повышенных графиков регулирования для закрытых и открытых систем теплоснабжения может быть также выполнен на ЭВМ с использованием расчетных программ “RTGO” и “RTGS”, находящихся в папке Programm\Терло\Gidravl\ сервера кафедры ТГВ. На рис 2.4 и 2.5 (см. главу Примеры...) приведены повышенные графики соответственно для закрытых и открытых систем теплоснабжения.

## 1.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ СЕТЕВОЙ ВОДЫ

Расчетный расход сетевой воды, кг/ч, для определения диаметров труб в водяных тепловых сетях при качественном регулировании отпуска

теплоты согласно [1, 6] следует определять отдельно для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения по формулам:

а) на отопление

$$G_{o\max} = \frac{3,6Q_{o\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)}; \quad (1.40)$$

б) на вентиляцию

$$G_{v\max} = \frac{3,6Q_{v\max}}{c(\tau_1 - \tau_2)}; \quad (1.41)$$

в) на горячее водоснабжение в открытых системах теплоснабжения: среднечасовой

$$G_{1hm} = \frac{3,6Q_{hm}}{c(t_h - t_c)}; \quad (1.42)$$

максимальный

$$G_{1h\max} = \frac{3,6Q_{h\max}}{c(t_h - t_c)}; \quad (1.43)$$

г) на горячее водоснабжение в закрытых системах теплоснабжения: среднечасовой, при параллельной схеме присоединения водоподогревателей

$$G_{2hm} = \frac{3,6Q_{hm}}{c(\tau_1' - \tau_3')}; \quad (1.44)$$

максимальный, при параллельной схеме присоединения водоподогревателей

$$G_{2h\max} = \frac{3,6Q_{h\max}}{c(\tau_1' - \tau_3')}; \quad (1.45)$$

среднечасовой, при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей

$$G_{3hm} = \frac{3,6Q_{hm}}{c(\tau_1' - \tau_2')} \left( \frac{55 - t_h'}{55 - t_c} + 0,2 \right); \quad (1.46)$$

максимальный, при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей

$$G_{3h\max} = \frac{3,6 \cdot 0,55 Q_{h\max}}{c(\tau_1' - \tau_2')} \quad (1.47)$$

В формулах (1.40) – (1.47) расчетные тепловые потоки приведены в ваттах, теплоёмкость  $c$  принимается равной 4,198 кДж/(кг · °С).

Суммарные расчетные расходы сетевой воды, кг/ч, в двухтрубных тепловых сетях в открытых и закрытых системах теплоснабжения при качественном регулировании отпуска теплоты следует определять по формуле

$$G_d = G_{o\max} + G_{v\max} + k_3 G_{hm} \quad (1.48)$$

Коэффициент  $k_3$ , учитывающий долю среднечасового расхода воды на горячее водоснабжение при регулировании по нагрузке отопления, следует принимать по табл. 1.1.

При регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения коэффициент  $k_3$  принимается равным нулю.

Т а б л и ц а 1.1

Значения коэффициента $k_3$	
Система теплоснабжения	Значение коэффициента $k_3$
Открытая с тепловым потоком 100 и более МВт	0,6
менее 100 МВт	0,8
Закрытая с тепловым потоком 100 и более МВт	1,0
менее 100 МВт	1,2

Примечание. Для закрытых систем теплоснабжения при регулировании по нагрузке отопления и тепловом потоке менее 100 МВт при наличии баков-аккумуляторов у потребителей коэффициент  $k_3$  следует принимать равным 1.

Для потребителей при соотношении нагрузок  $Q_{h\max} / Q_{o\max} > 1$  при отсутствии баков-аккумуляторов, а также с суммарным тепловым потоком 10 МВт и менее суммарный расчетный расход воды следует определять по формуле

$$G_d = G_{o\max} + G_{v\max} + G_{h\max} \quad (1.49)$$

Расчетный расход воды  $G_d^s$ , кг/ч, в открытых двухтрубных водяных тепловых сетях в неотапительный период, равный максимальному расходу

воды на горячее водоснабжение в указанный период  $G_{h\max}^s$ , следует определять по формуле

$$G_d^s = G_{h\max}^s = \beta G_{h\max}. \quad (1.50)$$

Максимальный расход воды на горячее водоснабжение, кг/ч, для открытых систем теплоснабжения может определяться также по формуле (1.43) при температуре холодной воды в неотапительный период.

Максимальный расход воды на горячее водоснабжение для закрытых систем при всех схемах присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения в неотапительный период определяется по формуле (1.45).

Расход воды в обратном трубопроводе двухтрубных водяных тепловых сетей открытых систем теплоснабжения принимается в размере 10 % от расчетного расхода воды, определенного по формуле (1.43). Расчетный расход воды для определения диаметров подающих и циркуляционных трубопроводов систем горячего водоснабжения следует определять в соответствии с [4].

## 1.6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Основной задачей гидравлического расчета является определение диаметров трубопроводов, а также потерь давления на участках тепловых сетей.

По результатам гидравлических расчетов разрабатывают гидравлические режимы систем теплоснабжения, подбирают сетевые и подпиточные насосы, авторегуляторы, дроссельные устройства, оборудование тепловых пунктов.

При движении теплоносителя по трубам полные потери давления  $\Delta P$  складываются из потерь давления на трение  $\Delta P_{\text{т}}$  и потерь давления в местных сопротивлениях  $\Delta P_{\text{м}}$ :

$$\Delta P = \Delta P_{\text{т}} + \Delta P_{\text{м}}. \quad (1.51)$$

Потери давления на трение  $\Delta P_{\text{т}}$  определяют по формуле

$$\Delta P_{\text{т}} = RL, \quad (1.52)$$

где  $R$  – удельные потери давления, Па/м, определяемые по формуле

$$R = \frac{\lambda}{d} \frac{\rho \omega^2}{2}, \quad (1.53)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения;  
 $d$  – внутренний диаметр трубопровода, м;  
 $\rho$  – плотность теплоносителя, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\omega$  – скорость движения теплоносителя, м/с;  
 $L$  – длина трубопровода, м.

Потери давления в местных сопротивлениях  $\Delta P_m$  определяют по формуле

$$\Delta P_m = \sum \xi \frac{\rho \omega^2}{2}, \quad (1.54)$$

где  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Потери давления в местных сопротивлениях могут быть также определены по следующей формуле

$$\Delta P_m = R L_3, \quad (1.55)$$

где  $L_3$  – эквивалентная длина местных сопротивлений, которую определяют по формуле

$$L_3 = \sum \xi \frac{d}{\lambda}. \quad (1.56)$$

Перед выполнением гидравлического расчета разрабатывают расчетную схему тепловых сетей. На ней проставляют номера участков (сначала по главной магистрали, а потом по ответвлениям), расходы теплоносителя (кг/с или т/ч), длины участков в м. Здесь главной магистралью является наиболее протяженная и нагруженная ветвь сети от источника теплоты (точки подключения) до наиболее удаленного потребителя. При известном располагаемом давлении  $\Delta P_p$  для всей сети, а также для ответвлений предварительно определяют ориентировочные средние удельные потери давления  $R_m$ , Па/м:

$$R_m = \frac{\Delta P_p}{\sum L(1 + \alpha)}, \quad (1.57)$$

где  $\sum L$  – суммарная протяженность расчетной ветви (ответвления), на потери давления в которой используется величина  $\Delta P_p$ ;  
 $\alpha$  – коэффициент, учитывающий долю потерь давления в местных сопротивлениях и принимаемый по прил. 6.



Гидравлический расчет выполняют по таблицам и номограммам, представленным в [7, 8, 9], а также по номограммам прил. 6. Сначала выполняют расчет главной магистрали. По известным расходам, ориентируясь на рекомендованные величины удельных потерь давления  $R$ , определяют диаметры трубопроводов  $d_n \times S$ , фактические удельные потери давления  $R$ , Па/м, а также скорость движения теплоносителя  $\omega$ , м/с. Условный проход труб независимо от расчетного расхода теплоносителя должен приниматься в тепловых сетях не менее 32 мм. Скорость движения воды не должна быть более 3,5 м/с. Определив диаметры трубопроводов, находят количество компенсаторов на участках и другие виды местных сопротивлений. Потери давления в местных сопротивлениях определяют по формуле (1.54) либо по формуле (1.55). Затем определяют полные потери давления на участках главной магистрали и суммарные по всей ее длине. Далее выполняют гидравлический расчет ответвлений, увязывая потери давления в них с соответствующими частями главной магистрали (от точки деления потоков до конечных потребителей). Увязку потерь давления следует выполнять подбором диаметров трубопроводов ответвлений. Невязка не должна быть более 10 %. Если такая увязка невозможна, то излишний напор на ответвлениях должен быть погашен соплами элеваторов, дроссельными диафрагмами и авторегуляторами потребителей.

Таблицы и номограммы гидравлического расчета, приведенные в [7, 8, 9], составлены для эквивалентной шероховатости труб  $K_s = 0,5$  мм. При расчете трубопроводов с другой шероховатостью к значениям удельных потерь давления  $R$  следует принимать поправочный коэффициент  $\beta$  (см. [8. Табл. 4.14]). Диаметры подающего и обратного трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при совместной подаче теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение должны приниматься, как правило, одинаковыми.

При неизвестном располагаемом перепаде давления в начале теплотрассы удельные потери давления  $R$  в магистральных тепловых сетях могут быть приняты согласно рекомендациям [9]:

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

## 1.7. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Для водяных тепловых сетей могут разрабатываться следующие гидравлические режимы:

**расчетный** – по расчетным расходам сетевой воды;

**зимний** – при максимальном отборе воды на горячее водоснабжение из обратного трубопровода;

**переходный** – при максимальном отборе воды на горячее водоснабжение из подающего трубопровода;

**летний** – при максимальной нагрузке горячего водоснабжения в неотапительный период;

**статический** – при отсутствии циркуляции теплоносителя в тепловой сети;

**аварийный.**

Эквивалентную шероховатость внутренней поверхности новых стальных труб для водяных тепловых сетей  $k_s$  следует принимать равной 0,0005 м;

Гидравлические режимы водяных тепловых сетей (пьезометрические графики) следует разрабатывать для отопительного и неотапительного периодов.

Пьезометрический график позволяет: определить напоры в подающем и обратном трубопроводах, а также располагаемый напор в любой точке тепловой сети; с учетом рельефа местности, располагаемого напора и высоты зданий выбрать схемы присоединения потребителей; подобрать авторегуляторы, сопла элеваторов, дроссельные устройства для местных систем теплоснабжения; подобрать сетевые и подпиточные насосы.

Пьезометрические графики строятся для магистральных и квартальных тепловых сетей. Для магистральных тепловых сетей могут быть приняты масштабы: горизонтальный  $M_r$  1:10 000, вертикальный  $M_v$  1:1 000; для квартальных тепловых сетей:  $M_r$  1:1 000,  $M_v$  1:500.

Пьезометрические графики строятся для гидростатического и гидродинамического режимов системы теплоснабжения. За начало координат в магистральных сетях принимают местоположение ТЭЦ. В принятых масштабах строят профиль трассы и высоты присоединенных потребителей (приняв 9–10-этажную застройку). За нулевую отметку оси ординат (оси напоров) принимают обычно отметку низшей точки теплотрассы или отметку сетевых насосов. Строят линию статического напора, величина которого должна быть выше местных систем теплоснабжения не менее чем на 5 м, обеспечивая их защиту от «оголения», и в то же время должна быть менее на 10 м (или более) величины максимального рабочего напора для местных систем.

Величина максимального рабочего напора местных систем теплоснабжения составляет: для систем отопления со стальными нагревательными приборами и для калориферов – 80 м; для систем

отопления с чугунными радиаторами – 60 м; для независимых схем присоединения с поверхностными теплообменниками – 100 м.

Гидростатический напор в системах теплоснабжения при теплоносителе воде должен определяться для температуры сетевой воды, равной 100 °С.

Затем приступают к построению графиков напоров для гидродинамического режима. На оси ординат откладывают требуемый напор у всасывающих патрубков сетевых насосов (30–35 м) в зависимости от марки насоса. Давление и температура воды на всасывающих патрубках сетевых, подпиточных, подкачивающих и смесительных насосов не должны быть ниже давления кавитации и не должны превышать допусковых значений по условиям прочности конструкций насосов.

Далее, используя результаты гидравлического расчета, строят линию потерь напора обратной магистрали. Величина напоров в обратной магистрали должна соответствовать требованиям, указанным выше при построении линии статического напора. Напор воды в обратных трубопроводах водяных тепловых сетей при гидродинамическом режиме должен быть избыточным (не менее 5 м), быть выше местных систем теплоснабжения не менее чем на 5 м, обеспечивая их защиту от «оголения», и в то же время должен быть меньше на 10 м (или более) величины максимального рабочего напора для местных систем теплоснабжения. Далее строится линия располагаемого напора для системы теплоснабжения расчетного квартала, величина которого может быть принята 40–50 м.

Затем строится линия потерь напора подающего трубопровода, а также линия потерь напора в коммуникациях источника теплоты (ТЭЦ). При отсутствии данных потери напора в коммуникациях ТЭЦ могут быть приняты равными 25–30 м. Напор во всех точках подающего трубопровода, исходя из условия его механической прочности, не должен превышать 160 м.

Следует также учитывать, что напор в подающих трубопроводах водяных тепловых сетей при работе сетевых насосов должен обеспечить «невскипание» воды при ее максимальной температуре.

Пьезометрический график при изменении напора подпиточного насоса может быть перемещен параллельно себе вверх или вниз, если возникает опасность «оголения» или «раздавливания» местных систем теплоснабжения.

При этом необходимо учитывать, чтобы напор на всасывающем патрубке сетевого насоса не превысил предельного значения для принятой марки насоса как по минимуму, так и по максимуму (прил. 19). Под пьезометрическим графиком располагают спрямленную однолинейную схему теплотрассы с ответвлениями, указывают номера и длины участков,

диаметры трубопроводов, расходы теплоносителя, располагаемые напоры в узловых точках. На пьезометрическом графике главной магистрали строится график расчетного ответвления.

Пьезометрические графики должны быть построены и для неотапительного периода. В закрытых системах для этого необходимо определить потери напора в подающем и обратном трубопроводах главной магистрали при пропуске максимального расхода сетевой воды на горячее водоснабжение в неотапительный период  $G_{hmax}^s$ . В открытых системах потери напора в подающей магистрали определяют при пропуске расхода, равного  $G_{hmax}^s$ , в обратной магистрали – при пропуске расхода, равного 10 %  $G_{hmax}^s$  (см. Подбор сетевых и подпиточных насосов). Потери напора в коммуникациях источника, а также располагаемый напор перед расчетным кварталом принимают такими же, как и для отопительного периода.

При построении пьезометрического графика для квартальных сетей следует учитывать, что квартальные сети являются продолжением магистральных сетей и линии напоров пьезометрического графика квартальных сетей и при гидростатическом, и при гидродинамическом режимах будут также продолжением соответствующих линий пьезометрического графика магистральных тепловых сетей.

Располагаемый напор в начале квартальных сетей должен быть использован на потери напора в подающей и обратной магистралях квартальных сетей и на потери напора в местных системах теплоснабжения зданий кварталов. При построении пьезометрического графика для квартальных сетей располагаемый напор на вводе в здание (при элеваторном присоединении системы отопления) следует принимать равным расчетным потерям напора на вводе и в местной системе с коэффициентом **1,5**, но не менее 15 м, а при наличии, кроме элеваторной системы отопления, также и закрытой системы горячего водоснабжения – 25 м. Избыточный напор рекомендуется гасить в авторегуляторах тепловых пунктов зданий.

## 1.8. ПОДБОР СЕТЕВЫХ И ПОДПИТОЧНЫХ НАСОСОВ

Напор сетевых насосов  $H_{с.н}$  следует определять для отопительного и неотапительного периодов и принимать равным сумме потерь напора в оборудовании источника теплоты  $\Delta H_{ист}$ , в подающем  $\Delta H_{под}$  и обратном  $\Delta H_{обр}$  трубопроводах магистральных тепловых сетей от источника

теплоты до наиболее удаленного квартала и в системе теплоснабжения квартала  $\Delta H_{\text{кв}}$  (включая потери в тепловых пунктах и насосных) при суммарных расчетных расходах воды по следующей формуле:

$$H_{\text{с.н}} = \Delta H_{\text{ист}} + \Delta H_{\text{под}} + \Delta H_{\text{обр}} + \Delta H_{\text{кв}}. \quad (1.58)$$

Потери напора в коммуникациях источника теплоты при отсутствии более точных данных могут быть приняты равными 25–30 м. Потери напора в квартальной системе теплопотребления следует принимать не менее 40–50 м. Потери напора в подающем и обратном трубопроводах для отопительного периода принимают по результатам гидравлического расчета при пропуске суммарных расчетных расходов воды. Для неотопительного периода потери напора в подающих трубопроводах  $\Delta H_{\text{под}}^{\text{s}}$  могут быть приближенно определены по следующей формуле:

$$\Delta H_{\text{под}}^{\text{s}} = \Delta H_{\text{под}} \left( \frac{G_{\text{h max}}^{\text{s}}}{G_{\text{d}}} \right)^2. \quad (1.59)$$

Потери напора в обратном трубопроводе закрытых систем теплоснабжения в неотопительный период  $\Delta H_{\text{обр}}^{\text{s}}$  принимают равными потерям напора в подающем трубопроводе.

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

$$\Delta H_{\text{обр}}^{\text{s}} = \Delta H_{\text{под}} \left( \frac{0,1 G_{\text{h max}}^{\text{s}}}{G_{\text{d}}} \right), \quad (1.60)$$

где  $G_{\text{d}}$  – суммарный расход сетевой воды на головном участке системы теплоснабжения в отопительный период;

$G_{\text{h max}}^{\text{s}}$  – максимальный расход сетевой воды на горячее водоснабжение в неотопительный период, определяемый по формуле (1.50):

$$G_{\text{d}}^{\text{s}} = G_{\text{h max}}^{\text{s}} = \beta G_{\text{h max}}.$$

Подачу (производительность) рабочих насосов следует принимать:

- а) сетевых насосов для систем теплоснабжения в отопительный период – по суммарному расчетному расходу воды, определяемому по формуле

$$G_d = G_{o_{\max}} + G_{v_{\max}} + k_3 G_{hm}; \quad (1.61)$$

б) сетевых насосов для систем теплоснабжения в неотапительный период – по максимальному расходу воды на горячее водоснабжение в неотапительный период, определяемому по формуле (1.50).

Коэффициент  $k_3$  следует принимать с учетом способа регулирования. Число сетевых насосов следует принимать не менее двух, один из которых резервный; при пяти рабочих сетевых насосах, соединённых параллельно в одной группе, допускается резервный насос не устанавливать.

Напор подпиточных насосов  $H_{п.н}$  (см. формулу (1.62)) должен определяться из условий поддержания в водяных тепловых сетях статического напора  $H_{ст}$  и преодоления потерь напора в подпиточной линии  $\Delta H_{п.л}$ , величина которых, при отсутствии более точных данных, принимается равной 10–20 м.

$$H_{п.н} = H_{ст} + \Delta H_{п.л} \pm z, \quad (1.62)$$

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

Напор подпиточных насосов должен проверяться для условий работы сетевых насосов в отопительный и неотапительный периоды.

Допускается предусматривать установку отдельных групп подпиточных насосов с различными напорами для отопительного, неотапительного периодов и для статического режима.

Подачу подпиточных насосов  $G_{п.н}$  в закрытых системах теплоснабжения следует принимать равной расчетному расходу воды на компенсацию утечки из тепловой сети  $G_{ут}$  (см. формулу (1.63)), а в открытых системах – равной сумме максимального расхода воды на горячее водоснабжение  $G_{h_{\max}}$  и расчетного расхода воды на компенсацию утечки  $G_{ут}$  (см. формулу (1.64)):

$$G_{п.н} = G_{ут}; \quad (1.63)$$

$$G_{п.н} = G_{ут} + G_{h_{\max}}. \quad (1.64)$$

Расчетный расход воды на компенсацию утечки  $G_{ут}$  принимается в размере 0,75 % от объема воды в системе теплоснабжения, аварийный расход на компенсацию утечки принимается в размере 2 % от объема воды в системе теплоснабжения. Объем воды в системе теплоснабжения допускается принимать равным  $65 \text{ м}^3$  на 1 МВт расчетного теплового

потока при закрытой системе теплоснабжения и  $70 \text{ м}^3$  на 1 МВт – при открытой системе теплоснабжения.

Число параллельно включенных подпиточных насосов следует принимать: в закрытых системах теплоснабжения не менее двух, один из которых является резервным; в открытых системах не менее трех, один из которых также является резервным. При подборе насосов следует учитывать ограничения по максимальной температуре воды, по величине допускаемых напоров на всасывающем патрубке насоса. Из условий экономии потребления электроэнергии величина КПД насоса не должна быть менее 90 % от величины его максимального КПД. Примеры подбора насосов приведены на с. 73–74. Данные по насосам, рекомендуемым для использования в системах теплоснабжения, приведены в прил. 19.

### 1.9. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

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

Для теплоизоляционного слоя трубопроводов при бесканальной прокладке следует применять материалы с плотностью не более  $400 \text{ кг/м}^3$  и коэффициентом теплопроводности не более  $0,07 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ .

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

Расчет толщины тепловой изоляции трубопроводов  $\delta_k$  по нормированной плотности теплового потока выполняют по формуле

$$\delta_k = \frac{d(B-1)}{2}, \quad (1.65)$$

где  $d$  – наружный диаметр трубопровода, м;

$B$  – отношение наружного диаметра изоляционного слоя  $d_i$  к диамет-

ру трубопровода  $d$  ( $B = d_i / d$ ).

Величину  $B$  определяют по формуле

$$B = e^{2\pi\lambda_k R_k}, \quad (1.66)$$

где  $e$  – основание натурального логарифма;

$\lambda_k$  – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя, Вт/(м · °С), определяемый по прил. 9, 10;

$R_k$  – термическое сопротивление слоя изоляции, м · °С/Вт, величину которого определяют по формуле

$$R_k = R_{\text{tot}} - \sum R_i, \quad (1.67)$$

где  $R_{\text{tot}}$  – суммарное термическое сопротивление слоя изоляции и других дополнительных термических сопротивлений на пути теплового потока, определяемое по формуле

$$R_{\text{tot}} = \frac{(t_w - t_e)}{q_e \cdot k_1}. \quad (1.68)$$

Здесь  $q_e$  – нормированная линейная плотность теплового потока, Вт/м, принимаемая по [2], а также по прил. 8;

$t_w$  – средняя за период эксплуатации температура теплоносителя;

$k_1$  – коэффициент, принимаемый по прил. 11;

$t_e$  – среднегодовая температура окружающей среды.

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

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

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

$t_e = 20$  °С; в неотапливаемых техподпольях  $t_e = 5$  °С; при надземной прокладке на открытом воздухе – средняя за период эксплуатации температура окружающего воздуха.

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

При надземной прокладке, а также прокладке в тоннелях и техподпольях



$$\sum R_i = R_{п.с}. \quad (1.69)$$

При подземной канальной прокладке

$$\sum R_i = R_{п.с} + (1 + \psi)(R_{п.к} + R_k + R_{гр}). \quad (1.70)$$

При подземной бесканальной прокладке

$$\sum R_i = R_{гр} + R_o \psi, \quad (1.71)$$

В формулах (1.69), (1.70)  $R_{п.с}$  – термическое сопротивление поверхности изоляционного слоя,  $м \cdot ^\circ C / Вт$ , определяемое по формуле

$$R_{п.с} = \frac{1}{\alpha_e \pi (d + 0,1)}, \quad (1.72)$$

где  $\alpha_e$  – коэффициент теплоотдачи с поверхности тепловой изоляции в окружающий воздух,  $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$  который, согласно [2], принимается:

при прокладке в каналах  $\alpha_e = 8 \text{ Вт}/(м^2 \cdot ^\circ C)$ ;

при прокладке в техподпольях, закрытых помещениях и на открытом воздухе по табл. 1.2;

$d$  – наружный диаметр трубопровода, м.

Таблица 1.2

Значения коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ ,  $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$

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

Примечания:

<sup>1</sup> К ним относятся кожухи из оцинкованной стали, листов алюминиевых сплавов и алюминия с оксидной пленкой.

<sup>2</sup> К ним относятся штукатурки, асбестоцементные покрытия, стеклопластики, различные окраски (кроме краски с алюминиевой пудрой).

<sup>3</sup> При отсутствии сведений о скорости ветра принимают значения, соответствующие скорости 10 м/с.

$R_{п.к}$  – термическое сопротивление поверхности канала, определяемое по формуле

$$R_{п.к} = \frac{1}{\alpha_e \pi d_{в.э}}, \quad (1.73)$$

где  $\alpha_e$  – коэффициент теплоотдачи от воздуха к внутренней поверхности канала,  $\alpha_e = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;

$d_{в.э}$  – внутренний эквивалентный диаметр канала, м, определяемый по формуле

$$d_{в.э} = \frac{4F}{P}, \quad (1.74)$$

где  $F$  – внутреннее сечение канала,  $\text{м}^2$ ;

$P$  – периметр сторон сечения канала по внутренним размерам, м.

$R_k$  – термическое сопротивление стенки канала, определяемое по формуле

$$R_k = \frac{1}{2\pi\lambda_{ст}} \ln \frac{d_{н.э}}{d_{в.э}}, \quad (1.75)$$

где  $\lambda_{ст}$  – теплопроводность стенки канала, для железобетона

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

$d_{н.э}$  – наружный эквивалентный диаметр канала, определяемый по наружным размерам канала, м.

$R_{гр}$  – термическое сопротивление грунта, определяемое по формуле

$$R_{гр} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \left( \frac{2h}{d_{н.э}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_{н.э}^2} - 1} \right), \quad (1.76)$$

где  $\lambda_{гр}$  – коэффициент теплопроводности грунта, зависящий от его

структуры и влажности. При отсутствии данных значение

$\lambda_{гр}$  можно принимать для влажных грунтов  $2,0\text{--}2,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ,

для сухих грунтов  $1,0\text{--}1,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;

$h$  – глубина заложения оси теплопровода от поверхности земли, м.

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

- для подающего трубопровода

$$R_{01} = \psi_1 \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \ln \sqrt{\frac{4h^2}{b^2} + 1}; \quad (1.77)$$

- для обратного трубопровода

$$R_{02} = \psi_2 \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \ln \sqrt{\frac{4h^2}{b^2} + 1}, \quad (1.78)$$

где  $h$  – глубина заложения осей трубопроводов, м;  
 $b$  – расстояние между осями трубопроводов, м, принимаемое в зависимости от их диаметров условного прохода по табл. 1.3;  
 $\psi_1, \psi_2$  – коэффициенты, учитывающие взаимное влияние температурных полей соседних теплопроводов, определяемые по формулам

$$\psi_1 = \frac{q_{e1}}{q_{e2}}; \quad (1.79)$$

$$\psi_2 = \frac{q_{e2}}{q_{e1}}, \quad (1.80)$$

где  $q_{e1}, q_{e2}$  – нормированные линейные плотности тепловых потоков соответственно для подающего и обратного трубопроводов, Вт/м (см. формулу (1.68)).

Т а б л и ц а 1.3

*Расстояние между осями трубопроводов*

Рас- стоя- ние	Диаметр условного прохода труб, мм										
	50– 80	100	125– 150	200	250	300	350	400	450	500	600
$B, \text{ мм}$	350	400	500	550	600	650	700	800	900	1 000	1 300

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

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

Если расчетная толщина теплоизоляционного слоя не совпадает с номенклатурной толщиной выбранного материала, следует принимать по действующей номенклатуре ближайшую более высокую толщину теплоизоляционного материала.

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

Минимальную толщину теплоизоляционного слоя следует принимать:

при изоляции цилиндрами из волокнистых материалов – равной минимальной толщине, предусматриваемой государственными стандартами или техническими условиями;

при изоляции тканями, полотном стекловолокнистым, шнурами – 20 мм;

при изоляции изделиями из волокнистых уплотняющихся материалов – 20 мм;

при изоляции жесткими материалами, изделиями из вспененных полимеров – равной минимальной толщине, предусматриваемой государственными стандартами или техническими условиями.

Предельная толщина теплоизоляционного слоя в конструкциях тепловой изоляции оборудования и трубопроводов приведена в табл. 1.4.

Т а б л и ц а 1.4

*Предельные толщины теплоизоляционных конструкций для оборудования и трубопроводов*

Наружный диаметр, мм	Способ прокладки трубопровода		
	Надземный	В тоннеле	В непроходном канале
	Предельная толщина теплоизоляционного слоя, мм, при температуре, °С		
	20 и более	20 и более	до 150 вкл.
32	140	100	80
45	140	100	80
57	150	120	90
76	160	140	90
89	170	160	100
108	180	160	100
133	200	160	100
159	220	160	120
219	230	180	120

Наружный диаметр, мм	Способ прокладки трубопровода		
	Надземный	В тоннеле	В непроходном канале
	Предельная толщина теплоизоляционного слоя, мм, при температуре, °С		
	20 и более	20 и более	до 150 вкл.
273	230	180	120
325	240	200	120
377	240	200	120
426	250	220	140
476	250	220	140
530	260	220	140
630	280	240	140
720	280	240	140
820	300	240	140
920	300	260	140
1 020 и более	320	260	140

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

Примеры расчетов толщины слоя изоляции при различных способах прокладки тепловых сетей приведены на с. 74–82.

### 1.10. РАСЧЕТ И ПОДБОР КОМПЕНСАТОРОВ

В тепловых сетях в настоящее время наиболее широко применяются сальниковые, П-образные, а в последнее время и сильфонные компенсаторы. Кроме специальных компенсаторов используют для компенсации и естественные углы поворотов теплотрассы – самокомпенсацию. Компенсаторы должны иметь достаточную компенсирующую способность  $\Delta l_k$  для восприятия температурного удлинения участка трубопровода между неподвижными опорами, при этом максимальные напряжения в радиальных компенсаторах не должны превышать допусковых (обычно 110 МПа). Необходимо также определить реакцию компенсатора, используемую при расчетах нагрузок на неподвижные опоры.

Тепловое удлинение расчетного участка трубопровода  $\Delta l$ , мм, определяют по формуле

$$\Delta l = \alpha l \Delta t, \quad (1.81)$$

где  $\alpha$  – средний коэффициент линейного расширения стали, мм/(м · °С)  
(для типовых расчетов можно принять  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-2}$  мм/(м · °С);  
 $\Delta t$  – расчетный перепад температур, определяемый по формуле

$$\Delta t = \tau_1 - t_0, \quad (1.82)$$

где  $\tau_1$  – расчетная температура теплоносителя, °С;  
 $t_0$  – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, °С;  
 $l$  – расстояние между неподвижными опорами, м.

Компенсирующую способность сальниковых компенсаторов, приведенную в табл. 14.1 прил. 14, уменьшают на величину запаса – 50 мм.

Реакция сальникового компенсатора – сила трения в сальниковой набивке  $R_k$  – определяется по формуле

$$R_k = 2P_p l_c d_{н.с} \mu_c \pi, \quad (1.83)$$

где  $P_p$  – рабочее давление теплоносителя, МПа;  
 $l_c$  – длина слоя набивки по оси сальникового компенсатора, мм;  
 $d_{н.с}$  – наружный диаметр патрубка сальникового компенсатора, м;  
 $\mu_c$  – коэффициент трения набивки о металл, принимается равным 0,15.

При подборе П-образных компенсаторов их компенсирующая способность, размеры, а также осевая реакция могут быть определены по прил. 14.

**Осевая реакция сильфонных компенсаторов  $R_{с.к}$**  определяется по формуле

$$R_{с.к} = R_{ж} + R_p, \quad (1.84)$$

где  $R_{ж}$  – осевая реакция, возникающая вследствие жесткости осевого хода, определяется по формуле

$$R_{ж} = C_\lambda \lambda, \quad (1.85)$$

где  $C_\lambda$  – жесткость волны, Н/мм, принимаемая по паспорту компенсатора;

$\lambda$  – амплитуда осевого хода, мм;

$R_p$  – осевая реакция от внутреннего давления, определяемая по формуле

$$R_p = \varphi \frac{\pi}{4} (D_c^2 - d_T^2) P_{изб}, \quad (1.86)$$

где  $\varphi$  – коэффициент, зависящий от геометрических размеров и толщины стенки волны, равный в среднем 0,5–0,6;

$D_c$  и  $d_T$  – соответственно диаметры волн сильфона и трубы, м;

$P_{изб}$  – избыточное давление теплоносителя, Па.

Максимальная длина участка  $L_m$ , на котором устанавливается один сильфонный компенсатор, определяется по формуле

$$L_m = \frac{0,9 \cdot 2\lambda}{\alpha(\tau_1 - t_o)}, \quad (1.87)$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения стали, мм/(м · °С);

$\tau_1$  – максимальная расчетная температура теплоносителя, °С;

$t_o$  – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления обеспеченностью 0,92.

Технические характеристики сильфонных компенсаторов приведены в каталогах заводов-изготовителей. Характеристики сильфонных компенсаторов АООТ «МЕТАЛКОМП» см. в табл. 14.2 прил. 14.

**При расчете самокомпенсации** основной задачей является определение максимального напряжения  $\sigma$  у основания меньшего плеча угла поворота трассы, которое для углов поворотов 90° и более, т.е. 90+ $\beta$ , вычисляют по формуле

$$\sigma = \frac{1,5\Delta l E d}{l^2 \cos \beta} \left( n + 1 + \frac{n + 3}{n + 1} \sin \beta \right), \quad (1.88)$$

где  $\Delta l$  – удлинение меньшего плеча, м;

$l$  – длина меньшего плеча, м;

$E$  – модуль продольной упругости, равный в среднем для стали  $2 \cdot 10^5$  МПа;

$d$  – наружный диаметр трубы, м;

$n = l_1 / l$  – отношение длины большего плеча к длине меньшего.

Для угла поворота  $90^\circ$  формула (1.88) приобретает вид

$$\sigma = \frac{1,5\Delta l E d (n + 1)}{l^2}.$$

При расчетах углов поворота на самокомпенсацию величина максимального напряжения  $\sigma$  не должна превышать  $[\sigma] = 80$  МПа.

При расстановке неподвижных опор на углах поворотов, используемых для самокомпенсации, необходимо учитывать, что сумма длин плеч угла между опорами не должна быть более 60 % от предельного расстояния между неподвижными опорами для прямолинейных участков. Следует учитывать также, что максимальный угол поворота, используемый для самокомпенсации, не должен превышать  $130^\circ$ .

### 1.11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРОВ СПУСКНЫХ УСТРОЙСТВ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Диаметр штуцера и запорной арматуры  $d$ , м, для спуска воды из секционируемого участка трубопровода определяют по формуле

$$d = d_{\text{red}} m n \sqrt[4]{\frac{\sum l}{i_{\text{red}}}}, \quad (1.89)$$

где  $d_{\text{red}}$ ,  $\sum l$ ,  $i_{\text{red}}$  – соответственно приведенный диаметр, м; общая длина, м; приведенный уклон секционируемого участка трубопровода, определяемые по следующим формулам:

$$d_{\text{red}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}; \quad (1.90) \quad i_{\text{red}} = \frac{\sum_{i=1}^n i_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad (1.91)$$

где  $l_i$  – длины отдельных участков трубопровода, м, с диаметрами условного прохода  $d_i$ , м, при уклонах  $i_i$ ;

$m$  – коэффициент расхода арматуры, принимаемый для вентиляей

$m = 0,0144$ , для задвижек  $m = 0,011$ ;

$n$  – коэффициент, зависящий от времени спуска воды  $t$  (см. табл. 1.5).



Т а б л и ц а 1.5

<i>Значения коэффициента <math>n</math></i>					
Время спуска воды $t$ , ч	1	2	3	4	5
Коэффици- ент $n$	1	0,72	0,58	0,5	0,45

Максимальное время спуска воды предусматривается для трубопроводов:

$D_y \leq 300$  мм – не более 2 ч                       $D_y \geq 600$  – не более 5 ч

$D_y = 350-500$  – не более 4 ч

Диаметр спускного устройства для двустороннего дренажа, установленного в нижней точке трубопровода, определяют по формуле

$$d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2}, \quad (1.92)$$

где  $d_1, d_2$  – диаметры спускных устройств, определяемые по формуле (1.89) соответственно для каждой стороны.

Расчетный диаметр штуцера округляют с увеличением до стандартного и сравнивают с приведенными в табл. 1.6 данными.

Т а б л и ц а 1.6

<i>Условный проход штуцера и запорной арматуры для спуска воды</i>							
Условный проход трубопро- вода, мм	65 вкл.	80–125	до 150	200– 250	300– 400	500	600– 700
Условный проход штуцера, мм	25	40	50	80	100	150	200

К установке принимают наибольший из двух сравниваемых диаметров штуцеров и запорной арматуры.

Условный проход штуцера и запорной арматуры для выпуска воздуха из секционированных участков водяных тепловых сетей приведен в табл. 1.7.

Т а б л и ц а 1.7

<i>Условный проход штуцера и запорной арматуры для выпуска воздуха</i>						
Условный проход трубопровода, мм	25–80	100–150	200–300	350–400	500–700	800–1200
Условный проход штуцера, мм	15	20	25	32	40	50

## 1.12. РАСЧЕТ УСИЛИЙ НА ОПОРЫ

Вертикальную нормативную нагрузку на подвижную опору  $F_v$ , Н, следует определять по формуле

$$F_v = G_h L, \quad (1.93)$$

где  $G_h$  – вес одного метра трубопровода в рабочем состоянии, включающий вес трубы, теплоизоляционной конструкции и воды, Н/м;  
 $L$  – пролет между подвижными опорами, м.

Величина  $G_h$  для труб с наружным диаметром  $D_n$  может быть принята по табл. 1.8.

Т а б л и ц а 1.8

*Вес 1 м трубопровода в рабочем состоянии*

$D_n$ , мм	38	45	57	76	89	108	133	159	194	219	273	325
$G_h$ , Н/м	69	81	128	170	215	283	399	513	676	860	1 241	1 670

Окончание т а б л. 1.8

$D_n$ , мм	377	426	480	530	630	720	820	920	1020	1220	1420
$G_h$ , Н/м	2226	2482	3009	3611	4786	6230	7735	9704	11767	16177	22134

Пролеты между подвижными опорами  $L$  в зависимости от диаметров труб и условий прокладки приведены в табл. 1.9, 1.10.

Т а б л и ц а 1.9

*Пролеты между подвижными опорами на бетонных подушках  
при канальной прокладке*

Диаметр трубы, м	32	40	50	70	80	100	125	150	175	200	250	300	350
Пролет, мм	2	2,5	3	3	3,5	4	4,5	5	6	6	7	8	8

Т а б л и ц а 1.10

*Пролеты между подвижными опорами при надземной прокладке,  
а также в тоннелях и техподпольях*

Диаметр трубы, м	32	40	50	70	80	100	125	150	175	200	250	300	350
Пролет, мм	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9	11	12	14

Горизонтальные нормативные осевые нагрузки на подвижные опоры от трения  $F_{hx}$ , Н, определяются по формуле

$$F_{hx} = \mu_x G_h L, \quad (1.94)$$

где  $\mu_x$  – коэффициент трения в опорах, который для скользящих опор при трении стали о сталь принимают равным 0,3 (при использовании фторопластовых прокладок  $\mu_x = 0,1$ ), для катковых и шариковых опор  $\mu_x = 0,1$ .

На неподвижные опоры в общем случае действуют вертикальные и горизонтальные усилия. Вертикальная нагрузка равна весу одного пролета для подвижных опор и определяется по формуле (1.93).

Горизонтальные усилия складываются из неуравновешенных сил внутреннего давления, горизонтальных реакций свободных опор, реакций компенсаторов. Эти усилия, как правило, действуют с обеих сторон от опоры.

Результирующее усилие, действующее на опору, в общем случае может быть представлено в следующем виде:

$$N = a p F_g + \mu G_h \Delta l + \Delta R, \quad (1.95)$$

где  $a$  – коэффициент, зависящий от возможного действия сил внутреннего давления ( $a$  может принимать значения от 0 до 1);

$p$  – внутреннее давление теплоносителя, Па;

$F_g$  – площадь внутреннего сечения трубы, м<sup>2</sup>;

$\mu$  – коэффициент трения на свободных опорах;

$G_h$  – вес погонного метра теплопровода;

$\Delta l$  – разность расстояний от опоры до компенсаторов, м;

$\Delta R$  – разность реакций компенсаторов с обеих сторон опоры.

В каждом случае при определении горизонтального усилия на опору, необходимо учитывать действующие на нее с обеих сторон силы. На рис.1.1 приведены наиболее часто встречаемые схемы участков с неподвижными опорами. Далее даются формулы для определения горизонтальных усилий, действующих на эти опоры.

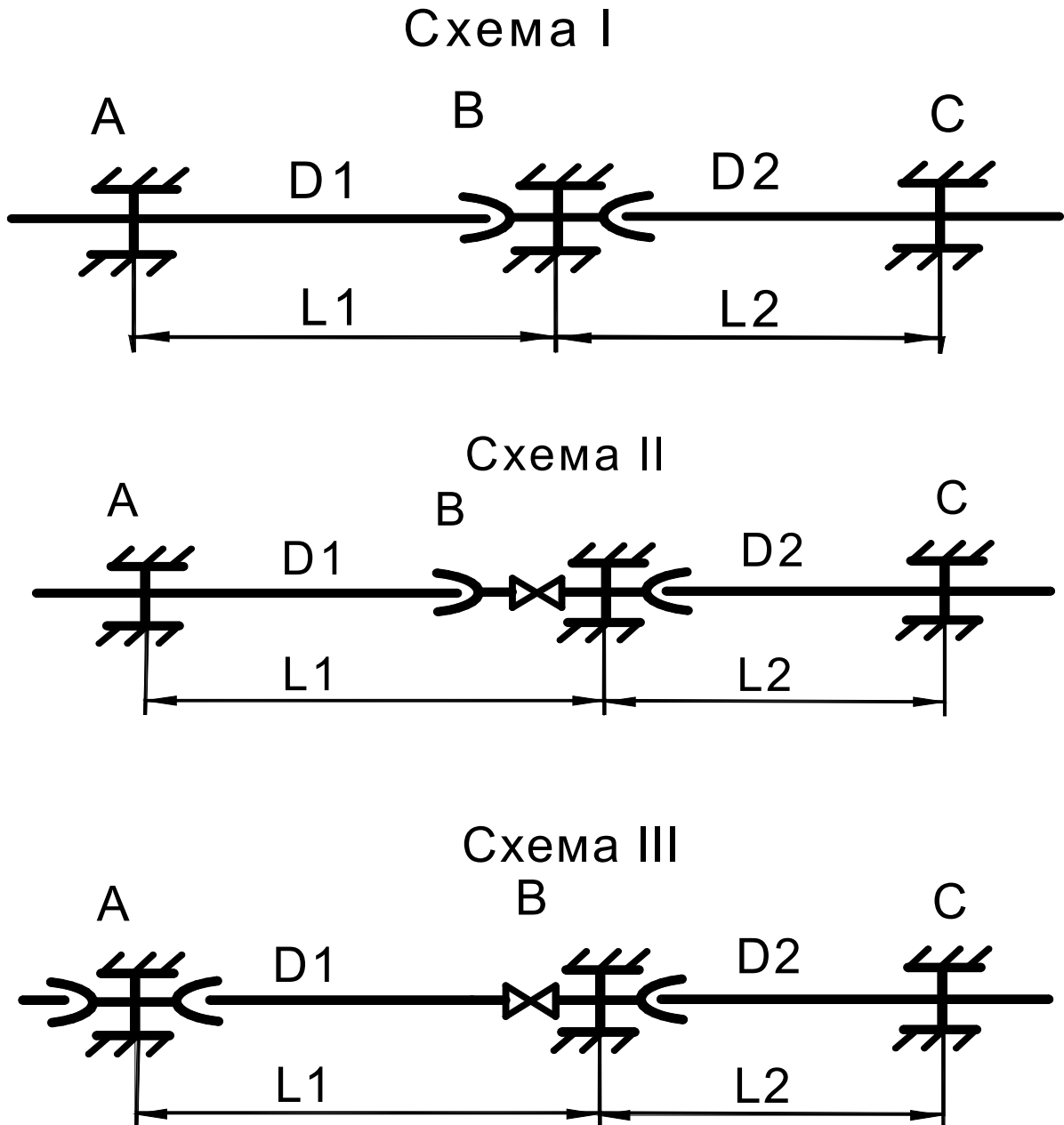


Рис. 1.1. Расчетные схемы для определения горизонтальных усилий на неподвижные опоры

Схема IV

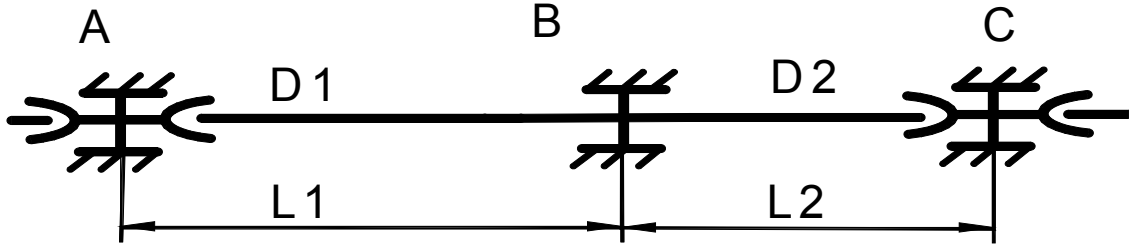


Схема V

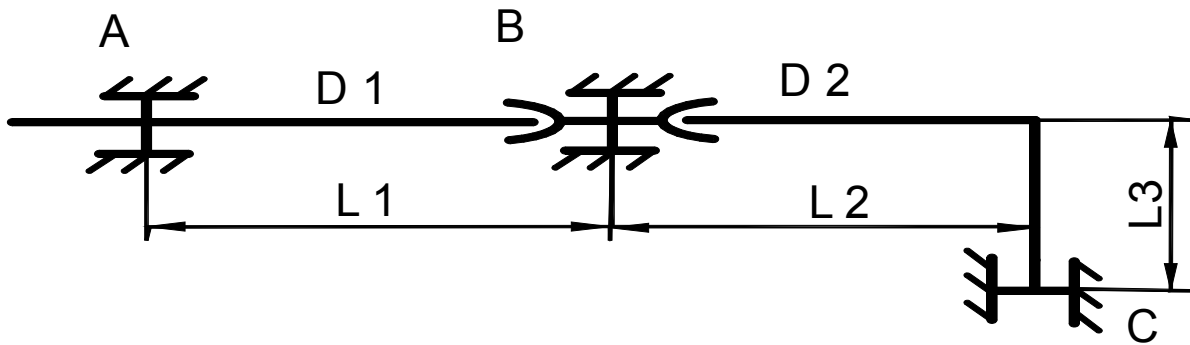


Схема VI

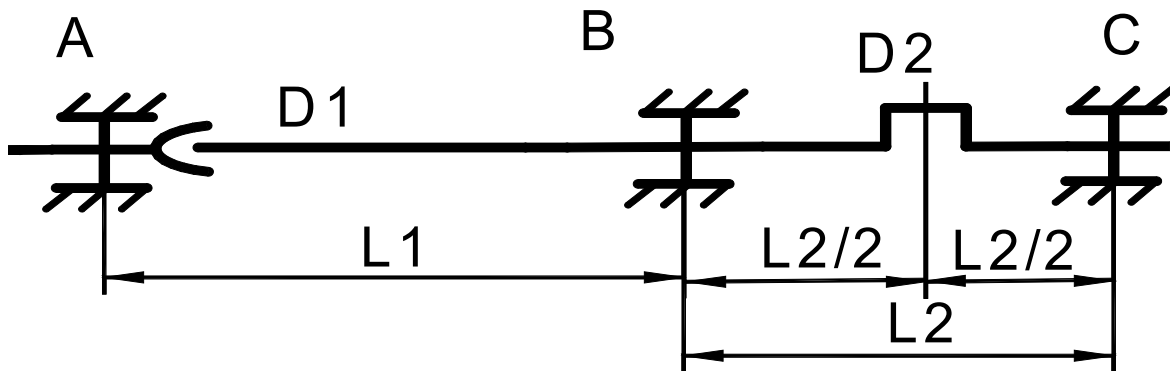


Схема VII

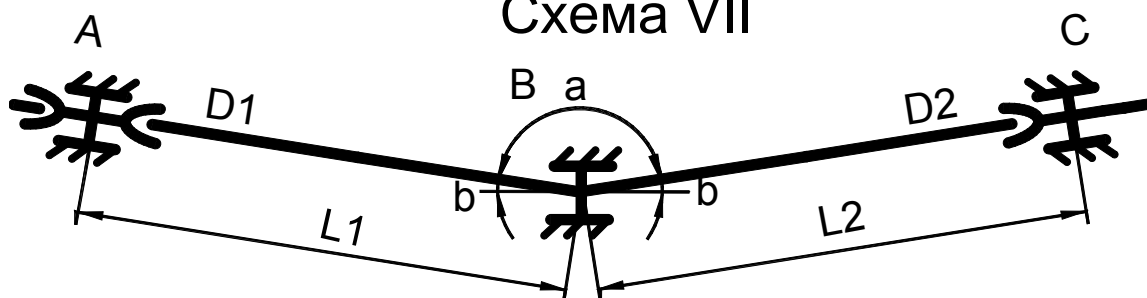


Рис. 1.1. Продолжение

## Условные обозначения:

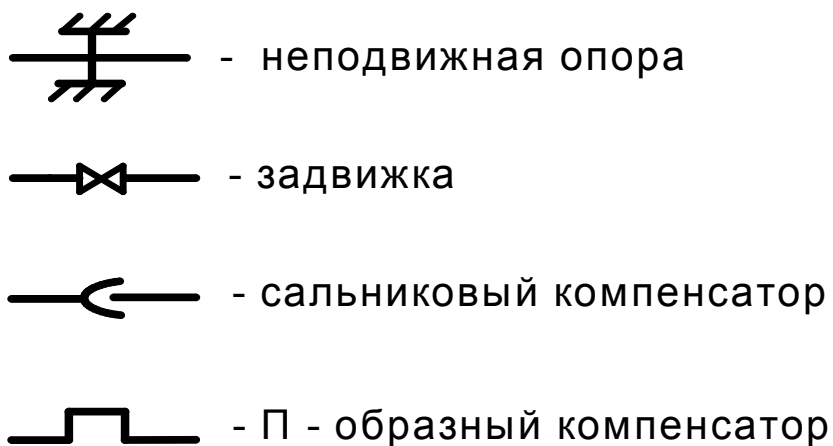


Рис. 1.1. Окончание

Для расчета схемы I применима формула

$$\pm N = \pm 0,5R_k + p \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2). \quad (1.96)$$

Для схемы II

$$N = R_k + p \frac{\pi}{4} D_2^2. \quad (1.97)$$

Для схемы III

$$\pm N = \pm R_k + p \frac{\pi}{4} D_1^2 + ql\mu. \quad (1.98)$$

Для схемы IV

$$\pm N = \pm 0,5R_k + p \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) \pm G_h \mu (l_1 - l_2/2). \quad (1.99)$$

Для схемы V при нагреве

$$N = p \frac{\pi}{4} D_2^2 - R_k - R_x - G_h \mu (l_2 + l_3). \quad (1.100)$$

Для схемы V при охлаждении

$$N = p \frac{\pi}{4} D_2^2 - R_{\text{к}} + R_x + G_h \mu (l_2 + l_3). \quad (1.101)$$

Для схемы VI при нагреве

$$N = p \frac{\pi}{4} D_2^2 + q \mu l_1 - R_{\text{к}} - R_x - G_h \mu l_2 / 2. \quad (1.102)$$

Для схемы VI при охлаждении

$$N = p \frac{\pi}{4} D_2^2 - q \mu l_1 + R_{\text{к}} + R_x + G_h \mu l_2 / 2. \quad (1.103)$$

Для схемы VII

$$N = [\pm 0,5 R_{\text{к}} + p \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) \pm G_h \mu (l_1 - l_2 / 2)] \sin \beta. \quad (1.104)$$

Здесь  $p$  – давление теплоносителя;

$G_h$  – весовая нагрузка на 1 м теплопровода;

$\mu$  – коэффициент трения подвижных опор;

$R_{\text{к}}$  – сила трения сальникового компенсатора;

$R_x$  – сила упругого отпора П-образного компенсатора;

$l_1$  и  $l_2$  – длины большего и меньшего участков;

$D_1$  и  $D_2$  – наружные диаметры труб на смежных участках.

Знаки «+» и «-» соответствуют режимам нагрева или охлаждения.

При определении нормативной горизонтальной нагрузки на неподвижную опору следует учитывать:

1. Неуравновешенные силы внутреннего давления, возникающие при применении компенсаторов различных типов на участках, имеющих запорную арматуру, переходы, углы поворота, заглушки;

2. Силы трения в подвижных опорах и силы трения о грунт при бесканальных прокладках (см. формулу (1.95));

3. Реакции компенсаторов и самокомпенсации.

Горизонтальную осевую нагрузку на неподвижную опору следует определять:

- на концевую опору – как сумму сил, действующих на опору;
- на промежуточную опору – как разность сумм сил, действующих с каждой стороны опоры.

Сила трения теплопровода о грунт  $P_{\text{тр}}$ , Н, при бесканальной прокладке определяется по формуле

$$P_{\text{тр}} = f L, \quad (1.105)$$

где  $L$  – длина участка теплопровода, м;

$f$  – удельная сила трения на единицу длины трубы, Н/м, определяемая по формуле

$$f = \mu(0,75 \gamma Z \pi D \cdot 10^{-3} + q_{\text{трубы}}), \quad (1.106)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения поверхности изоляции о грунт, принимаемый:

при пенополиуретановой изоляции – 0,40;

при полимербетонной изоляции – 0,38;

при армопенобетонной изоляции – 0,60;

$\gamma$  – удельный вес грунта, Н/м<sup>3</sup>, (в среднем  $\gamma = 16\,000$ – $18\,000$  Н/м<sup>3</sup>);

$Z$  – глубина засыпки по отношению к оси трубы, м;

$D$  – наружный диаметр теплопровода при наличии адгезии изоляции к трубе (наружный диаметр трубы при отсутствии адгезии), мм;

$q_{\text{трубы}}$  – вес 1 м трубы с водой, Н/м.

Неподвижные опоры должны рассчитываться на наибольшую горизонтальную нагрузку при различных режимах работы трубопроводов (охлаждение, нагрев), в том числе при открытых и закрытых задвижках. Для расчета усилий, действующих на неподвижные опоры, могут быть использованы также типовые расчетные схемы, приведенные в [9. С. 230–242].

### 1.13. ПОДБОР ЭЛЕВАТОРА

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

$$H_{\text{эл}} = 1,4h(U_p + 1)^2, \quad (1.107)$$

где  $h$  – потери напора в системе отопления, принимаемые 1,0–1,5 м;

$U_p$  – расчетный коэффициент смешения, определяемый по формуле

$$U_p = \frac{\tau_1 - \tau_3}{\tau_3 - \tau_2}. \quad (1.108)$$

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



$$U_p = 1,4.$$

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

$$d_r = 8,54 \sqrt{\frac{G^2 (1 + U_p)^2}{h}} . \quad (1.109)$$

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

$$d_c = 9,6 \sqrt{\frac{G}{\sqrt{H}}} . \quad (1.110)$$

Величина напора  $H$ , гасимого соплом элеватора, не может, во избежание возникновения кавитационных режимов, превышать 40 м.

Для определения диаметра сопла элеватора, его номера, требуемого напора могут быть использованы номограммы, приведенные в [7. С. 312], [8. С. 73–75].

Располагаемый напор на вводе в здание при элеваторном присоединении системы отопления с учетом увеличения в процессе эксплуатации потерь напора за счет загрязнения следует принимать равным сумме расчетных потерь напора в элеваторе  $H_{эл}$  и в местной системе  $h$  с коэффициентом **1,5**, но не менее 15 м, а при наличии, кроме элеваторной системы отопления, и закрытой системы горячего водоснабжения – не менее 25 м. Избыточный напор рекомендуется дросселировать в авторегуляторах тепловых пунктов зданий.

## 2. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

**Пример 2.1.** Определить для условий г. Хабаровска расчетные тепловые потоки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение пяти кварталов района города ( рис. 2.1).

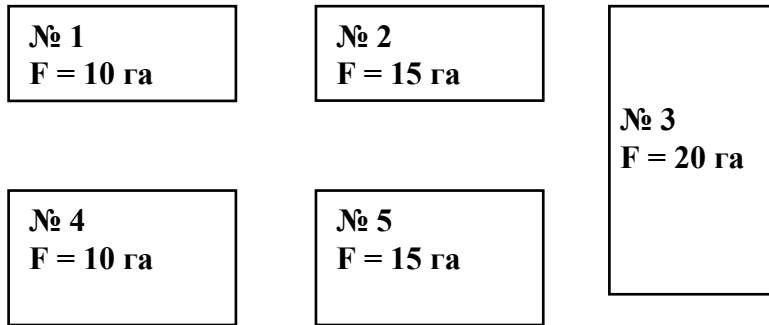


Рис. 2.1. План кварталов района города

Расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления  $t_0 = -31$  °С. Плотность населения  $P = 400$  чел./га. Общая площадь жилого здания на одного жителя  $f_{\text{общ}} = 18$  м<sup>2</sup>/чел. Средняя за отопительный период норма расхода горячей воды на одного жителя в сутки  $a = 115$  л/сутки.

**Решение.** Расчет тепловых потоков сводим в табл. 2.1. В графы 1, 2, 3 таблицы заносим соответственно номера кварталов, их площадь  $F_{\text{кв}}$  в гектарах, плотность населения  $P$ . Количество жителей в кварталах  $m$  определяем по формуле

$$m = PF_{\text{кв}}$$

Для квартала № 1 количество жителей составит

$$M = 400 \cdot 10 = 4\,000 \text{ чел.}$$

Общую площадь жилых зданий кварталов  $A$  определяем по формуле

$$A = f_{\text{общ}} m$$

Для квартала № 1

$$A = 18 \cdot 4\,000 = 72\,000 \text{ м}^2.$$

Приняв (см. прил. 2) для зданий постройки после 1985 г. величину удельного показателя теплового потока на отопление жилых зданий  $q_o = 87 \text{ Вт/м}^2$  при  $t_o = -31 \text{ }^\circ\text{C}$ , находим расчетные тепловые потоки на отопление жилых и общественных зданий кварталов по формуле (1.1)

$$Q_{o\max} = q_o A (1 + K_1).$$

Для квартала № 1 при  $K_1 = 0,25$  получим расчетный расход тепла на отопление жилых и общественных зданий

$$Q_{o\max} = 87 \cdot 72\,000 (1 + 0,25) = 7\,830\,000 \text{ Вт} = 7,83 \text{ МВт}$$

Максимальные тепловые потоки на вентиляцию общественных зданий кварталов определяем по формуле (1.2)

$$Q_{v\max} = q_o A K_1 K_2.$$

Для квартала № 1 при  $K_2 = 0,6$  получим

$$Q_{v\max} = 87 \cdot 72\,000 \cdot 0,25 \cdot 0,6 = 939\,600 \text{ Вт} = 0,94 \text{ МВт}.$$

По прил. 3 укрупненный показатель теплового потока на горячее водоснабжение  $q_h$  с учетом общественных зданий при норме на одного жителя  $a = 115 \text{ л/сутки}$  составит  $407 \text{ Вт}$ .

Среднечасовые тепловые потоки на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий кварталов определяем по формуле (1.4)

$$Q_{hm} = q_h m.$$

Для квартала № 1 эта величина составит

$$Q_{hm} = 407 \cdot 4\,000 = 1\,628\,000 \text{ Вт} = 1,63 \text{ МВт}.$$

Суммарный тепловой поток по кварталам  $Q_\Sigma$  определяем суммированием расчётных тепловых потоков на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение:

$$Q_\Sigma = Q_{o\max} + Q_{v\max} + Q_{hm}.$$

Для квартала № 1 суммарный тепловой поток составит

$$Q_\Sigma = 7,83 + 0,94 + 1,63 = 10,40 \text{ МВт}.$$

Аналогично выполняются расчёты тепловых потоков и для других кварталов.

Т а б л и ц а 2.1

*Расчёт тепловых потоков*

№ квартала	Площадь квартала $F_{\text{кв}}$ , га	Плотность населения $P$ , чел/га	Количество жителей $m$	Общая площадь $A$ , м <sup>2</sup>	Тепловой поток, МВт			
					$Q_{\text{оmax}}$	$Q_{\text{vmax}}$	$Q_{\text{hm}}$	$Q_{\Sigma}$
1	10	400	4 000	72 000	7,83	0,94	1,628	10,398
2	15	400	6 000	108 000	11,745	1,41	2,442	15,597
3	20	400	8 000	144 000	15,66	1,88	3,256	20,796
4	10	400	4 000	72 000	7,83	0,94	1,628	10,398
5	15	400	6 000	108 000	11,745	1,41	2,442	15,597
<i>Итого:</i>					54,8	6,58	11,396	72,786

**Пример 2.2.** Для климатических условий г. Хабаровска выполнить расчет и построение графиков часовых расходов теплоты на отопление вентиляцию и горячее водоснабжение, а также годовых графиков теплопотребления по продолжительности тепловой нагрузки и по месяцам. Расчётные тепловые потоки района города на отопление  $Q_{\text{оmax}} = 300$  МВт, на вентиляцию  $Q_{\text{vmax}} = 35$  МВт, на горячее водоснабжение  $Q_{\text{hm}} = 60$  МВт. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления  $t_0 = -31$  °С.

**Решение.** Определим, используя формулы пересчета (1.13) и (1.14), часовые расходы на отопление и вентиляцию при температуре наружного воздуха  $t_n = +10$  °С:

$$Q_o^{t_n} = Q_{\text{оmax}} \frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} = 300 \frac{20 - 10}{20 + 31} = 58,8 \text{ МВт};$$

$$Q_v^{t_n} = Q_{\text{vmax}} \frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} = 35 \frac{20 - 10}{20 + 31} = 6,9 \text{ МВт}.$$

Отложив на графике ( рис. 2.2, а)) значения  $Q_o$  и  $Q_v$  при  $t_n = +10$  °С, а также значения  $Q_{\text{оmax}}$  и  $Q_{\text{vmax}}$  при  $t_n = t_o = -31$  °С и соединив их прямой, получим графики  $Q_o = f(t_n)$  и  $Q_v = f(t_n)$ . Для построения часового графика расхода теплоты на горячее водоснабжение, определим, используя

формулу пересчёта (1.15), среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение для неотапительного периода  $Q_{hm}^s$ :

$$Q_{hm}^s = \beta Q_{hm} \left( \frac{55 - t_c^s}{55 - t_c} \right) = 0,8 \cdot 60 \left( \frac{55 - 15}{55 - 5} \right) = 38,4 \text{ МВт.}$$

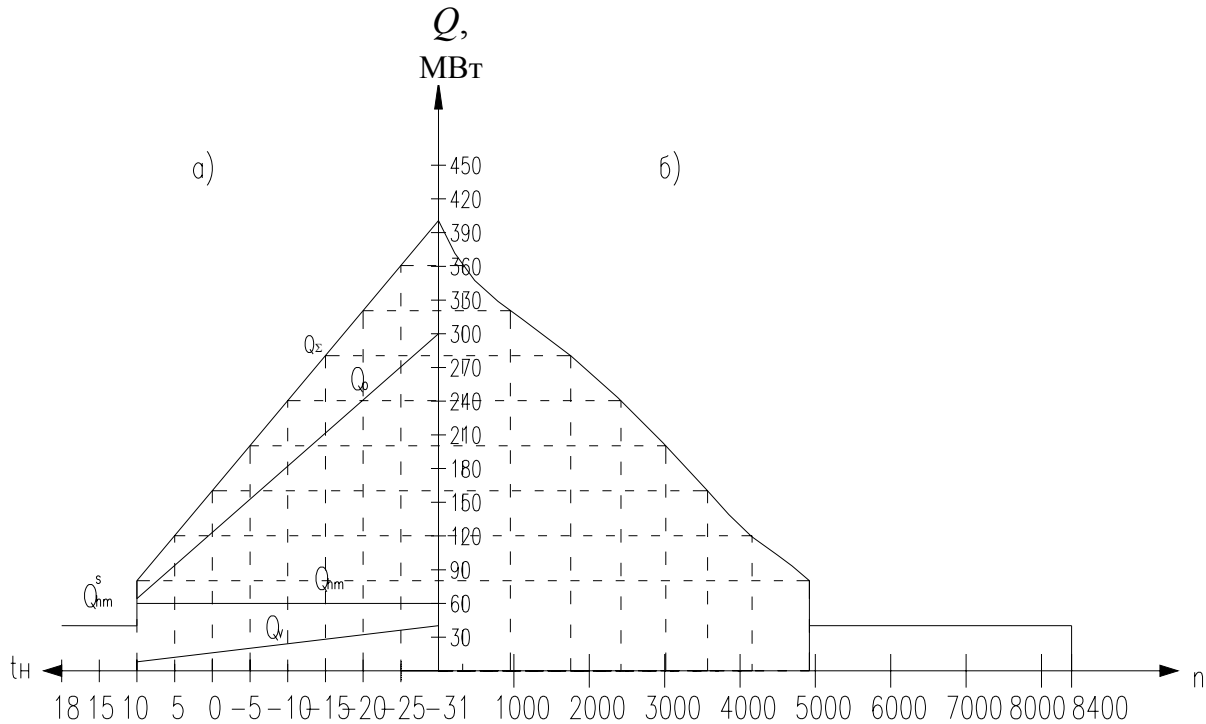
График среднечасового расхода теплоты на горячее водоснабжение не зависит от температуры наружного воздуха и будет представлять собой прямую, параллельную оси абсцисс с ординатой 60 МВт для отопительного периода и с ординатой 38,4 МВт для неотапительного периода. Просуммировав ординаты часовых графиков на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение для диапазона температур  $t_n = +10 \dots -31$  °С и соединив их прямой, получим суммарный часовой график  $Q_{\Sigma} = f(t_n)$ . Для построения годового графика теплоты по продолжительности тепловой нагрузки по [8. Табл. 1.3] находим продолжительности стояния температур наружного воздуха в часах с интервалом 5 °С и продолжительность отопительного периода для г. Хабаровска  $n_0 = 4\,920$  ч. Данные сведём в табл. 2.2.

Т а б л и ц а 2.2

<i>Продолжительность стояния температур наружного воздуха</i>										
Продолжительность стояния $n$ , ч	Температура наружного воздуха, °С									
	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+5
$n$	2	47	275	630	800	666	596	561	583	760
Температуры, °С	-35 и ниже	-30 и ниже	-25 и ниже	-20 и ниже	-15 и ниже	-10 и ниже	-5 и ниже	0 и ниже	+5 и ниже	+8 и ниже
$\Sigma n$	2	49	324	954	1754	2420	3016	3577	4160	4920

График по продолжительности тепловой нагрузки (рис. 2.2, б) строится на основании суммарного часового графика  $Q_{\Sigma} = f(t_n)$ . Для этого из точек на оси температур (+10, 0, -10, -20, -30) восстанавливаем перпендикуляры до пересечения с линией суммарного часового графика и из точек пересечения проводим горизонтальные прямые до пересечения с перпендикулярами, восстановленными из точек на оси продолжительности, соответствующих данным температурам. Соединив найденные точки плавной кривой, получим график по продолжительности тепловой нагрузки за отопительный период в течение 4 920 часов. Затем

построим график по продолжительности тепловой нагрузки за неотапительный период, для чего проведем прямую, параллельную оси абсцисс с ординатой, равной  $Q_{hm}^s = 38,4$  МВт, до расчетной продолжительности работы системы теплоснабжения в году, равной 8 400 часов.



**Рис. 2.2.** Графики теплового потребления:  
*а* – часовые графики теплового потребления;  
*б* – годовой график по продолжительности тепловой нагрузки

Для построения годового графика теплового потребления по месяцам по [5. С. 25] находим среднемесячные температуры наружного воздуха. Затем, используя формулы пересчета (1.13) и (1.14), определим часовые расходы теплоты на отопление и вентиляцию для каждого месяца со среднемесячной температурой ниже  $+10$  °С. Определим суммарные расходы теплоты для месяцев отопительного периода как сумму часовых расходов на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Для месяцев неотапительного периода ( $t_{cp}^H > +10$  °С) суммарный расход теплоты будет равен среднечасовому расходу теплоты на горячее водоснабжение  $Q_{hm}^s = 38,4$  МВт.

Выполним расчеты для января:

$$Q_o^я = Q_{o,max} \frac{t_i - t_{cp}^я}{t_i - t_o} = 300 \frac{18 + 22,3}{18 + 31} = 237,1 \text{ МВт};$$

$$Q_v^a = Q_{v\max} \frac{t_i - t_{cp}^a}{t_i - t_o} = 35 \frac{18 + 22,3}{18 + 31} = 27,7 \text{ МВт};$$

$$Q_\Sigma^a = Q_0^a + Q_v^a + Q_{hm}^a = 237,1 + 27,7 + 60 = 324,8 \text{ МВт}.$$

Аналогично выполняем расчёты и для других месяцев отопительного периода. Расчёты сведём в табл. 2.3. Используя полученные данные, построим годовой график теплового потребления по месяцам (рис. 2.3).

Т а б л и ц а 2.3

## Среднечасовые расходы теплоты по месяцам года

Среднечасовые расходы теплоты по месяцам	Среднемесячные температуры наружного воздуха											
	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.
	-22,3	-17,2	-8,5	3,1	11,1	17,4	21,1	20	13,9	4,7	-8,1	-18,5
$Q_0$ , МВт	237,1	207,1	155,9	87,6						78,2	153,5	214,7
$Q_v$ , МВт	27,7	24,2	18,2	10,2						9,1	17,9	25
$Q_{hm}(Q_{hm}^s)$ , МВт	60	60	60	60	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	60	60	60
$Q_\Sigma$ , МВт	324,8	291,3	234,1	157,8	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	147,3	231,4	299,7

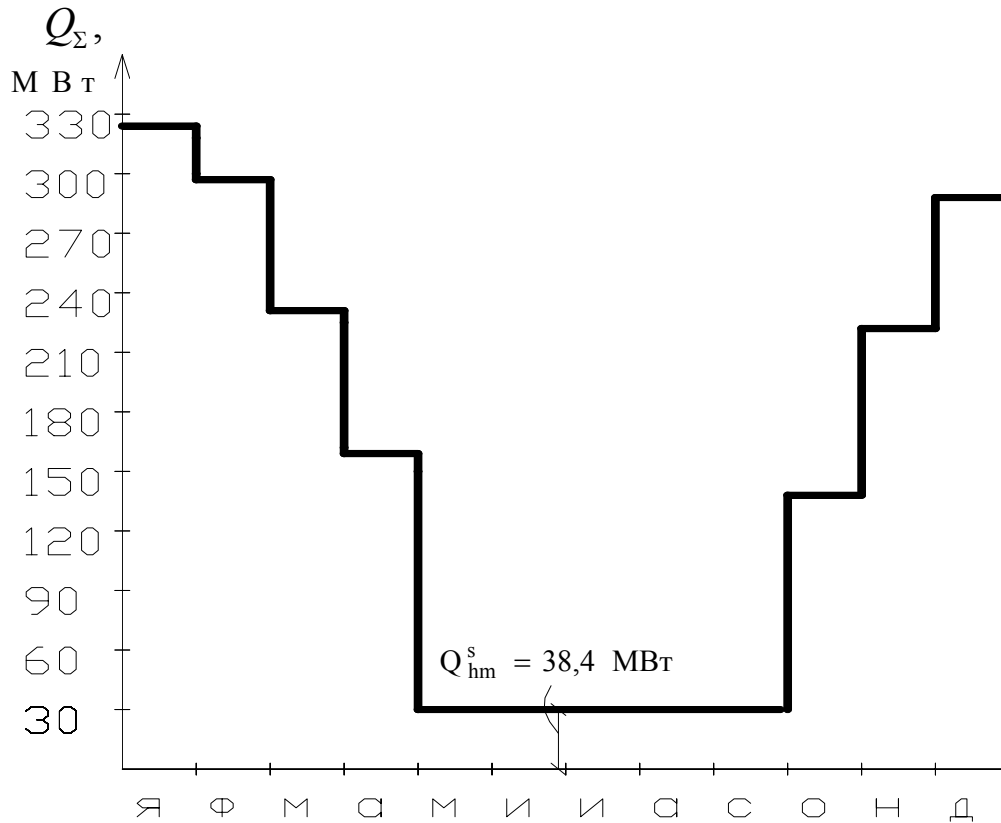


Рис. 2.3. Годовой график теплового потребления по месяцам

**Пример 2.3.** Построить для закрытой системы теплоснабжения график центрального качественного регулирования отпуска теплоты по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (повышенный или скорректированный температурный график). Принять расчетные температуры сетевой воды в подающей магистрали  $\tau_1 = 130$  °С, в обратной магистрали  $\tau_2 = 70$  °С, после элеватора  $\tau_3 = 95$  °С. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления  $t_0 = -31$  °С. Расчетная температура воздуха внутри помещения  $t_i = 20$  °С. Расчетные тепловые потоки принять из примера 2.2:  $Q_{o\max} = 300$  МВт;  $Q_{v\max} = 35$  МВт;  $Q_{hm} = 60$  МВт. Температура горячей воды в системах горячего водоснабжения  $t_h = 60$  °С, температура холодной воды  $t_c = 5$  °С. Балансовый коэффициент для нагрузки горячего водоснабжения  $\alpha_6 = 1,2$ . Схема включения водоподогревателей систем горячего водоснабжения (в соответствии с величиной коэффициента  $\rho$ ) двухступенчатая последовательная:

$$\left( \rho = \frac{K_{\text{ч}} Q_{\text{hm}}}{Q_{o\max}} = \frac{Q_{h\max}}{Q_{o\max}} = \frac{2,4 \cdot 60}{300} = 0,48 \right).$$

**Решение.** Предварительно выполним расчет и построение отопительно-бытового графика температур с температурой сетевой воды в подающем трубопроводе для точки излома  $\tau_1^I = 70$  °С. Для температур наружного воздуха  $t_n = +10; 0; -10; -23; -31$  °С определим значения температур сетевой воды для систем отопления  $\tau_{1o}; \tau_{2o}; \tau_{3o}$ , используя расчетные зависимости (1.16), (1.17), (1.18):

$$\tau_{1o} = t_i + \Delta t \left( \frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right)^{0,8} + (\Delta \tau - 0,5\theta) \left( \frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right);$$

$$\tau_{2o} = t_i + \Delta t \left( \frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right)^{0,8} - 0,5\theta \left( \frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right);$$

$$\tau_{3o} = t_i + \Delta t \left( \frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right)^{0,8} + 0,5\theta \left( \frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right).$$

Определим, используя формулы (1.19), (1.20), (1.21), значения величин  $\Delta t, \Delta \tau, \theta$ :



$$\Delta t = \frac{95 + 70}{2} - 20 = 62,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta \tau = \tau_1 - \tau_2 = 130 - 70 = 60 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\theta = \tau_3 - \tau_2 = 95 - 70 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для  $t_n = +10 \text{ } ^\circ\text{C}$  значения  $\tau_{10}$ ,  $\tau_{20}$ ,  $\tau_{30}$  соответственно составят:

$$\tau_{10} = 20 + 62,5 \left( \frac{20 - 10}{20 + 31} \right)^{0,8} + (60 - 0,5 \cdot 25) \left( \frac{20 - 10}{20 + 31} \right) = 46,26 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{20} = 20 + 62,5 \left( \frac{20 - 10}{20 + 31} \right)^{0,8} - 0,5 \cdot 25 \left( \frac{20 - 10}{20 + 31} \right) = 34,52 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{30} = 20 + 62,5 \left( \frac{20 - 10}{20 + 31} \right)^{0,8} + 0,5 \cdot 25 \left( \frac{20 - 10}{20 + 31} \right) = 39,42 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Аналогично выполним расчеты температур сетевой воды и для других значений  $t_n$ . Используя расчетные данные и приняв минимальную температуру сетевой воды в подающем трубопроводе  $\tau_1 = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$ , построим отопительно-бытовой график температур (см. рис. 2.4). Точке излома температурного графика будут соответствовать температуры сетевой воды  $\tau_1^I = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\tau_2^I = 45,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $\tau_3^I = 55,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ , температура наружного воздуха  $t_n^I = -0,85 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Полученные значения температур сетевой воды для отопительно-бытового графика сведем в табл. 2.4. Далее приступаем к расчету повышенного температурного графика. Задавшись величиной недогрева  $\Delta t_n = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$ , определим температуру нагреваемой водопроводной воды  $t_h^I$  после водоподогревателя первой ступени:

$$t_h^I = \tau_2^I - \Delta t_n = 45,4 - 7 = 38,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определим по формуле (1.22) балансовую нагрузку горячего водоснабжения

$$Q_{\text{hm}}^{\text{б}} = \alpha Q_{\text{hm}} = 1,2 \cdot 60 = 72 \text{ МВт}.$$

По формуле (1.23) определим суммарный перепад температур сетевой воды в обеих ступенях водоподогревателей

$$\delta = \frac{Q_{\text{hm}}^{\text{б}}}{Q_{\text{оmax}}} (\tau_1 - \tau_2) = \frac{72}{300} (130 - 70) = 14,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определим по формуле (1.24) перепад температур сетевой воды в водоподогревателе первой ступени для диапазона температур наружного воздуха от  $t_{\text{н}} = +10 \text{ } ^\circ\text{C}$  до  $t_{\text{н}}^I = -0,85 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\delta_2^I = \delta \frac{(t_{\text{н}}^I - t_{\text{с}})}{(t_{\text{н}} - t_{\text{с}})} = 14,4 \frac{(38,4 - 5)}{(60 - 5)} = 8,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определим для указанного диапазона температур наружного воздуха перепад температур сетевой воды во второй ступени водоподогревателя

$$\delta_1^I = \delta - \delta_2^I = 14,4 - 8,7 = 5,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определим, используя формулы (1.25) и (1.28), значения величин  $\delta_2$  и  $\delta_1$  для диапазона температур наружного воздуха  $t_{\text{н}}$  от  $t_{\text{н}}^I = -0,85 \text{ } ^\circ\text{C}$  до  $t_{\text{о}} = -31 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Так, для  $t_{\text{н}} = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$  эти значения составят:

$$\delta_2 = \delta_2^I \frac{(\tau_{2\text{о}} - t_{\text{с}})}{(\tau_2^I - t_{\text{с}})} = 8,7 \frac{(53,5 - 5)}{(45,4 - 5)} = 10,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\delta_1 = \delta - \delta_2 = 14,4 - 10,5 = 3,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Аналогично выполним расчеты величин  $\delta_2$  и  $\delta_1$  для значений  $t_{\text{н}} = -23 \text{ } ^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{н}} = -31 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Температуры сетевой воды  $\tau_{1\text{п}}$  и  $\tau_{2\text{п}}$  в подающем и обратном трубопроводах для повышенного температурного графика определим по формулам (1.29) и (1.27).

Так, для  $t_{\text{н}} = +10 \text{ } ^\circ\text{C}$  и  $t_{\text{н}} = -0,85 \text{ } ^\circ\text{C}$  эти значения составят:

$$\tau_{1\text{п}} = \tau_{1\text{о}} + \delta_1 = 70 + 5,7 = 75,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{2\text{п}} = \tau_{2\text{о}} - \delta_2 = 45,4 - 8,7 = 36,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

для  $t_H = -10 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\tau_{1п} = 88,8 + 3,9 = 92,7 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\tau_{2п} = 53,5 - 10,5 = 43,0 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Аналогично выполним расчеты для значений  $t_H = -23 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $-31 \text{ }^\circ\text{C}$ . Полученные значения величин  $\delta_2, \delta_1, \tau_{1п}, \tau_{2п}$  сведем в табл. 2.4.

Для построения графика температуры сетевой воды в обратном трубопроводе после калориферов систем вентиляции  $\tau_{2v} = f(t_H)$  в диапазоне температур наружного воздуха  $t_H = +10 \dots -0,85 \text{ }^\circ\text{C}$  используем формулу (1.35)

$$\frac{\Delta t_K}{\Delta t_K^I} \left( \frac{\tau_1^I - \tau_{2v}^I}{\tau_1 - \tau_{2v}} \right)^{0,15} = \left( \frac{t_i - t_H}{t_i - t_H^I} \right)^{0,85}.$$

Определим значение  $\tau_{2v}$  для  $t_H = +10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Предварительно зададимся значением  $\tau_{2v} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определим температурные напоры в калорифере  $\Delta t_K$  и  $\Delta t_K^I$  соответственно для  $t_H = +10 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_H = -0,85 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\Delta t_K = 0,5(\tau_1 + \tau_{2v}) - 0,5(t_H + t_i) = 0,5(70 + 18) - 0,5(10 + 20) = 29,0 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_K^I = 0,5(\tau_1^I + \tau_{2v}^I) - 0,5(t_H^I + t_i) = 0,5(70 + 45,4) - 0,5(-0,85 + 20) = 47,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Вычислим левые и правые части уравнения (1.35).

Левая часть:

$$\frac{29,0}{47,3} \left( \frac{70 - 45,4}{70 - 18} \right)^{0,15} = 0,548.$$

Правая часть:

$$\left( \frac{20 - 10}{20 + 0,85} \right)^{0,85} = 0,540.$$

Поскольку численные значения правой и левой частей уравнения близки по значению (в пределах 3 %), примем значение  $\tau_{2v} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$  как окончательное.

Для систем вентиляции с рециркуляцией воздуха определим, используя формулу (1.37), температуру сетевой воды после калориферов  $\tau_{2v}$  для  $t_h = t_o = -31$  °С:

$$\frac{\Delta t_k}{\Delta t_k^p} \left( \frac{\tau_{1v}^p - \tau_{2v}^p}{\tau_1 - \tau_{2v}} \right)^{0,15} = 1.$$

Здесь значения  $\Delta t_k^p$ ,  $\tau_{1v}^p$ ,  $\tau_{2v}^p$  соответствуют  $t_h = t_v = -23$  °С. Поскольку данное выражение решается методом подбора, предварительно зададимся значением  $\tau_{2v} = 54$  °С. Определим значения  $\Delta t_k$  и  $\Delta t_k^p$ :

$$\Delta t_k = 0,5(\tau_1 + \tau_{2v}) - 0,5(t_h + t_i) = 0,5(130 + 54) - 0,5(-31 + 20) = 97,5 \text{ °С};$$

$$\Delta t_k^p = 0,5(\tau_{1v}^p + \tau_{2v}^p) - 0,5(t_v + t_i) = 0,5(114,6 + 64,0) - 0,5(20 - 23) = 91 \text{ °С}.$$

Далее вычислим левую часть выражения

$$\frac{97}{91} \left( \frac{114,6 - 64,0}{130 - 54} \right)^{0,15} = 1,003.$$

Поскольку левая часть выражения близка по значению правой ( $1,003 \approx 1$ ), принятое предварительно значение  $\tau_{2v} = 54$  °С будем считать окончательным. Используя данные табл. 2.4, построим отопительно-бытовой и повышенный температурные графики регулирования (рис. 2.4).

Т а б л и ц а 2.4

*Расчет температурного графика сетевой воды для закрытой системы теплоснабжения*

$t_h$	$\tau_{1o}$	$\tau_{2o}$	$\tau_{3o}$	$\delta_1$	$\delta_2$	$\tau_{1п}$	$\tau_{2п}$	$\tau_{2v}$
10	70,0	45,4	55,7	5,7	8,7	75,7	36,7	18,0
-0,85	70,0	45,4	55,7	5,7	8,7	75,7	36,7	45,2
-10	88,8	53,5	68,2	3,9	10,5	92,7	43,0	53,5
-23	114,6	64,0	85,1	1,9	12,5	116,5	51,5	64,0
-31	130,0	70,0	95,0	0,4	14,0	130,4	56,0	54,0

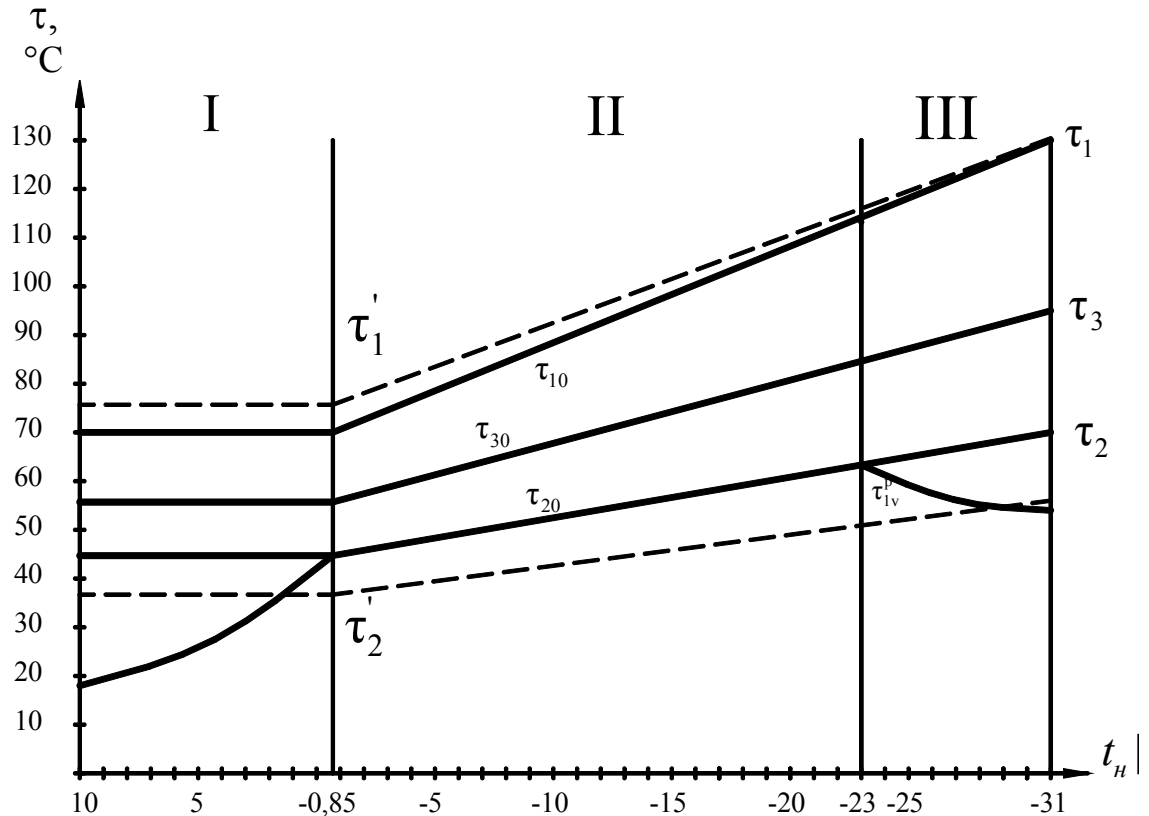


Рис. 2.4. Температурные графики регулирования сетевой воды для закрытой системы теплоснабжения (— — отопительно-бытовой; - - - - повышенный)

**Пример 2.4.** Построить для открытой системы теплоснабжения скорректированный (повышенный) график центрального качественного регулирования. Принять балансовый коэффициент  $\alpha_6 = 1,1$ . Принять минимальную температуру сетевой воды в подающем трубопроводе для точки излома температурного графика  $\tau_1^1 = 60$  °С. Остальные исходные данные взять из примера 2.3.

**Решение.** Вначале, используя расчеты по формулам (1.16), (1.17), (1.18), строим графики температур центрального качественного регулирования отопительной нагрузки  $\tau_{10} = f(t_n)$ ,  $\tau_{20} = f(t_n)$ ,  $\tau_{30} = f(t_n)$ . После этого построим отопительно-бытовой график, точке излома которого соответствуют значения температур сетевой воды  $\tau_1^1 = 60$  °С;  $\tau_2^1 = 41,2$  °С;  $\tau_3^1 = 49,2$  °С и температура наружного воздуха  $t_n^1 = 3,6$  °С. Далее приступаем к расчету скорректированного графика. Определим балансовую нагрузку горячего водоснабжения

$$Q_{\text{hm}}^6 = \alpha Q_{\text{hm}} = 1,1 \cdot 60 = 66 \text{ МВт.}$$

Определим коэффициент отношения балансовой нагрузки на горячее водоснабжение к расчетной нагрузке на отопление

$$\rho^{\bar{\rho}} = \frac{Q_{\text{hm}}^{\bar{\rho}}}{Q_{\text{оmax}}} = \frac{66}{300} = 0,22.$$

Для ряда температур наружного воздуха ( $t_{\text{н}} = +10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $-31 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) определим относительный расход теплоты на отопление  $\bar{Q}_o$  по формуле (1.32). Например, для  $t_{\text{н}} = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  он составит

$$\bar{Q}_o = \frac{(t_i - t_{\text{н}})}{(t_i - t_o)} = \frac{(20 + 10)}{(20 + 31)} = 0,59.$$

Затем, приняв известные из примера 2.3 значения  $t_c$ ,  $t_h$ ,  $\theta$ ,  $\Delta t$ , определим, используя формулу (1.33), для каждого значения  $t_{\text{н}}$  относительные расходы сетевой воды на отопление  $\bar{G}_o$ .

Например, для  $t_{\text{н}} = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$   $\bar{G}_o$  составит

$$\bar{G}_o = \frac{1 - 0,5\rho^{\bar{\rho}} \frac{\theta}{t_h - t_c}}{1 + \frac{t_h - t_i}{t_h - t_c} \frac{\rho^{\bar{\rho}}}{Q_o} - \frac{\Delta t}{t_h - t_c} \frac{\rho^{\bar{\rho}}}{Q_o^{0,2}}} = \frac{1 - 0,5 \cdot 0,22 \frac{25}{60 - 5}}{1 + \frac{60 - 20}{60 - 5} \frac{0,22}{0,59} - \frac{62,5}{60 - 5} \frac{0,22}{0,59^{0,2}}} = 0,95.$$

Аналогично выполним расчеты  $\bar{G}_o$  и для других значений  $t_{\text{н}}$ .

Температуры сетевой воды в подающем  $\tau_{1\text{п}}$  и обратном  $\tau_{2\text{п}}$  трубопроводах для скорректированного графика определим по формулам (1.30) и (1.31).

Так, для  $t_{\text{н}} = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  получим

$$\begin{aligned} \tau_{1\text{п}} &= t_i + \frac{\bar{Q}_o}{\bar{G}_o} \left( \Delta\tau + \Delta t \frac{\bar{G}_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} - 0,5\theta \right) = \\ &= 20 + \frac{0,59}{1,160} \left( 60 + 62,5 \frac{0,95}{0,59^{0,2}} - 0,5 \cdot 25 \right) = 90,1 \text{ }^{\circ}\text{C}; \end{aligned}$$

$$\tau_{2\text{п}} = t_i + \frac{\bar{Q}_o}{\bar{G}_o} \left( \Delta t \frac{\bar{G}_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} - 0,5\theta \right) = 20 + \frac{0,59}{1,160} \left( 62,5 \frac{0,95}{0,59^{0,2}} - 0,5 \cdot 25 \right) = 53,2 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Выполним расчеты  $\tau_{1п}$  и  $\tau_{2п}$  и для других значений  $t_{н}$ . Определим, используя расчетные зависимости (1.35) и (1.37), температуры сетевой воды  $\tau_{2v}$  после калориферов систем вентиляции для  $t_{н} = +10$  °С и  $t_{н} = -31$  °С (при наличии рециркуляции). При значении  $t_{н} = +10$  °С зададимся предварительно величиной  $\tau_{2v} = 25$  °С.

Определим значения  $\Delta t_{к}$  и  $\Delta t_{к}^I$ :

$$\Delta t_{к} = 0,5(\tau_1 + \tau_{2v}) - 0,5(t_{н} + t_i) = 0,5(60 + 25) - 0,5(10 + 20) = 27,5 \text{ °С};$$

$$\Delta t_{к}^I = 0,5(\tau_1 + \tau_{2v}) - 0,5(t_{н} + t_i) = 0,5(60 + 41,2) - 0,5(3,6 + 20) = 38,8 \text{ °С}$$

Далее вычислим левую и правую части уравнения

$$\frac{\Delta t_{к}}{\Delta t_{к}^I} \left( \frac{\tau_1^I - \tau_{2v}^I}{\tau_1 - \tau_{2v}} \right)^{0,15} = \left( \frac{t_i - t_{н}}{t_i - t_{н}^I} \right)^{0,85};$$

$$\frac{27,5 \left( \frac{60 - 41,2}{60 - 25} \right)^{0,15}}{38,8} = 0,65; \quad \left( \frac{20 - 10}{20 - 3,6} \right)^{0,85} = 0,65.$$

Поскольку численные значения левой и правой частей уравнения близки, принятое предварительно значение  $\tau_{2v} = 25$  °С будем считать окончательным. Определим по формуле (1.37) значения  $\tau_{2v}$  при  $t_{н} = t_o = -31$  °С, задавшись предварительно значением  $\tau_{2v} = 47$  °С

$$\frac{\Delta t_{к}}{\Delta t_{к}^P} \left( \frac{\tau_{1v}^P - \tau_{2v}^P}{\tau_1 - \tau_{2v}} \right)^{0,15} = 1.$$

Вычислим значения  $\Delta t_{к}$  и  $\Delta t_{к}^P$ :

$$\Delta t_{к} = 0,5(\tau_1 + \tau_{2v}) - 0,5(t_{н} + t_i) = 0,5(130 + 54) - 0,5(-31 + 20) = 97,5 \text{ °С};$$

$$\Delta t_{к}^P = 0,5(\tau_{1v}^P + \tau_{2v}^P) - 0,5(t_v + t_i) = 0,5(114,6 + 64,0) - 0,5(20 - 23) = 91 \text{ °С}.$$

Далее вычислим левую часть выражения

$$\frac{97 \left( \frac{114,6 - 64,0}{130 - 54} \right)^{0,15}}{91} = 1,003.$$

Поскольку левая часть выражения близка по значению правой ( $1,003 \approx 1$ ), принятое предварительно значение  $\tau_{2v} = 54$  °C будем считать окончательным.

Полученные значения расчетных величин сведем в табл. 2.5.

Т а б л и ц а 2.5

*Расчет повышенного (скорректированного) графика для открытой системы теплоснабжения*

$t_n$	$\tau_{1o}$	$\tau_{2o}$	$\tau_{3o}$	$\bar{Q}_o$	$\bar{G}_o$	$\tau_{1п}$	$\tau_{2п}$	$\tau_{2v}$
+10	60	41,2	49,2	0,2	0,65	64,2	40,2	25
+3,6	60	41,2	49,2	0,33	0,8	64,2	40,2	40,4
-10	88,8	53,5	68,2	0,59	0,95	90,1	53,2	53,5
-23	114,6	64	85,1	0,84	1,02	113,8	64,2	64
-31	130	70	95	1	1,04	130	70	54

Используя данные табл. 2.5, построим отопительно-бытовой и повышенный графики температур сетевой воды (рис. 2.5).

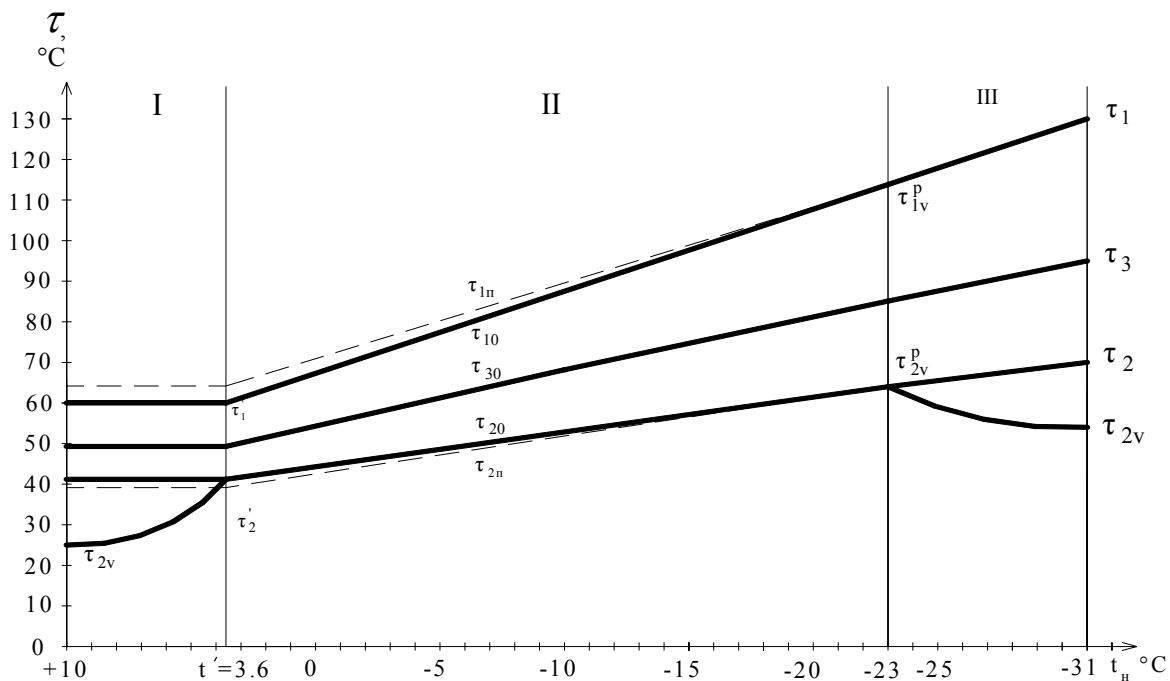


Рис. 2.5. Отопительно-бытовой (—) и повышенный (---) графики температур сетевой воды для открытой системы теплоснабжения

**Пример 2.5.** Выполнить гидравлический расчет магистральных теплопроводов двухтрубной водяной тепловой сети закрытой системы теплоснабжения. Расчетная схема теплосети от источника теплоты (ИТ) до кварталов города (КВ) приведена на рис. 2.6. Для компенсации температурных деформаций предусмотреть сальниковые компенсаторы.



Удельные потери давления по главной магистрали принять в размере 30–80 Па/м.

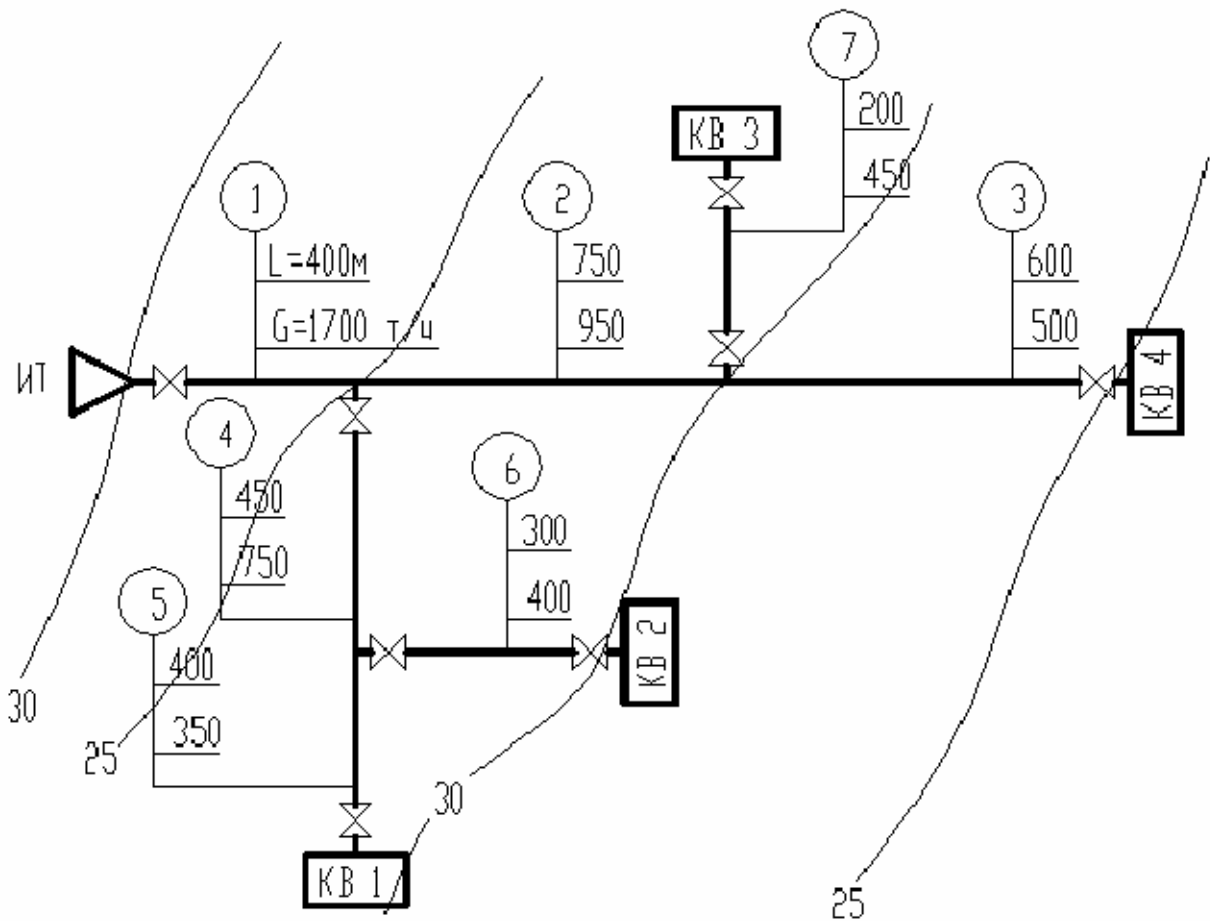


Рис. 2.6. Расчетная схема магистральной тепловой сети

**Решение.** Расчет выполним для подающего трубопровода. Примем за главную магистраль наиболее протяженную и загруженную ветвь теплосети от ИТ до КВ 4 (участки 1, 2, 3) и приступим к ее расчету.

По таблицам гидравлического расчета, приведенным в литературе [8, 9], или по номограммам в прил. 6, на основании известных расходов теплоносителя, ориентируясь на удельные потери давления  $R$  в пределах от 30 до 80 Па/м, определим для участков 1, 2, 3 диаметры трубопроводов  $d_{нхS}$ , мм, фактические удельные потери давления  $R$ , Па/м, скорости воды  $V$ , м/с.

По известным диаметрам на участках главной магистрали определим сумму коэффициентов местных сопротивлений  $\Sigma\xi$  и их эквивалентные длины  $L_э$ . Так, на участке 1 имеется головная задвижка ( $\xi = 0,5$ ), тройник на проход при разделении потока ( $\xi = 1,0$ ). Количество сальниковых компенсаторов ( $\xi = 0,3$ ) на участке определим в зависимости от длины

участка  $L$  и максимального допустимого расстояния между неподвижными опорами  $l$ . Согласно прил. 7 для  $D_y = 600$  мм это расстояние составляет 160 м. Следовательно, на участке 1 длиной 400 м следует предусмотреть три сальниковых компенсатора. Сумма коэффициентов местных сопротивлений на данном участке составит

$$\Sigma \xi = 0,5 + 1,0 + 3 \cdot 0,3 = 2,4.$$

По табл. 6.4 прил. 6 (при  $K_3 = 0,0005$  м) эквивалентная длина  $l_3$  для  $\xi = 1,0$  равна 32,9 м. Эквивалентная длина участка составит

$$L_3 = l_3 \cdot \Sigma \xi = 32,9 \cdot 2,4 = 79 \text{ м}$$

Далее определим приведенную длину участка

$$L_{\Pi} = L + L_3 = 400 + 79 = 479 \text{ м.}$$

Затем определим потери давления на участке 1

$$\Delta P = R \cdot L_{\Pi} = 42 \cdot 479 = 20\,118 \text{ Па.}$$

Аналогично выполним гидравлический расчет участков 2 и 3 главной магистрали (табл. 2.6, 2.7).

Далее приступаем к расчету ответвлений. По принципу увязки потери давления  $\Delta P$  от точки деления потоков до конечных точек (кварталов) для различных ветвей системы должны быть равны между собой. Поэтому при гидравлическом расчете ответвлений необходимо стремиться к выполнению следующих условий:

$$\Delta P_{4+5} = \Delta P_{2+3}; \quad \Delta P_6 = \Delta P_5; \quad \Delta P_7 = \Delta P_3.$$

В соответствии с этими условиями найдем ориентировочные удельные потери давления для ответвлений. Так, для ответвления с участками 4 и 5 получим

$$R_{(4,5)} = \frac{\Delta P_{(2+3)}}{L_{(4+5)}(1 + \alpha)}.$$

Коэффициент  $\alpha$ , учитывающий долю потерь давления на местные сопротивления, определим по формуле

$$\alpha = 0,01\sqrt{G_4} = 0,01\sqrt{750} = 0,27;$$

тогда

$$R_{(4,5)} = \frac{(45485 + 28980)}{(450 + 400)(1 + 0,27)} = 69 \text{ Па/м.}$$

Ориентируясь на  $R = 69$  Па/м, определим по таблицам гидравлического расчета диаметры трубопроводов, удельные потери давления  $R$ , скорости  $V$ , потери давления  $\Delta P$  на участках 4 и 5. Аналогично выполним расчет ответвлений 6 и 7, определив предварительно для них ориентировочные значения удельных потерь давления  $R$ :

$$R_6 = \frac{\Delta P_5}{L_6(1 + \alpha)} = \frac{27136}{400(1 + 0,2)} = 56 \text{ Па/м;}$$

$$R_7 = \frac{\Delta P_5}{L_7(1 + \alpha)} = \frac{28980}{200(1 + 0,21)} = 120 \text{ Па/м.}$$

Т а б л и ц а 2.6

*Расчет эквивалентных длин местных сопротивлений*

№ участка	$d_n \times S$ , мм	$L$ , м	Вид местного сопротивления	$\xi$	Количество	$\sum \xi$	$l_э$ , м	$L_э$ , м
1	630x10	400	1. Задвижка	0,5	1	2,4	32,9	79
			2. Сальниковый компенсатор	0,3	3			
			3. Тройник на проход при разделении потока	1,0	1			
2	480x10	750	1. Внезапное сужение	0,5	1	3,3	23,4	77
			2. Сальниковый компенсатор	0,3	6			
			3. Тройник на проход при разделении потока	1,0	1			

## Окончание т а б л. 2.6

№ участка	$d_n \times S$ , мм	$L$ , м	Вид местного сопротивления	$\xi$	Количество	$\sum \xi$	$l_э$ , м	$L_э$ , м
3	426x10	600	1. Внезапное сужение 2. Сальниковый компенсатор 3. Задвижка	0,5 0,3 0,5	1 4 1	2,2	20,2	44,4
4	426x10	500	1.Тройник на ответвление 2. Задвижка 3. Сальниковый компенсатор 4. Тройник на проход	1,5 0,5 0,3 1,0	1 1 4 1	4,2	20,2	85
5	325x8	400	1. Сальниковый компенсатор 2. Задвижка	0,3 0,5	4 1	1,7	14	24
6	325x8	300	1. Тройник на ответвление 2. Сальниковый компенсатор 3. Задвижка	1,5 0,5 0,5	1 2 2	3,5	14	49
7	325x8	200	1.Тройник на ответвление при разделении потока 2.Задвижка 3.Сальниковый компенсатор	1,5 0,5 0,3	1 2 2	3,1	14	44

Т а б л и ц а 2.7

*Гидравлический расчет магистральных трубопроводов*

№ участка	G, т/ч	Длина, м			d <sub>н</sub> x s, мм	V, м/с	R, Па/м	ΔP, Па	ΣΔP, Па
		L	L <sub>з</sub>	L <sub>п</sub>					
1	1 700	400	79	479	630x10	1,65	42	20 118	94 583
2	950	750	77	827	480x10	1,6	55	45 485	74 465
3	500	600	44	644	426x10	1,35	45	28 980	28 980
4	750	500	85	585	426x10	1,68	70	40 950	68 086
5	350	400	24	424	325x8	1,35	64	27 136	27 136
6	400	300	49	349	325x8	1,55	83	28 967	28 967
7	450	200	44	244	325x8	1,75	105	25 620	25 620

Определим невязку потерь давления на ответвлениях. Невязка на ответвлении с участками 4 и 5 составит:

$$f = \frac{\Delta P_{2+3} - \Delta P_{4+5}}{\Delta P_{2+3}} 100 \% = \frac{45\,485 + 28\,980 - 40\,950 - 27\,136}{45\,485 + 28\,980} 100 \% = 8,6 \%$$

Невязка на ответвлении 6 составит:

$$f = \frac{\Delta P_6 - \Delta P_5}{\Delta P_5} 100 \% = \frac{28\,967 - 27\,136}{27\,136} 100 \% = 6,7 \%$$

Невязка на ответвлении 7 составит:

$$f = \frac{\Delta P_3 - \Delta P_7}{\Delta P_3} 100 \% = \frac{28\,980 - 25\,620}{28\,980} 100 \% = 11,6 \%$$

**Пример 2.6.** По данным гидравлического расчета из примера 2.5 построить пьезометрические графики для отопительного и неотопительного периодов. Максимальный расход сетевой воды на горячее водоснабжение в неотопительный период  $G_{\text{hmax}}^s$  принять равным 800 т/ч. Расчетные температуры сетевой воды 150–70 °С. Этажность зданий принять 9 этажей.

**Решение.** Для построения пьезометрического графика примем масштабы: вертикальный Мв 1:1 000 и горизонтальный Мг 1:10 000. Построим (рис. 2.7), используя горизонтали и длины участков, продольные профили главной магистрали (участки 1, 2, 3) и ответвлений (участки 4, 5, 7). На профилях в соответствующем масштабе построим высоты присоединяемых зданий. Высоту этажа здания примем 3 м. Под профилем размещаются:

- спрямленная однолинейная схема теплосети;
- номера и длины участков;
- расходы теплоносителя;
- диаметры трубопроводов;
- располагаемые напоры.

Далее следует определить величину напора на всасывающей стороне сетевых насосов. Величина этого напора должна быть не менее кавитационного запаса для принятого типа насосов, а также должна быть не менее высоты местных систем теплоснабжения присоединяемых зданий с запасом 5 м.

Приняв предварительно напор на всасывающей стороне сетевых насосов  $H_{вс} = 30$  м, построим линию потерь напора обратной магистрали теплосети АВ. Превышение точки В по отношению к точке А будет равно потерям напора в обратной магистрали, которые в закрытых системах принимаются равными потерям напора в подающей магистрали и составляют в данном примере 9,5 м.

Далее строим линию ВС – линию располагаемого напора для системы теплоснабжения квартала № 4. Располагаемый напор для квартальной системы теплоснабжения должен быть достаточным для преодоления потерь напора в квартальных тепловых сетях и потерь напора в местных системах теплоснабжения присоединяемых зданий. Располагаемый напор в данном примере принят равным 40 м. Затем строим линию потерь напора подающей магистрали теплосети СД. Превышение точки Д по отношению к точке С равно потерям напора в подающей магистрали и составляет 9,5 м.

Далее строим линию ДЕ – линию потерь напора в теплофикационном оборудовании источника теплоты, которые в данном примере приняты равными 25 м.

Положение линии статического напора S-S выбрано из условия недопущения «оголения», «раздавливания» и вскипания теплоносителя. Из условия защиты от «оголения», линия статического напора должна быть выше верхних точек местных систем теплоснабжения не менее чем на 5 м. Для защиты от «раздавливания» величина статического напора для зависимых систем отопления с чугунными радиаторами не должна превышать 50 м, для систем отопления со стальными нагревательными

приборами а также для калориферов вентиляционных систем – 80 м, для независимых схем присоединения – 100 м. Для недопущения вскипания перегретой сетевой воды как при гидродинамическом так и при гидростатическом режимах напор в подающем трубопроводе при температуре теплоносителя 150 °С должен быть не менее 40 м.

Далее приступаем к построению пьезометрического графика для неотапительного периода. Определим для данного периода потери напора в главной подающей магистрали  $\Delta H_{\text{под}}^s$ , используя формулу пересчета (1.59):

$$\Delta H_{\text{под}}^s = \Delta H_{\text{под}} \left( \frac{G_{h\text{max}}^s}{G_d} \right)^2 = 9,5 \left( \frac{800}{1700} \right)^2 = 2,8 \text{ м. напор}$$

Аналогичные потери напора – 2,8 м (система закрытая) – примем и для обратной магистрали.

Потери напора в оборудовании источника тепла, а также располагаемый напор для квартальной теплосети примем аналогичными отопительному периоду.

Используя примененную ранее методику, построим пьезометрический график для неотапительного периода (АВ'С'Д'Е').

После построения пьезометрических графиков следует убедиться, что расположение их линий как для отопительного так и для неотапительного периодов соответствует требованиям для разработки гидравлических режимов. При необходимости напор на всасывающей стороне сетевых насосов  $H_{\text{вс}}$  и, соответственно, положение пьезометрических графиков могут быть изменены (за счет изменения напора подпиточного насоса).

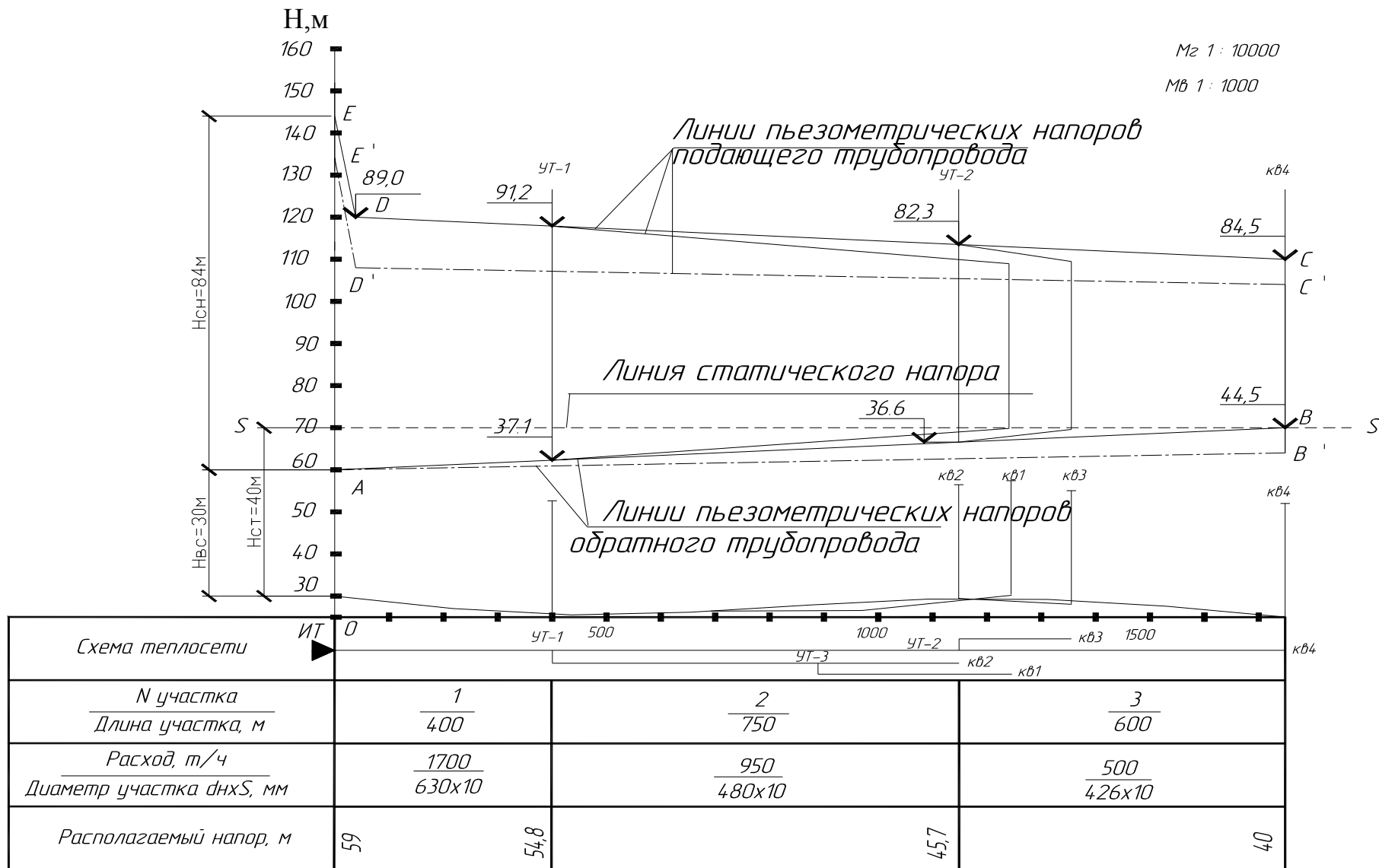


Рис. 2.7. Пьезометрический график



**Пример 2.7.** Для закрытой системы теплоснабжения, работающей при повышенном графике регулирования с суммарным тепловым потоком  $Q = 325$  МВт и с расчетным расходом теплоносителя  $G = 3\,500$  т/ч, подобрать сетевые и подпиточные насосы. Потери напора в теплофикационном оборудовании источника теплоты  $\Delta H_{\text{ист}} = 35$  м. Суммарные потери напора в подающей и обратной магистралях тепловой сети  $\Delta H_{\text{под}} + \Delta H_{\text{обр}} = 50$  м. Потери напора в системах теплопотребителей  $\Delta H_{\text{аб}} = 40$  м. Статический напор на источнике теплоты  $H_{\text{ст}} = 40$  м. Потери напора в подпиточной линии  $H_{\text{п.л}} = 15$  м. Превышение отметки баков с подпиточной водой по отношению к оси подпиточных насосов  $z = 5$  м.

**Решение.** Определим требуемый напор сетевого насоса:

$$H_{\text{с.н}} = \Delta H_{\text{ист}} + \Delta H_{\text{под}} + \Delta H_{\text{обр}} + \Delta H_{\text{аб}} = 30 + 50 + 40 = 120 \text{ м.}$$

Подача сетевого насоса  $G_{\text{с.н}}$  должна обеспечить расчетный расход теплоносителя  $G_{\text{д}}$

$$G_{\text{с.н}} = G_{\text{д}} = 3\,500 \text{ т/ч.}$$

По [8. Рис. 2.17] (см. также прил. 19) принимаем к установке по параллельной схеме три рабочих насоса СЭ 1250-140 и один резервный, обеспечивающие требуемые параметры при некотором избытке напора, который может быть сдресселирован на источнике теплоты. КПД насоса составляет 82 %.

Требуемый напор подпиточного насоса  $H_{\text{п.н}}$  определяем по формуле (1.62):

$$H_{\text{п.н}} = H_{\text{ст}} + \Delta H_{\text{п.л}} - z = 40 + 15 - 5 = 50 \text{ м.}$$

Подача подпиточного насоса  $G_{\text{п.н}}$  в закрытой системе теплоснабжения должна компенсировать утечку теплоносителя  $G_{\text{ут}}$ . Согласно [1] величина утечки принимается в размере 0,75 % от объема системы теплоснабжения  $V_{\text{сист}}$ . При удельном объеме системы  $65 \text{ м}^3/\text{МВт}$  и суммарном тепловом потоке  $Q = 325$  МВт объем системы  $V_{\text{сист}}$  составит

$$V_{\text{сист}} = 65Q = 65 \cdot 325 = 21\,125 \text{ м}^3.$$

Величина утечки  $G_{\text{ут}}$  составит

$$G_{\text{ут}} = 0,0075V_{\text{сист}} = 0,0075 \cdot 21\,125 = 158,5 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

По [8. Рис. 2.69] (см. также прил. 20 ) принимаем к установке по параллельной схеме два рабочих насоса К 90/55 и один резервный, обеспечивающие требуемые параметры с небольшим избытком напора (8 м) при КПД 70 %.

**Пример 2.8.** Для открытой системы теплоснабжения при нормальном графике регулирования подобрать сетевые насосы для отопительного периода, а также подпиточные насосы. Суммарный расчетный расход теплоносителя на отопление и вентиляцию 3 500 т/ч. Среднечасовой расход сетевой воды на горячее водоснабжение в системе  $G_{hm} = 700$  т/ч. Максимальный расход сетевой воды на горячее водоснабжение  $G_{hmax} = 1\,700$  т/ч. Остальные исходные принять из примера 2.7.

**Решение.** Требуемый напор сетевого насоса  $H_{с.н} = 120$  м. Требуемую подачу сетевого насоса  $G_{с.н}$ , т/ч, для открытой системы определим по формуле (1.61)

$$G_{с.н} = G_o + G_v + k_3 \cdot G_{hm} = 3\,500 + 1,4 \cdot 700 = 4\,480.$$

По [8. Рис.2.17] принимаем к установке четыре рабочих насоса СЭ 1250-140 и один резервный, обеспечивающие суммарную подачу 4 480 т/ч с некоторым избытком подачи и напора при КПД 81 %. Для подбора подпиточного насоса при его требуемом напоре  $H_{п.н} = 50$  м определим его подачу по формуле (1.64)

$$G_{п.н} = G_{ут} + G_{hmax}.$$

Величина утечки при удельном объеме 70 м<sup>3</sup> на 1 МВт тепловой мощности системы составит

$$G_{ут} = 0,0075 V_{сист} = 0,0075 \cdot 70 \cdot Q = 0,0075 \cdot 70 \cdot 325 = 170,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Требуемая подача подпиточного насоса  $G_{п.н}$  составит

$$G_{п.н} = G_{ут} + G_{hmax} = 170,6 + 1\,700 = 1\,871 \text{ т/ч}.$$

По [8. Рис. 2.48] принимаем к установке по параллельной схеме два рабочих насоса Д 1000-40 и один резервный, обеспечивающие требуемые параметры с КПД 80 %.

**Пример 2.9.** Определить по нормируемой плотности теплового потока толщину тепловой изоляции для двухтрубной тепловой сети с  $d_n = 159$  мм, проложенной в канале типа КЛП 90x45. Глубина заложения канала  $h_k = 1,0$  м. Среднегодовая температура грунта на глубине заложения оси трубопроводов  $t_o = 4$  °С. Теплопроводность грунта  $\lambda_{гр} = 2,0$  Вт/(м · град).

Тепловая изоляция – маты из стеклянного штапельного волокна с защитным покрытием из стеклопластика рулонного (РСТ). Среднегодовая температура теплоносителя в подающем трубопроводе составляет  $\tau_1 = 86 \text{ }^\circ\text{C}$ , в обратном  $\tau_2 = 48 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Решение.** По формуле (1.74) определим внутренний  $d_{в.э}$  и наружный  $d_{н.э}$  эквивалентные диаметры канала по внутренним (0,9×0,45 м) и наружным (1,08×0,61 м) размерам его поперечного сечения:

$$d_{в.э} = \frac{4F}{P} = \frac{4 \cdot 0,9 \cdot 0,45}{2(0,9 + 0,45)} = 0,6 \text{ м};$$

$$d_{н.э} = \frac{4F}{P} = \frac{4 \cdot 1,08 \cdot 0,61}{2(1,08 + 0,61)} = 0,78 \text{ м}.$$

Определим по формуле (1.73) термическое сопротивление внутренней поверхности канала

$$R_{п.к} = \frac{l}{\alpha_e \pi d_{в.э}} = \frac{1}{8 \cdot 3,14 \cdot 0,6} = 0,066 \text{ м} \cdot \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

Определим по формуле (1.75) термическое сопротивление стенки канала  $R_k$ , приняв коэффициент теплопроводности железобетона  $\lambda_{см} = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$ :

$$R_k = \frac{1}{2\pi\lambda_{см}} \ln \frac{d_{н.э}}{d_{в.э}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,04} \ln \frac{0,78}{0,6} = 0,020 \text{ м} \cdot \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

Определим по формуле (1.76) при глубине заложения оси труб  $h = 1,3 \text{ м}$  и теплопроводности грунта  $\lambda_{гр} = 2,0 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$ , термическое сопротивление грунта

$$\begin{aligned} R_{гр} &= \frac{1}{2\pi\lambda_{ст}} \ln \left( \frac{2h}{d_{н.э}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_{н.э}^2} - 1} \right) = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,04} \ln \left( \frac{2 \cdot 1,3}{0,78} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3^2}{0,78^2} - 1} \right) = 0,149 \text{ м} \cdot \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт}. \end{aligned}$$

Приняв температуру поверхности теплоизоляции 40 °С (прил. 9), определим средние температуры теплоизоляционных слоев подающего  $t_{т.п}$  и обратного  $t_{т.о}$  трубопроводов:

$$t_{т.п} = \frac{\tau_1 + 40}{2} = \frac{86 + 40}{2} = 63 \text{ °С};$$

$$t_{т.о} = \frac{\tau_2 + 40}{2} = \frac{48 + 40}{2} = 44 \text{ °С}.$$

Определим также, используя прил. 9, коэффициенты теплопроводности тепловой изоляции (матов из стеклянного штапельного волокна) для подающего  $\lambda_{к_1}$  и обратного  $\lambda_{к_2}$  трубопроводов:

$$\lambda_{к_1} = 0,042 + 0,00028 t_{т.п} = 0,042 + 0,00028 \cdot 63 = 0,06 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)};$$

$$\lambda_{к_2} = 0,042 + 0,00028 t_{т.о} = 0,042 + 0,00028 \cdot 44 = 0,054 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}.$$

Определим по формуле (1.72) термическое сопротивление поверхности теплоизоляционного слоя:

$$R_{п.с} = \frac{1}{\alpha_e \pi (d_n + 0,1)} = \frac{1}{8,3,14(0,159 + 0,1)} = 0,154 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт}.$$

Примем по прил. 8 нормируемые линейные плотности тепловых потоков для подающего  $q_{l1} = 39,5$  Вт/м и обратного  $q_{l2} = 15,8$  Вт/м трубопроводов. По формуле (1.68) определим суммарные термические сопротивления для подающего  $R_{tot1}$  и обратного  $R_{tot2}$  трубопроводов при  $K_1 = 0,92$  (прил. 11):

$$R_{tot1} = \frac{(\tau_1 - t_e)}{q_{l1} k_1} = \frac{(86 - 4)}{39,5 \cdot 0,92} = 2,26 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт};$$

$$R_{tot2} = \frac{(\tau_2 - t_o)}{q_{l2} k_1} = \frac{(48 - 4)}{15,8 \cdot 0,92} = 3,03 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт}.$$

Определим коэффициенты взаимного влияния температурных полей подающего  $\varphi_1$  и обратного  $\varphi_2$  трубопроводов:

$$\varphi_1 = \frac{q_{l2}}{q_{l1}} = \frac{15,8}{39,5} = 0,40; \quad \varphi_2 = \frac{q_{l1}}{q_{l2}} = \frac{39,5}{15,8} = 2,50.$$

Определим требуемые термические сопротивления слоёв для подающего  $R_{к.п}$  и обратного  $R_{к.о}$  трубопроводов, м · град/Вт:

$$\begin{aligned} R_{к.п} &= R_{tot1} - R_{п.с} - (1 + \varphi_1)(R_{п.к} + R_{к} + R_{тр}) = \\ &= 2,464 - 0,154 - (1 + 0,40)(0,066 + 0,0205 + 0,149) = 1,980 \text{ м} \cdot \text{°C} / \text{Вт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{к.о} &= R_{tot2} - R_{п.с} - (1 + \varphi_1)(R_{п.к} + R_{к} + R_{тр}) = \\ &= 3,090 - 0,154 - (1 + 2,50)(0,066 + 0,0205 + 0,149) = 2,111 \text{ м} \cdot \text{°C} / \text{Вт}. \end{aligned}$$

Определим по формуле (1.66) значения  $B$  для подающего и обратного трубопроводов:

$$B_1 = e^{2\pi\lambda_{к1}R_{к1}} = 2,7^{2 \cdot 3,14 \cdot 0,061 \cdot 1,980} = 2,098;$$

$$B_2 = e^{2\pi\lambda_{к2}R_{к2}} = 2,7^{2 \cdot 3,14 \cdot 0,054 \cdot 2,111} = 2,036.$$

Определим требуемые толщины слоев тепловой изоляции для подающего  $\delta_{к1}$  и обратного  $\delta_{к2}$  трубопроводов:

$$\delta_{к1} = \frac{d_{н}(B_1 - 1)}{2} = \frac{0,159(2,098 - 1)}{2} = 0,087 \text{ мм};$$

$$\delta_{к2} = \frac{d_{н}(B_2 - 1)}{2} = \frac{0,159(2,036 - 1)}{2} = 0,082 \text{ мм}.$$

Принимаем толщину основного слоя изоляции для подающего и обратного трубопроводов одинаковой и равной 90 мм.

**Пример 2.10.** По нормируемой плотности теплового потока определить толщину армопенобетонной тепловой изоляции для двухтрубной прокладки трубопроводов с диаметрами  $d_{н} = 159$  мм при бесканальной прокладке в маловлажных грунтах. Коэффициент

теплопроводности легкого армопенобетона  $\lambda_k = 0,06$  Вт/(м · °С).  
Среднегодовая температура теплоносителя в подающем трубопроводе  $\tau_1 = 90$  °С, в обратном  $\tau_2 = 50$  °С. Глубина заложения оси трубопроводов  $h = 1,3$  м. Среднегодовая температура грунта на глубине заложения оси трубопроводов  $t_0 = 4$  °С. Коэффициент теплопроводности грунта  $\lambda_{гр} = 2,0$  Вт/(м · °С).

**Решение.** Зададимся предварительно толщиной слоя изоляции на подающем трубопроводе  $\delta_{к1} = 0,04$  м и на обратном  $\delta_{к2} = 0,03$  м. Определим наружные диаметры подающего  $d_{н.и1}$  и обратного  $d_{н.и2}$  трубопроводов с учетом толщины слоя изоляции и защитного покровного слоя  $\delta_{п} = 0,005$  м:

$$d_{н.и1} = d_{н} + 2\delta_{к1} + \delta_{п} = 0,159 + 2 \cdot 0,04 + 2 \cdot 0,005 = 0,249 \text{ м};$$

$$d_{н.и2} = d_{н} + 2\delta_{к2} + \delta_{п} = 0,159 + 2 \cdot 0,03 + 2 \cdot 0,005 = 0,229 \text{ м.}$$

Определим термическое сопротивление грунта для подающего  $R_{гр1}$  и обратного  $R_{гр2}$  теплопроводов:

$$\begin{aligned} R_{гр1} &= \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \left( \frac{2h}{d_{н.и1}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_{н.и1}^2} - 1} \right) = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,0} \ln \left( \frac{2 \cdot 1,3}{0,249} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3^2}{0,249^2} - 1} \right) = 0,241 \text{ м} \cdot \text{°С} / \text{Вт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{гр2} &= \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \left( \frac{2h}{d_{н.и2}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_{н.и2}^2} - 1} \right) = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,0} \ln \left( \frac{2 \cdot 1,3}{0,229} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3^2}{0,229^2} - 1} \right) = 0,248 \text{ м} \cdot \text{°С} / \text{Вт}. \end{aligned}$$

По прил. 8 определим (с интерполяцией) нормируемые плотности теплового потока  $q_{л1} = 42$  Вт/м и  $q_{л2} = 17$  Вт/м соответственно для подающего и обратного теплопроводов. Определим коэффициенты взаимного влияния температурных полей  $\psi_1$  и  $\psi_2$ :

для подающего трубопровода

$$\psi_1 = \frac{q_{l2}}{q_{l1}} = \frac{17}{42} = 0,40;$$

для обратного трубопровода

$$\psi_2 = \frac{q_{l1}}{q_{l2}} = \frac{42}{17} = 2,47.$$

Определим добавочные термосопротивления, учитывающие взаимное влияние теплопроводов  $R_{01}$  и  $R_{02}$  соответственно для подающего и обратного теплопроводов при расстоянии между осями труб  $B = 0,5$  м (см. табл. 1.3)):

$$\begin{aligned} R_{01} &= \psi_1 \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \ln \sqrt{\frac{4h^2}{B^2} + 1} = \\ &= 0,40 \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,0} \ln \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3^2}{0,5^2} + 1} = 0,055 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{02} &= \psi_2 \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \ln \sqrt{\frac{4h^2}{B^2} + 1} = \\ &= 2,47 \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,0} \ln \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3^2}{0,5^2} + 1} = 0,328 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}. \end{aligned}$$

Определим суммарные термосопротивления для подающего  $R_{\text{tot1}}$  и обратного  $R_{\text{tot2}}$  трубопроводов при  $K_1 = 0,9$  (см прил. 11):

$$R_{\text{tot1}} = \frac{(\tau_1 - t_o)}{q_{l1}k_1} = \frac{(90 - 4)}{42 \cdot 0,9} = 2,275 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_{\text{tot2}} = \frac{(\tau_2 - t_o)}{q_{l2}k_1} = \frac{(50 - 4)}{17 \cdot 0,9} = 3,006 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}.$$

Определим требуемые термические сопротивления слоев изоляции для подающего  $R_{\kappa1}$  и обратного  $R_{\kappa2}$  теплопроводов:

$$R_{k1} = R_{tot1} - R_{rp1} - R_{01} = 2,275 - 0,241 - 0,055 = 1,931 \text{ м} \cdot \text{°C} / \text{Вт};$$

$$R_{k2} = R_{tot2} - R_{rp2} - R_{02} = 3,006 - 0,248 - 0,328 = 2,430 \text{ м} \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Определим толщины слоев изоляции для подающего  $\delta_{k1}$  и обратного  $\delta_{k2}$  теплопроводов:

$$\delta_{k1} = \frac{d_n (e^{2\pi\lambda_{k1}R_{k1}} - 1)}{2} = \frac{0,159(2,7^{2 \cdot 3,14 \cdot 0,06 \cdot 1,931} - 1)}{2} = 0,066 \text{ м};$$

$$\delta_{k2} = \frac{d_n (e^{2\pi\lambda_{k2}R_{k2}} - 1)}{2} = \frac{0,159(2,7^{2 \cdot 3,14 \cdot 0,06 \cdot 2,430} - 1)}{2} = 0,067 \text{ м}$$

Принимаем толщину основного слоя изоляции одинаковой для подающего и обратного трубопроводов и равной 70 мм.

**Пример 2.11.** По нормируемой плотности теплового потока определить толщину тепловой изоляции из минераловатных полуцилиндров двухтрубной прокладки тепловой сети с диаметрами  $d_n = 159$  мм в техподполье. Среднегодовые температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах соответственно  $\tau_1 = 86$  °С,  $\tau_2 = 48$  °С. Среднегодовая температура воздуха в техподполье  $t_o = +5$  °С.

**Решение.** Определим в соответствии с требованиями [2] среднюю температуру слоя изоляции  $t_{т}$  и коэффициент теплопроводности для подающего  $\lambda_{k1}$  и обратного  $\lambda_{k2}$  теплопроводов.

Для подающего теплопровода:

$$t_{т.п} = \frac{\tau_1 + 40}{2} = \frac{86 + 40}{2} = 63 \text{ °С};$$

$$\lambda_{k1} = 0,051 + 0,0002 t_{т.п} = 0,051 + 0,0002 \cdot 63 = 0,064 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С}).$$

Для обратного теплопровода:

$$t_{т.о} = \frac{\tau_2 + 40}{2} = \frac{48 + 40}{2} = 44 \text{ °С};$$



$$\lambda_{k2} = 0,051 + 0,0002 t_{T,0} = 0,051 + 0,0002 \cdot 44 = 0,06 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

По прил. 8 определим нормируемые плотности теплового потока для подающего  $q_{l1} = 32,4$  Вт/м и обратного  $q_{l2} = 17,2$  Вт/м теплопроводов. При значении  $K_1 = 0,96$  (см. прил. 11) определим по формуле (1.68) суммарные термические сопротивления для подающего  $R_{\text{tot1}}$  и обратного  $R_{\text{tot2}}$  трубопроводов:

$$R_{\text{tot1}} = \frac{(\tau_1 - t_0)}{q_{l1} k_1} = \frac{(86 - 5)}{32,4 \cdot 0,96} = 2,604 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_{\text{tot2}} = \frac{(\tau_2 - t_0)}{q_{l2} k_1} = \frac{(48 - 5)}{17,2 \cdot 0,96} = 2,604 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}.$$

Приняв предварительно толщину слоя изоляции для подающего трубопровода  $\delta_{k1} = 0,05$  м и для обратного трубопровода  $\delta_{k2} = 0,03$  м, определим термическое сопротивление поверхности теплоизоляционного слоя для подающего  $R_{\text{п.с1}}$  и обратного  $R_{\text{п.с2}}$  теплопроводов при коэффициенте теплоотдачи  $\alpha_l = 11$  Вт/(м<sup>2</sup> · °C):

$$R_{\text{п.с1}} = \frac{1}{\alpha_l \pi d_{\text{н.с1}}} = \frac{1}{11 \cdot 3,14 (0,159 + 2 \cdot 0,05)} = 0,112 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_{\text{п.с2}} = \frac{1}{\alpha_l \pi d_{\text{н.с2}}} = \frac{1}{11 \cdot 3,14 (0,159 + 2 \cdot 0,03)} = 0,132 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}.$$

Определим требуемые термосопротивления слоев изоляции для подающего  $R_{k1}$  и обратного  $R_{k2}$  теплопроводов:

$$R_{k1} = R_{\text{tot1}} - R_{\text{п.с1}} = 2,604 - 0,112 = 2,578 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_{k2} = R_{\text{tot2}} - R_{\text{п.с2}} = 2,604 - 0,132 = 2,472 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}.$$

Определим величину  $B$  для подающего и обратного теплопроводов:

$$B_1 = e^{2\pi\lambda_{k1}R_{k1}} = 2,7^{2 \cdot 3,14 \cdot 0,064 \cdot 2,578} = 2,798;$$

$$B_2 = e^{2\pi\lambda_{k2}R_{k2}} = 2,7^{2 \cdot 3,14 \cdot 0,06 \cdot 2,472} = 2,521$$

Определим требуемую толщину слоев изоляции для подающего  $\delta_{к1}$  и обратного  $\delta_{к2}$  теплопроводов:

$$\delta_{к1} = \frac{d_n (B_1 - 1)}{2} = \frac{0,159(2,798 - 1)}{2} = 0,142 \text{ м};$$

$$\delta_{к2} = \frac{d_n (B_2 - 1)}{2} = \frac{0,159(2,521 - 1)}{2} = 0,121 \text{ м}.$$

Принимаем толщину основного слоя изоляции одинаковой для подающего и обратного трубопроводов и равной 150 мм.

**Пример 2.12.** Определить размеры П-образного компенсатора и его реакцию для участка трубопровода с длиной пролета между неподвижными опорами  $L = 100$  м. Расчетная температура теплоносителя  $\tau_1 = 150$  °С. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления  $t_0 = -31$  °С. Учесть при расчетах предварительную растяжку компенсатора. При подборе компенсатора использовать данные, приведенные в [7. С. 176–178], а также в прил. 14.

**Решение.** Приняв по [9] коэффициент температурного удлинения  $\alpha = 1,20 \cdot 10^{-2}$  мм/(м· °С), определим расчетное удлинение участка трубопровода по формуле (1.81)

$$\Delta l = \alpha L (\tau_1 - t_0) = 1,20 \cdot 10^{-2} \cdot 100(150 + 31) = 218 \text{ мм}.$$

Расчетное удлинение  $\Delta l_p$  с учетом предварительной растяжки компенсатора составит

$$\Delta l_p = 0,5 \Delta l = 0,5 \cdot 218 = 109 \text{ мм}.$$

По табл. 14.3 прил.14, ориентируясь на  $\Delta l_p$ , принимаем П-образный компенсатор, имеющий компенсирующую способность  $\Delta l_k = 120$  мм, вылет  $H = 1,8$  м, спинку  $c = 1,56$  м. По табл. 14.4 прил. 14 определим реакцию компенсатора  $P$  при значении  $P_k = 0,72$  кН/см и  $\Delta l_p = 10,9$  см

$$P = P_k \Delta l_p = 0,72 \cdot 10,9 = 7,85 \text{ кН}.$$

**Пример 2.13.** Определить количество односторонних сальниковых компенсаторов для участка тепловой сети  $d_n = 530$  мм и длиной  $L = 500$  м. Определить реакцию компенсатора  $P_k$  при рабочем давлении теплоносителя  $P_p = 1,5$  МПа. Расчетная температура теплоносителя  $\tau_1 = 150$  °С. Расчетная температура наружного воздуха  $t_o = -31$  °С.

**Решение.** Приняв по [9] коэффициент температурного удлинения  $\alpha = 1,25 \cdot 10^{-5}$  мм/(м · °С), определим удлинение участка трубопровода

$$\Delta l = \alpha L (\tau_1 - t_o) = 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 500 (150 + 31) = 1131 \text{ мм.}$$

По табл. 14.1 прил. 14 определим компенсирующую способность одностороннего сальникового компенсатора  $\Delta_k = 300$  мм и длину сальниковой набивки  $l_c = 130$  мм. Расчетная компенсирующая способность компенсатора  $\Delta_p$  составит

$$\Delta_p = \Delta_k - 50 = 300 - 50 = 250 \text{ мм.}$$

Количество компенсаторов  $n$  на расчетном участке составит

$$n = \frac{\Delta l}{\Delta_p} = \frac{1131}{250} = 4,52 \approx 5 \text{ шт.}$$

Определим по формуле (1.83) реакцию компенсатора  $P_k$ , приняв коэффициент трения сальниковой набивки  $\mu = 0,15$

$$\begin{aligned} P_k &= 2P_p l_c d_{н.с} \mu_c \pi = \\ &= 2 \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,130 \cdot 0,530 \cdot 0,15 \cdot 3,14 = 97356 \text{ Н} = 97,356 \text{ кН.} \end{aligned}$$

**Пример 2.14.** Определить количество сильфонных компенсаторов для участка тепловой сети  $d_n = 219$  мм и длиной  $L = 150$  м. Определить также реакцию компенсатора  $P_k$  при рабочем давлении  $P_p = 1,5$  МПа. Расчетная температура теплоносителя  $\tau_1 = 150$  °С. Расчетная температура наружного воздуха  $t_o = -31$  °С.

**Решение.** Приняв коэффициент температурного удлинения  $\alpha = 1,25 \cdot 10^{-2}$  мм/(м · °С), используя данные табл. 14.2 прил. 14, по формуле (1.87) определим максимальную длину участка, на которой может обеспечить компенсацию один сильфонный компенсатор:

$$L_m = \frac{0,9 \cdot 2\lambda}{\alpha(\tau_1 - t_0)} = \frac{0,9 \cdot 2 \cdot 80}{1,2 \cdot 10^{-2}(150 + 31)} = 66,3 \text{ м.}$$

Здесь  $\lambda$  – амплитуда осевого хода, мм,  $\lambda = 80$  мм (см. табл. 14.2 прил. 14)

Необходимое количество компенсаторов  $n$  на расчетном участке составит

$$n = \frac{L}{L_m} = \frac{150}{66,3} = 2,3 \approx 3 \text{ шт.}$$

Примем одинаковые пролеты между неподвижными опорами

$$150/3 = L_\phi = 50 \text{ м.}$$

Определим фактическую амплитуду компенсатора  $\lambda_\phi$  при длине пролета между неподвижными опорами  $L_\phi = 50$  м.

$$\lambda_\phi = \frac{\alpha(\tau_1 - t_0)L_\phi}{0,9 \cdot 2} = \frac{1,2 \cdot 10^{-2}(150 + 31)50}{0,9 \cdot 2} = 60,3 \text{ мм}$$

Определим по формуле (1.84) реакцию компенсатора  $R_{с.к.}$ , приняв одинаковые пролеты между неподвижными опорами  $L = 50$  м:

$$R_{с.к.} = R_{жс} + R_p,$$

где  $R_{жс}$  – осевая реакция, возникающая вследствие жесткости осевого хода, определяется по формуле (1.85)

$$R_{жс} = C_\lambda \lambda_\phi = 408 \cdot 60,3 = 24\ 616 \text{ Н,}$$

где  $C_\lambda$  – жесткость волны, Н/мм, ( по табл. 14.2 прил. 14  $C_\lambda = 408$  Н/мм );  
 $R_p$  – осевая реакция от внутреннего давления, Н, определяемая по формуле (1.86)

$$R_p = \varphi \frac{\pi}{4} (D_c^2 - d_T^2) P_{изб} = 0,5 \frac{3,14}{4} (0,337^2 - 0,219^2) 1,5 \cdot 10^6 = 38\ 627 \text{ Н.}$$

Определим по формуле (1.84) реакцию компенсатора  $P_{с.к.}$

$$R_{с.к.} = R_{жс} + R_p = 24\ 616 + 38\ 627 = 63\ 243 \text{ Н.}$$

**Пример 2.15.1.** Определить без учета гибкости отвода изгибающее напряжение от термических деформаций в трубопроводе диаметром  $d_n = 159$  мм у неподвижной опоры А (рис. 2.8) при расчетной температуре теплоносителя  $\tau = 150$  °С и температуре окружающей среды  $t_0 = -31$  °С. Модуль продольной упругости стали  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент линейного расширения  $\alpha = 1,25 \cdot 10^{-5}$  1/°С. Сравнить с допускаемым напряжением  $\delta_{\text{доп}} = 80$  МПа.

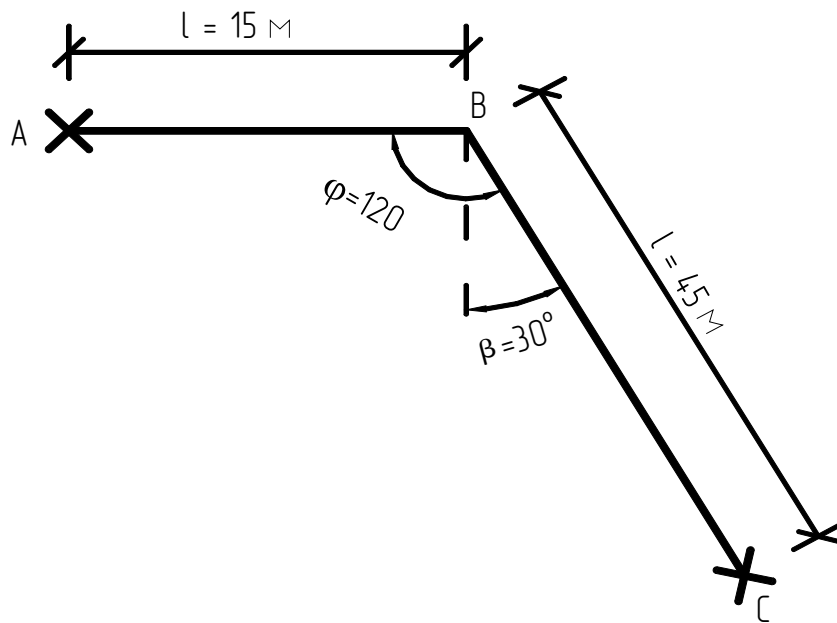


Рис. 2.8. Схема расчетного участка

**Решение.** Определим линейное удлинение  $\Delta l_1$  длинного плеча  $l_1$

$$\Delta l_1 = \alpha l_1 (\tau - t_0) = 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 45 (150 + 31) = 0,102 \text{ м.}$$

При  $\beta = 30^\circ$  и  $n = l_1/l_2 = 3$  по формуле (1.88) находим изгибающее напряжение у опоры А

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1,5 \Delta l E d}{l^2 \cos \beta} \left( n + 1 + \frac{n + 3}{n + 1} \sin \beta \right) = \\ &= \frac{1,5 \cdot 0,102 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,159}{15^2 \cdot 0,866} \left( 3 + 1 + \frac{3 + 3}{3 + 1} 0,5 \right) = 118,6 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Полученное изгибающее напряжение превышает допускаемое

$[\sigma_{\text{доп}}] = 80$  МПа. Следовательно, данный угол поворота **не может быть использован для самокомпенсации.**

**Пример 2.15.2.** Определить изгибающее напряжение от термических деформаций у неподвижной опоры А по исходным данным примера 2.15.1, но при условии равенства длин плеч угла  $l_1 = l_2 = 30$  метров. Определить также силу упругой деформации  $P_y$

**Решение.** Определим линейное удлинение плеча

$$\Delta l = \alpha l_1(\tau - t_0) = 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 30(150 + 31) = 0,068 \text{ м.}$$

При  $\beta = 30^\circ$  и  $n = l_1/l_2 = 1$  по формуле (1.88) находим напряжение у опоры А

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1,5\Delta l E d}{l^2 \cos \beta} \left( n + 1 + \frac{n + 3}{n + 1} \sin \beta \right) = \\ &= \frac{1,5 \cdot 0,068 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,159}{30^2 \cdot 0,866} \left( 1 + 1 + \frac{1 + 3}{1 + 1} \cdot 1 \right) = 12,5 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Полученное изгибающее напряжение не превышает допустимого  $[\sigma_{\text{доп}}] = 80$  МПа. Следовательно, данный угол поворота может быть использован для самокомпенсации.

Силу упругой деформации  $P_y$  согласно [10] определим по формуле

$$P_y = B \frac{\alpha F I \Delta t}{10^7 l^2},$$

где  $B$  – коэффициент, определяемый по номограмме 10.27 [9] либо по формуле

$$B = \frac{12(1 + \sin \beta)}{\cos^2 \beta} = \frac{12(1 + \sin 30)}{\cos^2 30} = \frac{12(1 + 0,5)}{0,75} = 24.$$

Значение  $\frac{\alpha F I}{10^7}$  определим по табл. 10.20 [9]. При наружном диаметре трубы  $d_n = 15,9$  см  $\frac{\alpha F I}{10^7} = 1,56$  кгс·м<sup>2</sup>/град.

Значение  $\Delta t$  составит

$$\Delta t = \tau - t_0 = 150 + 31 = 181 \text{ }^\circ\text{C.}$$

При длине плеча  $l = 30$  сила упругой деформации  $P_y$  составит

$$P_y = 24 \frac{1,56 \cdot 181}{900} = 7,53 \text{ кгс} = 75,3 \text{ Н.}$$

**Пример 2.16.** Определить горизонтальное осевое усилие  $H_{г.о}$  на неподвижную опору Б. Определить вертикальную нормативную нагрузку  $F_v$  на неподвижную опору. Схема расчетного участка приведена на рис. 2.9.

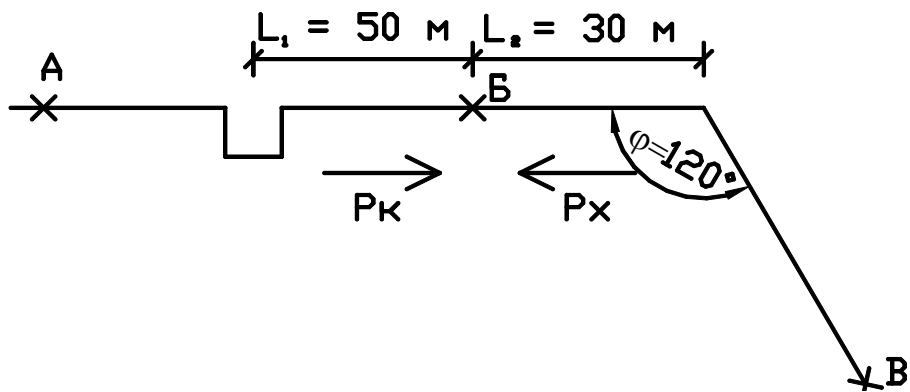


Рис. 2.9. Схема расчетного участка

Трубопровод с  $d_n \times S = 159 \times 6$  мм проложен в техподполье. Вес одного погонного метра трубопровода с водой и изоляцией  $G_h = 513$  Н. Расстояние между подвижными опорами  $L = 7$  м. Коэффициент трения в подвижных опорах  $\mu = 0,4$ . Реакция компенсатора  $P_k = 7,85$  кН. Сила упругой деформации угла поворота  $P_x = 0,12$  кН.

**Решение.** Расчет горизонтальных усилий  $H_{г.о}$  на опору Б для различных тепловых режимов работы трубопровода выполним по формулам, приведенным в [9. С. 236]:

$$H_{г.о} = P_k + \mu G_h L_1 - 0,7 \mu G_h L_2 = 7\,850 + 0,4 \cdot 513 \cdot 50 - 0,7 \cdot 0,4 \cdot 513 \cdot 30 = 13\,801 \text{ Н;}$$

$$H_{г.о} = P_k + \mu G_h L_2 - 0,7 \mu G_h L_1 = 7\,850 + 0,4 \cdot 513 \cdot 30 - 0,7 \cdot 0,4 \cdot 513 \cdot 50 = 6\,824 \text{ Н;}$$

$$H_{г.о} = P_x + \mu G_h L_2 - 0,7(P_k + \mu G_h L_1) = 120 + 0,4 \cdot 513 \cdot 30 - 0,7(7\,850 + 0,4 \cdot 513 \cdot 50) = -11\,714 \text{ Н;}$$

$$H_{г.о} = P_x + \mu G_h L_1 - 0,7(P_k + \mu G_h L_2) = 120 + 0,4 \cdot 513 \cdot 50 -$$

$$-0,7(7\,850 + 0,4 \cdot 513 \cdot 30) = -3\,626 \text{ Н.}$$

В качестве расчетного усилия принимаем наибольшее значение  $H_{г.о} = 13\,801 \text{ Н} = 13,801 \text{ кН}$ . Вертикальную нормативную нагрузку на подвижную опору  $F_v$  определим по формуле (1.93)

$$F_v = G_h L = 513 \cdot 7 = 3\,591 \text{ Н} = 3,591 \text{ кН.}$$

**Пример 2.17.** Определить диаметры спускных устройств (воздушников и спускников) для участка трубопровода, схема которого приведена на рис. 2.10.

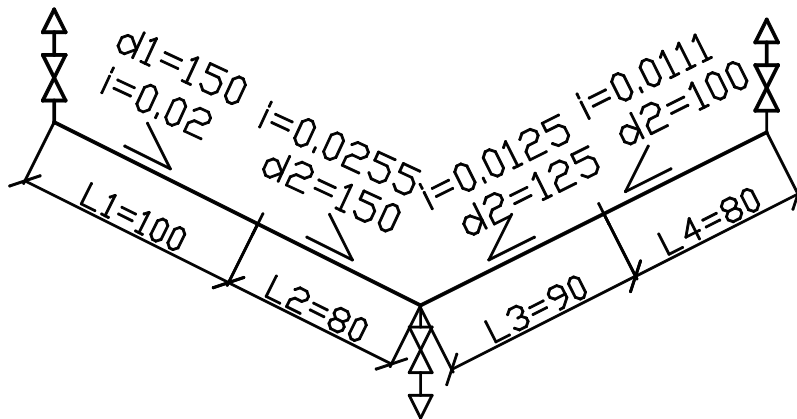


Рис. 2.10. Схема расчетного участка

**Решение.** Условные проходы штуцеров и арматуры для выпуска воздуха принимаем согласно рекомендациям на с. 41–42. При диаметрах условного прохода труб тепловых сетей 100–150 мм диаметр штуцеров и арматуры для выпуска воздуха принимается равным 20 мм. Для определения условных проходов штуцера и арматуры для выпуска воды предварительно определим диаметры этих устройств для каждой из примыкающих к нижней точке сторон трубопровода.

Выполним расчеты для левой стороны. Определим приведенный диаметр по формуле (1.90)

$$d_{\text{ред}} = \frac{d_1 l_1 + d_2 l_2}{l_1 + l_2} = \frac{0,150 \cdot 100 + 0,125 \cdot 80}{100 + 80} = 0,139 \text{ м}$$

Определим приведенный уклон



$$i_{\text{red}} = \frac{i_1 l_1 + i_2 l_2}{l_1 + l_2} = \frac{0,020 \cdot 100 + 0,0255 \cdot 80}{100 + 80} = 0,022.$$

Приняв коэффициент расхода для вентиля  $m = 0,0144$ , коэффициент  $n = 0,72$  при времени опорожнения не более 2 ч, по формуле (1.89) определим диаметр спускного устройства для левой стороны

$$d_1 = d_{\text{red}} m n \sqrt[4]{\frac{\sum l}{i_{\text{red}}}} = 0,139 \cdot 0,0144 \cdot 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{180}{0,022}} = 0,0137 \text{ м.}$$

Выполним аналогичные расчеты и для правой стороны. Приведенный диаметр составит

$$d_{\text{red}} = \frac{d_3 l_3 + d_4 l_4}{l_3 + l_4} = \frac{0,125 \cdot 80 + 0,100 \cdot 90}{80 + 90} = 0,112 \text{ м.}$$

Приведенный уклон составит

$$i_{\text{red}} = \frac{i_3 l_3 + i_4 l_4}{l_3 + l_4} = \frac{0,0125 \cdot 80 + 0,0111 \cdot 90}{80 + 90} = 0,0112.$$

Определим диаметр спускного устройства для правой стороны

$$d_2 = d_{\text{red}} m n \sqrt[4]{\frac{\sum l}{i_{\text{red}}}} = 0,112 \cdot 0,0144 \cdot 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{170}{0,0112}} = 0,0123 \text{ м.}$$

Определим по формуле (1.92) диаметр штуцера и запорной арматуры для обеих сторон

$$d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2} = \sqrt{0,0137^2 + 0,0123^2} = 0,018 \text{ м.}$$

Поскольку расчетный диаметр спускного устройства  $d = 18$  мм меньше рекомендованного  $d_y = 50$  мм (табл. 1.6), к установке принимаем штуцер с наибольшим диаметром из сравниваемых  $d_y = 50$  мм.

**Пример 2.18.** Для системы отопления с расчетным расходом сетевой воды  $G = 3,75$  т/ч и расчетным коэффициентом смешения  $U_p = 2,2$  определить диаметр горловины и диаметр сопла элеватора исходя из

условия использования необходимого располагаемого напора. Потери напора в системе отопления при расчетном расходе смешанной воды  $h = 1,5$  м. Располагаемый напор в тепловом пункте перед системой отопления  $H_{т.п} = 28$  м.

**Решение.** Требуемый располагаемый напор для работы элеватора определяется по формуле (1.107)

$$H_{эл} = 1,4h(U_p + 1)^2 = 1,4 \cdot 1,5 (2,2 + 1)^2 = 21,5 \text{ м.}$$

Расчетный диаметр горловины  $d_r$  определяется по формуле (1.109)

$$d_r = 8,5 \sqrt[4]{\frac{G^2 (1 + U_p)^2}{h}} = 8,5 \sqrt[4]{\frac{3,75^2 (1 + 2,2)^2}{1,5}} = 26,6 \text{ мм.}$$

Расчетную величину диаметра горловины округляем в сторону уменьшения до стандартного диаметра  $d_r = 25$  мм, что соответствует № 3 элеватора.

Расчетный диаметр сопла определяем по формуле (1.110)

$$d_c = 9,6 \sqrt{\frac{G}{\sqrt{H}}} = 9,6 \sqrt{\frac{3,75}{\sqrt{21,5}}} = 8,6 \text{ мм.}$$

Избыточный напор в тепловом пункте, который следует погасить авторегулятором давления  $H_{рег}$ , определится как разность располагаемого напора в тепловом пункте перед системой отопления  $H_{т.п}$  и потерь напора в сопле элеватора  $H_{эл}$  и в системе отопления  $h$ :

$$H_{рег} = H_{т.п} - H_{эл} - h = 28 - 21,5 - 1,5 = 5 \text{ м.}$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. СНиП 41-02-2003. Тепловые сети. М.: Госстрой России, 2003.
2. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. М.: Госстрой России, 2003.
3. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. М.: Госстрой России, 2001.
4. СНиП 2.04.01.85\*. Внутренний водопровод и канализация зданий. М.: ГУП ЦПП, 1999.
5. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. М.: Госстрой России, 2000.
6. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. М.: ГУП ЦПП, 1997. 79 с.
7. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию / И. В. Беляйкина, В. П. Витальев, Н. К. Громов и др.; Под ред. Н. К. Громова, Е. П. Шубина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. 376 с.
8. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж и др. М.: Стройиздат, 1988. 432 с.
9. Проектирование тепловых сетей: Справочник проектировщика / Под ред. А. А. Николаева. М.: Стройиздат, 1965. 360 с.
10. Малышенко В. В., Михайлов А. К. Энергетические насосы: Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1981. 200 с.
11. Лямин А. А., Скворцов А. А. Проектирование и расчет конструкций тепловых сетей. М.: Стройиздат, 1965. 295 с.
12. Зингер Н. М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986. 320 с.
13. Справочник строителя тепловых сетей / Под ред. С. Е. Захаренко. М.: Энергоатомиздат, 1984. 184 с.
14. ГОСТ 21.605-82. Сети тепловые. Рабочие чертежи. М.: Изд-во стандартов, 1982. 10 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

*Основные буквенные обозначения величин*

$Q_{o \max}$  – максимальный тепловой поток на отопление при  $t_o$ , Вт;

$Q_{от}$  – средний тепловой поток на отопление при  $t_{от}$ , Вт;

$Q_{v \max}$  – максимальный тепловой поток на вентиляцию при  $t_o$ , Вт;

$Q_{вт}$  – средний тепловой поток на вентиляцию при  $t_{от}$ , Вт;

$Q_{h \max}$  – максимальный тепловой поток на горячее водоснабжение в сутки наибольшего водопотребления за период со среднесуточной температурой наружного воздуха  $+8$  °С ( $+10$  °С) и менее (за отопительный период), Вт;

$Q_{hm}$  – средний тепловой поток на горячее водоснабжение в средние сутки за неделю в отопительный период, Вт;

$Q_{hm}^s$  – то же за период со среднесуточной температурой наружного воздуха более  $+8$  °С ( $+10$  °С) (неотопительный период), Вт;

$c$  – удельная теплоемкость воды, принимаемая в расчетах равной  $4,187$  кДж/(кг · °С);

$q_o$  – укрупненный показатель максимального теплового потока на отопление жилых зданий на  $1$  м<sup>2</sup> общей площади, принимаемый по рекомендуемому приложению, Вт;

$A$  – общая площадь жилых зданий, м<sup>2</sup>;

$q_h$  – укрупненный показатель среднего теплового потока на горячее водоснабжение на одного человека, принимаемый по рекомендуемому приложению, Вт;

$t_o$  – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, °С;

$t_i$  – средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, принимаемая для жилых и общественных зданий равной  $18$  или  $20$  °С, для производственных зданий  $16$  °С;

$t_{от}$  – средняя температура наружного воздуха за период со среднесуточной температурой воздуха  $+8$  °С ( $+10$  °С) и менее (отопительный период), °С;

$t_c$  – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период (при отсутствии данных принимается равной  $5$  °С);

$t_c^s$  – температура холодной (водопроводной) воды в неотопительный период (при отсутствии данных принимается равной  $15$  °С);

$t^I$  – температура воды после первой ступени подогрева при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей;

$t_h$  – температура воды, поступающей в систему горячего водоснабжения потребителей, °С;

$\tau_1$  – температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети при расчетной температуре наружного воздуха  $t_o$ , °С;

$\tau_2$  – то же в обратном трубопроводе тепловой сети, °С;

$\tau_1^I$  – температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети в точке излома графика температур воды, °С;

$\tau_2^I$  – то же в обратном трубопроводе тепловой сети после системы отопления зданий, °С;

$\tau_3^I$  – температура воды после параллельно включенного водоподогревателя горячего водоснабжения в точке излома графика температур воды (рекомендуется принимать  $\tau_3^I = 30$  °С);

$G_{o \max}$  – максимальный расход сетевой воды на отопление, кг/ч;

$G_{v \max}$  – максимальный расход сетевой воды на вентиляцию, кг/ч;

$G_{hm}$ ,  $G_{h \max}$  – средний и максимальный расходы сетевой воды на горячее водоснабжение, кг/ч;

$G_d$  – суммарный расчетный расход сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях открытых и закрытых систем теплоснабжения, кг/ч;

$G_d^s$  – расчетный расход воды в двухтрубных водяных тепловых сетях в неотапительный период, кг/ч;

$k_e$  – эквивалентная шероховатость внутренней поверхности стальных труб, м;

$\rho$  – средняя плотность теплоносителя на рассчитываемом участке, кг/ч;

$\lambda$  – коэффициент гидравлического трения;

Re – число Рейнольдса;

$a$  – норма расхода воды на горячее водоснабжение при температуре 55 °С на одного человека в сутки, л;

$v$  – норма расхода воды на горячее водоснабжение, потребляемой в общественных зданиях, при температуре 55 °С, принимаемая в размере 25 л/сут на одного человека;

$m$  – число человек;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотапительный период по отношению к отопительному периоду, принимаемый при отсутствии данных для жилищно-коммунального сектора равным 0,8 (для курортных и южных городов  $\beta = 1,5$ ).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Укрупненные показатели максимального теплового потока на отопление жилых зданий  $q_o$ , Вт,  
на 1 м<sup>2</sup> общей площади

Этажность жилой застройки	Характеристика зданий	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления $t_o$ , °С										
		- 5	- 10	- 15	- 20	- 25	- 30	- 35	- 40	- 45	- 50	- 55
Для постройки до 1985 г.												
1–2	Без учета внедрения энергосберегающих мероприятий	148	154	160	205	213	230	234	237	242	255	271
3–4		95	102	109	117	126	134	144	150	160	169	179
5 и более		65	70	77	79	86	88	98	102	109	115	122
1–2	С учетом внедрения энергосберегающих мероприятий	147	153	160	194	201	218	222	225	230	242	257
3–4		90	97	103	111	119	128	137	140	152	160	171
5 и более		65	69	73	75	82	88	92	96	103	109	116
Для постройки после 1985 г.												
1–2	По новым типовым проектам	145	152	159	166	173	177	180	187	194	200	208
3–4		74	80	86	91	97	101	103	109	116	123	130
5 и более		65	67	70	73	81	87	87	95	100	102	108

Примечания:

1. Энергосберегающие мероприятия обеспечиваются проведением работ по утеплению зданий при капитальных и текущих ремонтах, направленных на снижение тепловых потерь.
2. Укрупненные показатели зданий по новым типовым проектам приведены с учетом внедрения прогрессивных архитектурно-планировочных решений и применения строительных конструкций с улучшенными теплофизическими свойствами, обеспечивающими снижение тепловых потерь.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

*Укрупненные показатели среднего теплового потока  $q_h$ , Вт,  
на горячее водоснабжение.*

Средняя за отопительный период норма расхода воды при температуре 55 °С на горячее водоснабжение в сутки на 1 чел., проживающего в здании с горячим водоснабжением, л	На одного человека, проживающего в здании		
	с горячим водоснабжением	с горячим водоснабжением с учетом потребления в общественных зданиях	без горячего водоснабжения с учетом потребления в общественных зданиях
85	247	320	73
90	259	332	73
105	305	376	73
115	334	407	73

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

## Т а б л и ц а 4.1

*Удельные тепловые характеристики жилых  
и общественных зданий*

Здания	Объем зданий $V$ , тыс. м <sup>3</sup>	Удельные тепловые характеристики, Вт/(м <sup>3</sup> · °С)		Расчетная усреднен. внутр. температура $t_i$ , °С
		для отопления $q_{ог}$	для вентиляции $q_{вент}$	
Жилые кирпичные здания	До 5	0,44		18–20
	До 10	0,38		
	До 15	0,34		
	До 20	0,32		
	До 30	0,32		
Жилые 5-этажные крупноблочные здания, жилые 9-этажные крупнопанельные здания	До 6	0,49		
	До 12	0,43		
	До 16	0,42		
	До 25	0,43		
	До 40	0,42		
Детские сады и ясли	До 5	0,44	0,13	20
	Более 5	0,39	0,12	

## Окончание т а б л. 4.1

Здания	Объем зданий V, тыс. м <sup>3</sup>	Удельные тепловые характеристики, Вт/(м <sup>3</sup> · °С),		Расчетная усреднен. внутр. температура t <sub>i</sub> , °С
		для отопления q <sub>от</sub>	для вентиляции q <sub>вент</sub>	
Административные здания	До 5	0,50	0,10	18
	До 10	0,44	0,09	
	До 15	0,41	0,08	
	Более 15	0,37	0,21	
Клубы, дома культуры	До 5	0,43	0,29	16
	До 10	0,38	0,27	
	Более 10	0,35	0,23	
Кинотеатры	до 5	0,42	0,50	14
	до 10	0,37	0,45	
	более 10	0,35	0,44	
Театры, цирки, концертные и зрелищно-спортивные залы	До 10	0,34	0,47	15
	До 15	0,31	0,46	
	До 20	0,25	0,44	
	До 30	0,23	0,42	
Универмаги, магазины промтоварные	До 5	0,44	0,50	15
	До 10	0,38	0,40	
	Более 10	0,36	0,32	
Магазины продовольственные	До 1500	0,60	0,70	12
	До 8000	0,45	0,50	
Школы и высшие учебные заведения	До 5	0,45	0,10	16
	До 10	0,41	0,09	
	Более 10	0,38	0,08	
Больницы и диспансеры	До 5	0,46	0,34	20
	До 10	0,42	0,32	
	До 15	0,37	0,30	
	Более 15	0,35	0,29	
Бани, душевые павильоны	До 5	0,32	1,16	25
	До 10	0,36	1,10	
	Более 10	0,27	1,04	
Прачечные	До 5	0,44	0,93	15
	До 10	0,38	0,90	
	Более 10	0,36	0,87	
Предприятия общественного питания, столовые, фабрики-кухни	До 5	0,41	0,81	16
	До 10	0,38	0,75	
	Более 10	0,35	0,70	
Комбинаты бытового обслуживания, дома быта	До 0,5	0,70	0,80	18
	До 7	0,50	0,55	



Т а б л и ц а 4.2

*Поправочный коэффициент  $a$  к величине  $q_{от}$*

Расчетная температура наружного воздуха $t_o$ , °С	$a$	Расчетная температура наружного воздуха $t_o$ , °С	$a$
0	2,02	-30	1,00
-5	1,67	-35	0,95
-10	1,45	-40	0,90
-15	1,29	-45	0,85
-20	1,17	-50	0,82
-25	1,08	-55	0,80

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

*Нормы расхода воды потребителями*

Водопотребители	Потребитель	Норма расхода воды, л			Расход воды прибором, л/с (л/ч), горячей $q_{o,h}^h$ ( $q_{o,hr}^h$ )
		В средние сутки горячей $q_u^h$	В сутки наибольшего водопотребления горячей $q_u^h$	В час наибольшего водопотребления горячей $q_{u,hr,u}^h$	
1. Жилые дома квартирного типа: - с ваннами длиной от 1 500 до 1 700 мм, оборудованными душами; - высотой св. 12 этажей и повышенными требованиями к их благоустройству	1 житель	105	120	10	0,2 (200)
	1 житель	115	130	10,9	0,2 (200)
2. Общежития: - с общими душевыми -с душами при всех жилых комнатах - с общими кухнями и блоками душевых на этажах при жилых комнатах	То же	50	60	6,3	0,14 (60)
	То же	60	70	8,2	0,14 (60)
	То же	80	90	7,5	0,14 (60)
3. Гостиницы, пансионаты и мотели с общими ваннами и душами	То же	70	70	8,2	0,2 (200)
4. Гостиницы и пансионаты с душами во всех отдельных номерах	То же	140	140	12	0,14 (80)

## Продолжение прил. 5

Водопотребители	Потребитель	Норма расхода воды, л			Расход воды прибором, л/с (л/ч), горячей $q_{o,h}^h$ ( $q_{o,hr}^h$ )
		В средние сутки горячей $q_u^h$ ,	В сутки наибольшего водопотребления горячей $q_u^h$	В час наибольшего водопотребления горячей $q_{u,h,r,u}^h$	
5. Гостиницы с ваннами в отдельных номерах, % от общего числа номеров:					
до 25	То же	100	100	10,4	0,2 (180)
до 75	То же	150	150	15	0,2 (190)
до 100	То же	180	180	16	0,2 (200)
6. Больницы:					
- с общими ваннами и душевыми;	1 койка	75	75	5,4	0,14 (60)
с сан. узлами, приближенными к палатам;	1 койка	90	90	7,7	0,2 (200)
инфекционные	1 койка	110	110	9,5	0,14 (120)
7. Санатории и дома отдыха:					
с ваннами при всех жилых комнатах;	То же	120	120	4,9	0,2 (200)
с душами при всех жилых комнатах	То же	75	75	8,2	0,14 (60)
8. Поликлиники и амбулатории	1 больной в смену	5,2	6	1,2	0,14 (60)
9. Детские сады с дневным пребыванием детей:					
а) со столовыми, работающими на полуфабрикатах	1 ребенок	11,5	16	4,5	0,1 (60)
б) со столовыми, работающими на сырье	То же	25	35	8	0,14 (60)
- с круглосуточным пребыванием детей					
а) со столовыми, работающими на полуфабрикатах	То же	21,4	30	4,5	0,1 (60)
б) со столовыми работающими на сырье	То же	28,5	40	8	0,14 (60)
10. Прачечные механизированные	1 кг сухого белья	25	25	25	

## Окончание прил. 5

Водопотребители	Потребитель	Норма расхода воды, л			Расход воды прибором, л/с (л/ч), горячей $q_{o,h}^h$ ( $q_{o,hr}^h$ )
		В средние сутки горячей $q_u^h$ ,	В сутки наибольшего водопотребления горячей $q_u^h$	В час наибольшего водопотребления горячей $q_{u,h,r,u}^h$	
11. Административные здания	1 работающий	5	7	2	0,1 (60)
12. Учебные заведения	1 уч-ся и 1 преп-ль	6	8	1,2	0,1 (60)
13. Общеобразовательные школы	1 уч-ся и 1 преп-ль	3	3,5	1	0,1 (60)
14. Профтехучилища	То же	8	9	1,4	0,1 (60)
15. Научно-исследовательские институты и лаборатории:	1 работающий				
химического профиля		60	80	8	0,2 (200)
биологического профиля		55	75	8,2	0,2 (200)
физического профиля		15	20	1,7	0,2 (200)
естественных наук		5	7	1,7	0,1 (60)
16. Аптеки	То же	5	7	2	0,1 (40)
17. Предприятия общественного питания: для приготовления пищи; выпускающие полуфабрикаты:	1 условное блюдо	12,7	12,7	12,7	0,2 (200)
18. Магазины: продовольственные	1 работающий в смену	65	65	9,6	0,2 (200)
промтоварные	То же	5	7	2	0,1 (60)
19. Парикмахерские	1 рабочее место	33	35	4,7	0,1 (40)
20. Кинотеатры	1 место	1,5	1,5	0,2	0,1 (50)
21. Клубы	То же	2,6	3	0,4	0,1 (50)
22. Театры:					
для зрителей	То же	5	5	0,3	0,1 (40)
для артистов	1 артист	25	25	2,2	0,1 (50)
Бани:					
для мытья в мыльной с тазами на скамьях и ополаскиванием в душе	1 посетитель	-	120	120	0,4 (120)

## Примечания:

1. Нормы расхода воды установлены для основных потребителей и включают все дополнительные расходы (обслуживающим персоналом, душевыми для обслуживающего персонала, посетителями, на уборку помещений и т. п.).
2. Потребление воды в групповых душевых и на ножные ванны в бытовых зданиях, на стирку белья в прачечных и приготовление пищи на предприятиях общественного питания, а также на водолечебные процедуры в водолечебницах, входящих в состав больниц, санаториев и поликлиник, надлежит учитывать дополнительно.
3. Настоящие требования не распространяются на потребителей, для которых обязательным приложением 3 установлены нормы водопотребления, включающие расход воды на указанные нужды.
4. Нормы расхода воды в средние сутки приведены для выполнения технико-экономических сравнений вариантов.
5. Для водопотребителей гражданских зданий, сооружений и помещений, не указанных в настоящей таблице, нормы расхода воды следует принимать согласно настоящему приложению для потребителей, аналогичных по характеру водопотребления.
6. При неавтоматизированных стиральных машинах в прачечных и при стирке белья со специфическими загрязнениями норму расхода горячей воды на стирку 1 кг сухого белья допускается увеличивать до 30 %.
7. Для предприятий общественного питания и других потребителей горячей воды, где по условиям технологии требуется дополнительный подогрев воды, нормы расхода горячей воды следует принимать согласно настоящему приложению без учета коэффициента 0,85.

Гидравлические расчеты тепловых сетей

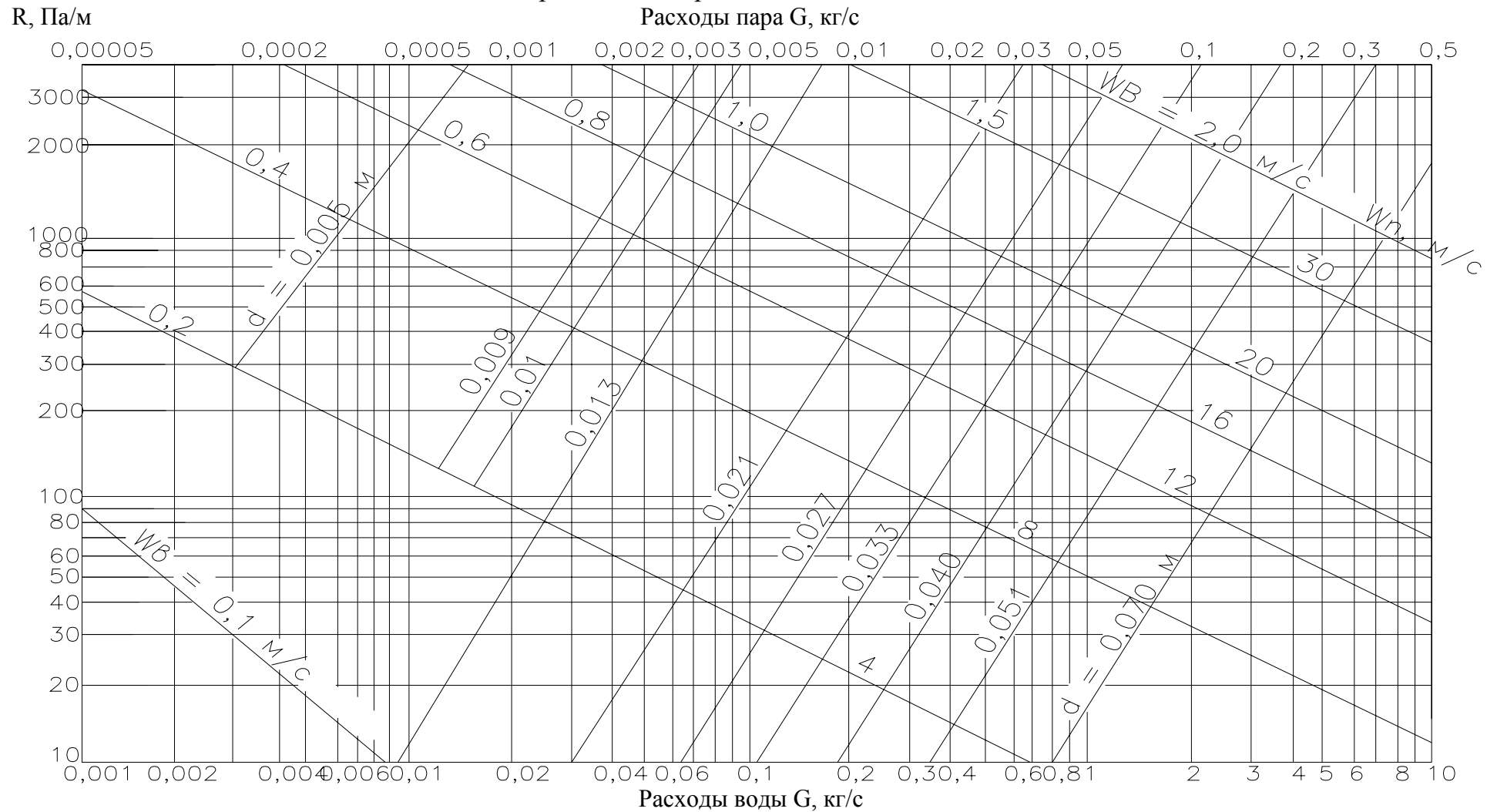


Рис. 6.1. Номограммы для гидравлического расчета трубопроводов.  
 Удельные перепады давления  $R$ , Па/м, в стальных трубах при  $k_s = 0,0005$  мм

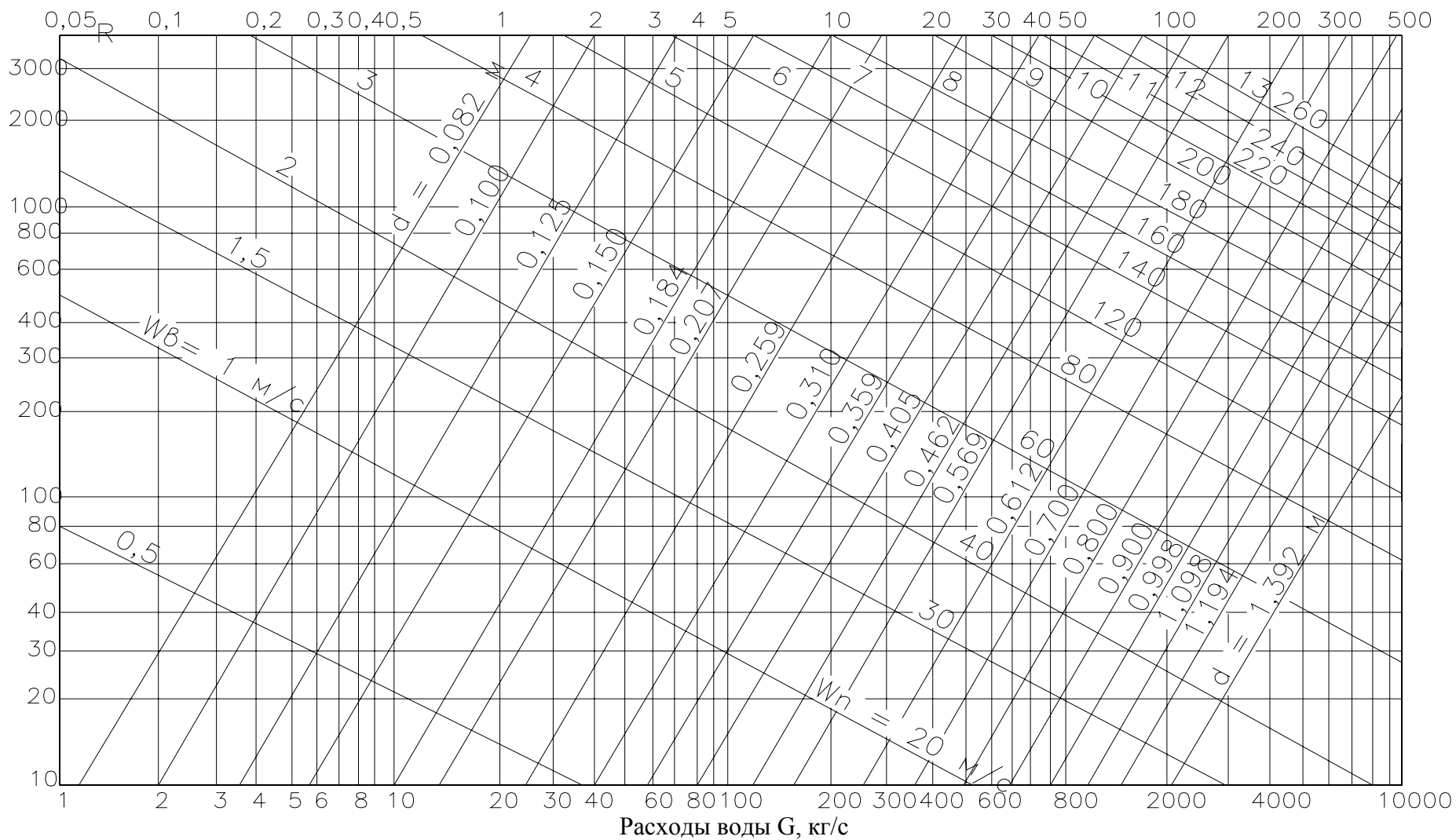
Расходы пара  $G$ , кг/с

Рис. 6.2. Номограммы для гидравлического расчета трубопроводов.  
Удельные перепады давления  $R$ , Па/м, в стальных трубах при  $k_s = 0,0005$  мм

Т а б л и ц а 6.1

Пропускная способность трубопроводов  
тепловых сетей ( $k_{\Sigma} = 0,5$  мм;  $\rho = 958,4$  кг/м<sup>3</sup>)

D <sub>y</sub> , мм	Пропускная способность в т/ч при удельных потерях давления на трение Δh, Па/м					D <sub>y</sub> , мм	Пропускная способность в т/ч при удельных потерях давления на трение Δh, Па/м				
	50	100	150	200	250		50	100	150	200	250
25	0,45	0,68	0,82	0,95	1,1	200	107	152	186	215	245
32	0,82	1,16	1,42	1,54	1,85	250	180	275	330	380	430
40	1,38	1,94	2,4	2,75	3,1	300	310	430	530	600	695
50	2,45	3,5	4,3	4,95	5,6	350	455	640	790	910	1030
70	5,8	8,4	10,2	11,7	13,3	400	660	930	1150	1320	1420
80	9,4	13,2	16,2	18,6	21	450	900	1280	1560	1830	2150
100	15,6	22	27,5	31,5	35	500	1200	1690	2050	2400	2650
125	28	40	49	56	64	600	1880	2650	3250	3800	4200
150	46	64	79	93	105	700	2700	3800	4600	5400	6000
175	79	112	138	157	171	800	3800	5400	6500	7700	8400

Т а б л и ц а 6.2

Значения коэффициента местных потерь давления α

Типы компенсаторов	Условный проход труб D <sub>y</sub> , мм	Значения коэффициента α	
		Для паропроводов	Для водяных тепловых сетей и конденсатопроводов
Транзитные магистрали			
Сальниковые	До 1000	0,2	0,2
П-образные с гнутыми отводами	До 300	0,5	0,3
П-образные сварными отводами	200-350	0,7	0,5
	400-500	0,9	0,7
	600-1000	1,2	1
Разветвленные тепловые сети			
Сальниковые	До 400	0,4	0,3
	450-1000	0,5	0,4
П-образные с гнутыми отводами	До 150	0,5	0,3
	175-200	0,6	0,4
	250-300	0,8	0,6
П-образные сварными отводами	175-250	0,8	0,6
	300-350	1	0,8
	400-500	1	0,9
	600-1000	1,2	1

Т а б л и ц а 6.3

*Коэффициенты местных сопротивлений*

Местное сопротивление	$\xi$	Местное сопротивление	$\xi$
Задвижка нормальная	0,5	45°	0,3
Кран шаровый	0,3	30°	0,2
Вентиль с вертикальным шпинделем	6	Отводы сварные двухшовные под углом 90°	0,6
Обратный клапан нормальный	7	Отводы сварные трехшовные под углом 90°	0,5
Обратный клапан “захлопка”	3	Отводы гнутые под углом 90° гладкие при R/d:	
Компенсатор сильфонный	0,1	1	1
Компенсатор сальниковый	0,3	3	0,5
Компенсатор П-образный:		4	0,3
с гладкими отводами	1,7	Тройник при слиянии потоков:	
с крутоизогнутыми отводами	2,4	проход*	1,5
со сварными отводами	2,8	ответвление	2
Отводы гнутые под углом 90° со складками при R/d:		Тройник при разделении потока:	1
3	0,8	проход*	
4	0,5	ответвление	1,5
Отводы сварные одношовные под углом, град:		Тройник при потоке:	
60°	0,7	расходящемся	2
		встречном	3
		Грязевик	10

\*Коэффициент  $\xi$  отнесен к участку с суммарным расходом воды.

Т а б л и ц а 6.4

*Значения  $l_s$  для труб при  $\sum \xi = 1$* 

Размер трубы, мм		$l_s$ , м, при $k_s$ , м			Размер трубы, мм		$l_s$ , м, при $k_s$ , м		
$D_y$ , мм	$D_n \times s$ , мм	0,0002	0,0005	0,001	$D_y$ , мм	$D_n \times s$ , мм	0,0002	0,0005	0,001
32	38×2,5	1,08	0,85	0,72	125	133×4	5,68	4,52	3,8
40	45×2,5	1,37	1,09	0,91	150	159×4,5	7,1	5,7	4,8
50	57×3	1,85	1,47	1,24	175	194×5	9,2	7,3	6,2
70	76×3	2,75	2,19	1,84	200	219×6	10,7	8,5	7,1
80	89×4	3,3	2,63	2,21	250	273×7	14,1	11,2	9,4
100	108×4	4,3	3,42	2,87	300	325×8	17,6	14,0	11,8



Размер трубы, мм		l <sub>э</sub> , м, при k <sub>э</sub> , м			Размер трубы, мм		l <sub>э</sub> , м, при k <sub>э</sub> , м		
D <sub>y</sub> , мм	D <sub>n</sub> × s, мм	0,0002	0,0005	0,001	D <sub>y</sub> , мм	D <sub>n</sub> × s, мм	0,0002	0,0005	0,001
350	377×9	21,2	16,9	14,2	700	720×10	48,9	38,9	32,7
400	426×9	24,9	19,8	16,7	800	820×10	57,8	46	38,7
400	426×6	25,4	20,2	17	900	920×11	66,8	53,1	44,7
450	480×7	29,4	23,4	19,7	1000	1020×12	76,1	60,5	50,9
500	530×8	33,3	26,5	22,2	1100	1120×12	85,7	68,2	57,3
600	630×9	41,4	32,9	27,7	1200	1220×14	95,2	95,2	63,7

## ПРИЛОЖЕНИЕ 7

*Максимальные расстояния между неподвижными опорами  
трубопроводов*

Условный проход труб, мм	Компенсаторы П-образные	Компенсаторы сальниковые	Самокомпенсация
	Расстояния между неподвижными опорами в м при параметрах теплоносителя: P <sub>раб</sub> = 8 – 16 кгс/см <sup>2</sup> , t = 100 – 150 °С		
1	2	3	4
32	50	-	30
40	60	-	36
50	60	-	36
70	70	-	42
80	80	-	48
100	80	70	48
125	90	70	54
150	100	80	60
175	100	80	60
200	120	80	72
250	120	100	72
300	120	100	72
350	140	120	84
400	160	140	96
450	160	140	96
500	180	140	108
600	200	160	120
700	200	160	120
800	200	160	120
900	200	160	120
1000	200	160	120

*Нормы плотности теплового потока  $q_e$ , Вт/м, через изолированную поверхность трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при числе часов работы в год более 5 000*

Условный проход труб $d$ , мм	Тип прокладки							
	Открытый воздух		Тоннель, помещение		Непроходной канал		Бесканальная прокладка	
	Средняя температура теплоносителя, °С							
	50	100	50	100	50	90	50	90
1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	11	20	8	18	8	18	9	20
32	12	22	8	20	9	20	10	20
40	12	23	9	21	10	21	11	22
50	14	26	10	23	11	23	12	24
65	16	29	12	26	12	27	13	29
80	17	31	13	28	13	29	14	31
100	19	34	14	31	14	33	15	35
125	21	38	16	35	15	39	16	38
150	23	42	18	38	17	42	17	42
200	28	50	22	46	19	49	19	49
250	33	57	26	53	21	54	21	54
300	39	67	29	60	24	60	24	60
350	45	77	33	66	26	64	26	64
400	49	84	36	72	28	70	28	70
450	54	91	39	78	31	79	31	79
500	58	98	43	84	32	84	32	84
600	67	112	49	96	35	93	35	93
700	75	124	55	107	37	107	37	107
800	83	137	61	118	38	119	38	119
900	91	150	67	130	43	128	43	128
1 000	100	163	74	141	46	140	46	140
1 200					53	158	53	158
1 400	133	215	99	187	58	179	58	179

Примечания:

1. При расположении изолируемых поверхностей в тоннеле к нормам плотности следует вводить коэффициент 0,85.
2. При применении в качестве теплоизоляционного слоя пенополиуретана, фенольного поропласта ФЛ, полимербетона величину  $q_e$  определяют с учетом коэффициента  $k_2$  (см. прил. 12).

*Расчетные теплотехнические характеристики теплоизоляционных материалов и изделий*

Материал, изделие	Средняя плотность в конструкции, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность теплоизоляционного материала в конструкции $\lambda_{из}$ , Вт/(м·°С) для поверхностей с температурой, °С		Температура применений, °С	Группа горючести	
		20 и выше	19 и ниже			
Маты минераловатные прошивные	120	0,045 + 0,00021 $t_m$	0,044-0,035	От минус 180 до 450 для матов	Негорючие	
	150	0,049 + 0,0002 $t_m$	0,048-0,037			
Маты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем	65	0,04 + 0,00029 $t_m$	0,039-0,03	От минус 60 до 400	»	
	95	0,043 + 0,00022 $t_m$	0,042-0,031			
	120	0,044 + 0,00021 $t_m$	0,043-0,032	От минус 180 до 400		
	180	0,052 + 0,0002 $t_m$	0,051-0,038			
Теплоизоляционные изделия из вспененного этиленполипропиленового каучука «Аэрофлекс»	60	0,034 + 0,0002 $t_m$	0,033	От минус 57 до 125	Слабогорючие	
Полуцилиндры и цилиндры минераловатные	50	0,04 + 0,00003 $t_m$	0,039-0,029	От минус 180 до 400	Негорючие	
	80	0,044 + 0,00022 $t_m$	0,043-0,032			
	100	0,049 + 0,00021 $t_m$	0,048-0,036			
	150	0,05 + 0,0002 $t_m$	0,049-0,035			
	200	0,053 + 0,00019 $t_m$	0,052-0,038			
Шнур теплоизоляционный из минеральной ваты	200	0,056 + 0,000 $t_m$	0,055-0,04	От минус 180 до 600		
Маты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем	50	0,04 + 0,0003 $t_m$	0,039-0,029	От минус 60 до 180	Негорючие	
	70	0,042 + 0,00028 $t_m$	0,041-0,03			
Маты и вата из супертонкого стеклянного волокна без связующего	70	0,033 + 0,00014 $t_m$	0,032-0,024	От минус 180 до 400	»	
Маты и вата из супертонкого базальтового волокна без связующего	80	0,032 + 0,00019 $t_m$	0,031-0,24	От минус 180 до 600	»	
Песок перлитовый, вспученный, мелкий	110	0,052 + 0,00012 $t_m$	0,051-0,038	От минус 180 до 875	»	
	150	0,055 + 0,00012 $t_m$	0,054-0,04			
	225	0,058 + 0,00012 $t_m$	0,057-0,042			
Теплоизоляционные изделия из пенополистирола	30	0,033 + 0,00018 $t_m$	0,032-0,024	От минус 180 до 70	Горючие	
	50	0,036 + 0,00018 $t_m$	0,035-0,026			
	100	0,041 + 0,00018 $t_m$	0,04-0,03			
Теплоизоляционные изделия из пенополиуретана	40	0,030 + 0,00015 $t_m$	0,029-0,024	От минус 180 до 130	«	
	50	0,032 + 0,00015 $t_m$	0,031-0,025			
	70	0,037 + 0,00015 $t_m$	0,036-0,027			
Теплоизоляционные изделия «Кайманфлекс (K-flex)» марок:						
	ЕС	60-80	0,036	0,034	От минус 40 до 105	Слабогорючие
	ST	60-80	0,036	0,034	От минус 70 до 130	
ЕСО	60-95	0,040	0,036			
Теплоизоляционные изделия из пенополиэтилена	50	0,035 + 0,00018 $t_m$	0,033	От минус 70 до 70	«	

**Примечание.** Средняя температура теплоизоляционного слоя; °С:

$t_m = (t_w + 40)/2$  - на открытом воздухе в летнее время, в помещении, в каналах, тоннелях, технических подпольях, на чердаках и в подвалах зданий;

$t_m = t_w/2$  - на открытом воздухе, воздухе в зимнее время, где  $t_w$  - температура среды внутри изолируемого оборудования (трубопровода).

## ПРИЛОЖЕНИЕ 10

*Расчетные технические характеристики материалов, применяемых для изоляции трубопроводов при бесканальной прокладке*

Материал	Условный проход трубопровода, мм	Теплопроводность сухого материала, Вт/(м · °С)	Максимальная температура вещества, °С
Легкий армопенобетон	150 - 800	0,05	150
пенополимербетон	100 - 400	0,06	150
Фенольный поропласт	до 1000	0,05	150
Пенополиуретан	100 - 400	0,033	120

## ПРИЛОЖЕНИЕ 11

*Коэффициент  $k_1$ , учитывающий изменение стоимости теплоты в зависимости от района строительства и способа прокладки трубопровода (места установки оборудования)*

Район строительства	Способ прокладки оборудования и месторасположение оборудования			
	на открытом воздухе	в помещении, тоннеле	в непроходном канале	бесканальный
Европейские районы	1,0	1,0	1,0	1,0
Урал	0,98	0,98	0,95	0,94
Западная Сибирь	0,98	0,98	0,95	0,94
Восточная Сибирь	0,98	0,98	0,95	0,94
Дальний Восток	0,96	0,96	0,92	0,9
Районы Крайнего Севера и приравненные к ним	0,96	0,96	0,92	0,9

## ПРИЛОЖЕНИЕ 12

*Коэффициент  $k_2$ , учитывающий увеличение теплопроводности от увлажнения теплоизоляционного материала и типа грунта*

Материал теплоизоляционного слоя	Коэффициент увлажнения $k_2$		
	Тип грунта по ГОСТ 25100-95		
	Маловлажный	Влажный	Насыщенный водой
Пенополиуретан	1,0	1,0	1,0
Армопенобетон	1,05	1,05	1,1
Пенополимерминерал	1,05	1,05	1,1

*Виды покрытий для защиты наружной поверхности труб  
тепловых сетей от коррозии*

Способ прокладки	Температура теплоносителя, °С, не более	Виды покрытий	Общая толщина покрытия, мм	ГОСТы или технические условия на материалы
1. Надземный, в тоннелях, по стенам снаружи зданий, внутри зданий, в технических подпольях	Независимо от температуры теплоносителя 300	Масляно-битумные в два слоя по грунту ГФ-021 (в качестве консервационного покрытия)	0,15-0,2	ОСТ 6-10-426-79 ГОСТ 25129-82
		Металлизационное алюминиевое	0,25-0,3	ГОСТ 7871-75
2. Подземный в непроходных каналах (для воды и пара)	300	Стеклоэмалевые марок: 105Т в три слоя по одному слою грунта 117 64/64 в три слоя по грунтовочному подслою из смеси грунтов 70 % № 2015 и 30 % № 3132	0,5-0,6 0,5-0,6	ТУ ВНИИСТ
		13—111 в три слоя по одному слою грунта 117	0,5-0,6	
		596 в один слой по грунтовочному слою из эмали 25М	0,5	
	180	Органосиликатные (типа ОС-51-03) в три слоя С термообработкой при температуре 200 °С или в четыре слоя с отвердителем естественной сушки	0,25-0,3 0,45	ТУ84-725-83
		150	Изол в два слоя по холодной изольной мастике марки МРБ-Х-Т15	
		Эпоксидные — эмаль ЭП-56 в три слоя по шпатлевке ЭП-0010 в два слоя с последующей термической обработкой при температуре 60 °С	0,35-0,4	ГОСТ 10277-90 ТУ6-10-1243-72
		Металлизационное алюминиевое с дополнительной защитой	0,25-0,3	ГОСТ 7871-75
3. Бесканальный (для воды и пара)	300	Стеклоэмалевые - по п. 2 приложения		
	180	Защитные — по п. 2 приложения, кроме изола по изольной мастике		
	150	Изол в два слоя по холодной изольной мастике марки МРБ-Х-Т15		

## Компенсаторы в тепловых сетях

## Сальниковые компенсаторы

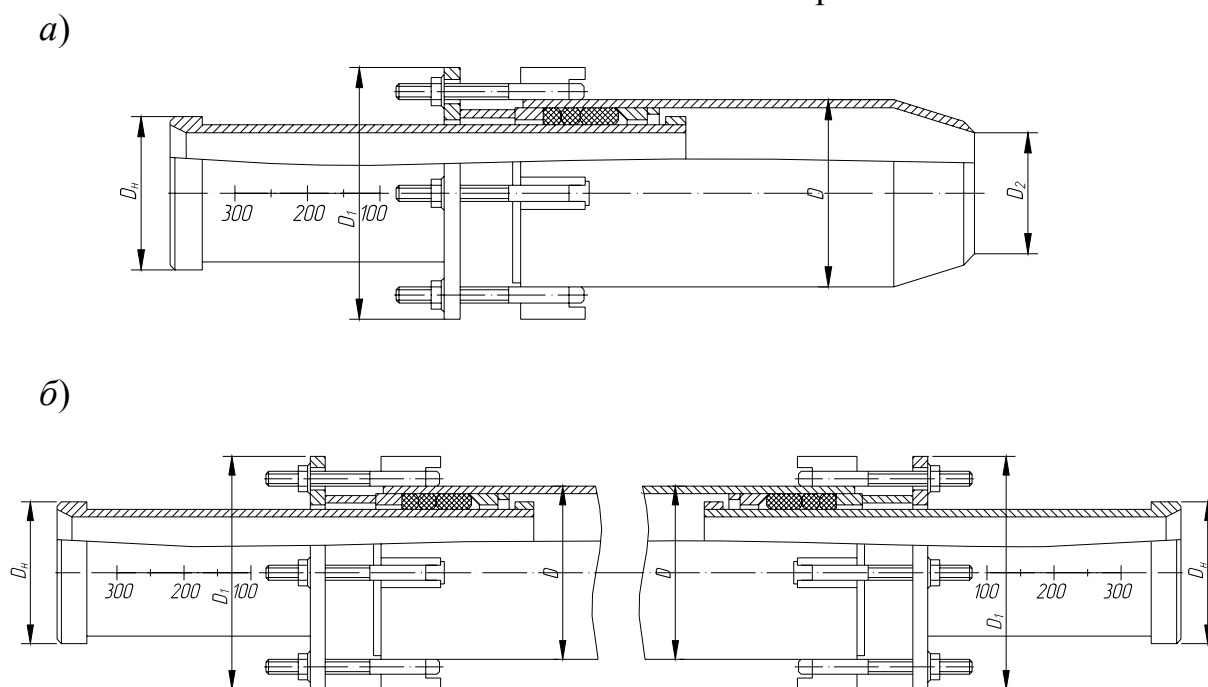


Рис. 14.1. Сальниковые компенсаторы: а – односторонний; б – двухсторонний  
Т а б л и ц а 14.1

## Характеристики сальниковых компенсаторов

$D_y$ , мм	$D_n$ , мм	Длина сальниковой набивки $l_c$ , мм	Компенсирующая способность односторонних компенсаторов $\Delta_K$ , мм	Компенсирующая способность двухсторонних компенсаторов $\Delta_K$ , мм
100	108	65	250	2x250
125	133	65		
150	159	75		
175	194	85		
200	219	120	200 и 400	2x200 и 2x400
250	273	120		
300	325	120		
350	377	120		
400	426	120	300 и 500	2x300 и 2x500
450	477	120		
500	530	130		
600	630	130		
700	720	130	300 и 500	2x300 и 2x500
800	820	130		
900	920	130		
1000	1020	130		
1200	1220	150	350 и 600	2x300 и 2x500
1400	1420	150		

## Сильфонные компенсаторы

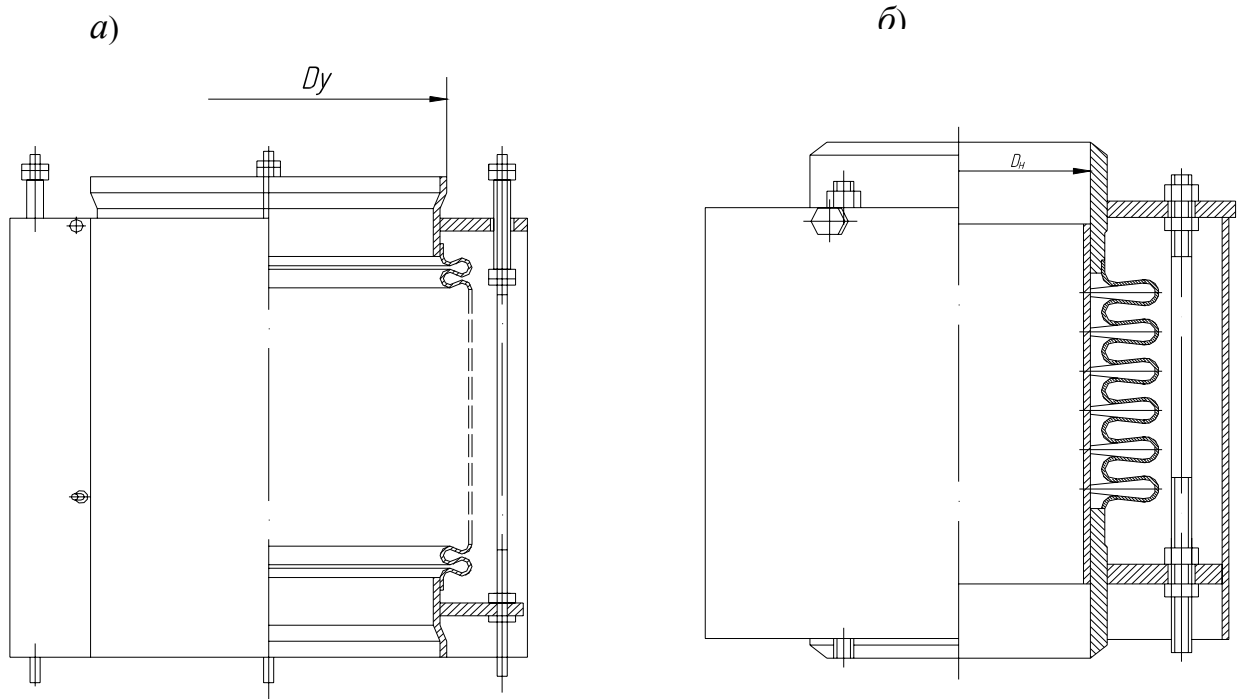


Рис. 14.2. Осевые незгруженные сильфонные компенсаторы

Т а б л и ц а 14.2

Технические характеристики сильфонных компенсаторов  
СК – МК (СК-160.000.00 ТУ)

Диаметр трубы $d_T$ , мм	Амплиту- да осевого хода $\lambda$ , мм	Жесткость компенсатора $C_\lambda$ , Н/мм	Эффективная площадь $S_{эф}$ , см <sup>2</sup>	Масса, кг	Диаметр сильфона $D_c$ , мм
57x3,5	20	357	34	1,4	75
76x4	40	245	64	2,9	104
89x4	45	227	87	3,4	122
108x5	60	278	130	6,6	149
133x5	65	358	199	10,9	185
159x5	75	305	282	14	214
219x6	80	408	483	25	277
273x7	90	429	731	29	337
325x7	90	445	1001	39	389
377x7	90	428	1272	44	428
426x7	90	555	1573	73	469
530x8	90	608	2419	100	580
630x8	90	632	3416	118	689
720x8	90	593	4507	123	795
820x8	90	637	5822	166	902
920x10	90	577	8075	169	1008
1000x10	90	680	9017	210	1123
1220x12	90	740	12718	270	1325

## П-образные компенсаторы

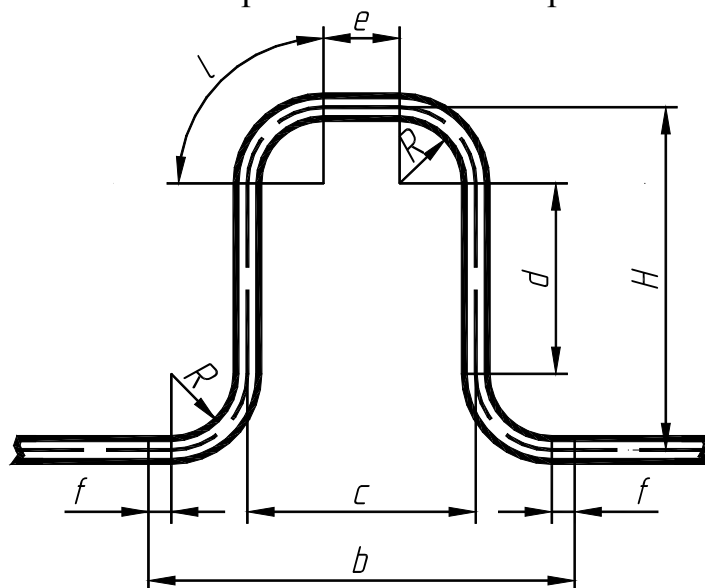


Рис. 14.3. Схема П-образного компенсатора.

Таблица 14.3

## Типоразмеры П-образных компенсаторов

Диаметр		H, м	b, мм	c, мм	d, мм	e, мм	f, мм	R, мм	l, мм	L, м	$\Delta l_k$ , мм
$D_y$ , мм	$D_h$ , мм										
50	51	0,6	1200	500	200	100	150	200	314	2,05	50
		0,8	1200	500	400	100	150	200	314	2,45	70
		1,0	1200	500	600	100	150	200	314	2,85	100
		1,2	1200	500	800	100	150	200	314	3,25	120
100	108	1,2	2600	1100	300	200	300	450	707	4,28	100
		1,6	2600	1100	700	200	300	450	707	5,02	150
		2,0	2600	1100	1100	200	300	450	707	5,82	250
		2,4	2600	1100	1500	200	300	450	707	6,62	280
125	133	1,5	2970	1310	440	250	300	530	832	5,02	100
		2,0	2970	1310	940	250	300	530	832	6,05	180
		2,5	2970	1310	1440	250	300	530	832	7,05	260
		3,0	2970	1310	1940	250	300	530	832	8,05	310
150	159	1,8	3520	1560	540	300	350	630	989	6,03	120
		2,4	3520	1560	1140	300	350	630	989	7,23	220
		3,0	3520	1560	1740	300	350	630	989	8,43	280
		3,6	3520	1560	2340	300	350	630	989	9,63	350
200	219	2,4	4600	2100	700	400	400	850	1335	7,94	160
		3,2	4600	2100	1500	400	400	850	1335	9,64	240
		4,0	4600	2100	2300	400	400	850	1335	11,14	350
		4,8	4600	2100	3100	400	400	850	1335	12,74	420



## Окончание т а б л. 14.3

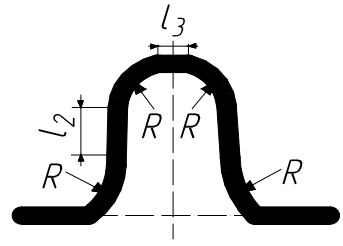
Диаметр		$H$ , м	$b$ , мм	$c$ , мм	$d$ , мм	$e$ , мм	$f$ , мм	$R$ , мм	$l$ , мм	$L$ , м	$\Delta l_k$ , мм
$D_y$ , мм	$D_H$ , мм										
250	273	3,0	5500	2500	1000	500	500	1000	1571	9,78	200
		4,0	5500	2500	2000	500	500	1000	1571	11,78	310
		5,0	5500	2500	3000	500	500	1000	1571	13,78	400
		6,0	5500	2500	4000	500	500	1000	1571	15,78	600
300	325	3,6	6800	3100	1100	600	600	1250	1963	11,85	260
		4,8	6800	3100	2300	600	600	1250	1963	14,25	400
		6,0	6800	3100	3500	600	600	1250	1963	16,65	500
		7,2	6800	3100	4700	600	600	1250	1963	19,65	680
350	377	4,2	8100	3700	1200	700	700	1500	2355	13,92	320
		5,6	8100	3700	2600	700	700	1500	2355	16,72	470
		7,0	8100	3700	4000	700	700	1500	2355	19,52	640
400	427	4,8	9600	4400	1200	800	800	1800	2827	16,40	300
		6,4	9600	4400	2800	800	800	1800	2827	19,30	410
		8,0	9600	4400	4400	800	800	1800	2827	22,50	600
500	529	6,0	11000	5000	2000	1000	1000	2000	3142	19,56	350
		8,0	11000	5000	4000	1000	1000	2000	3142	23,56	500
		10,0	11000	5000	6000	1000	1000	2000	3142	27,56	650

Примечание.  $L$  - выпрямленная длина компенсатора;  $l_k$  – компенсирующая способность с учетом предварительной растяжки при монтаже на  $\Delta l_k/2$ .

## Т а б л и ц а 14.4

Осевые силы  $P_k$ , кН, для П-образных компенсаторов с гнутыми отводами при  $\Delta l_k=1$  см

Вылет компенсатора $H$ , м	Условный диаметр								Примечание
	80	100	150	200	250	300	400	500	
1,5	0,3	0,6	0,9	2,0					Приведенные в таблице величины $P_k$ следует умножить на расчетную величину удлинения трубопровода $\Delta l_k$ , см
2,0	0,18	0,3	0,6	1,8	3,0				
2,5	0,1	0,2	0,4	1,0	2,0	3,0			
3,0	0,08	0,12	0,25	0,6	1,2	2,0	3,0		
3,5		0,10	0,20	0,5	0,9	1,4	2,0	3,0	
4,0		0,08	0,15	0,3	0,7	1,0	1,8	2,2	
5,0		0,05	0,10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,4	
6,0				0,12	0,25	0,4	0,6	0,9	
7,0				0,10	0,20	0,3	0,45	0,6	
8,0				0,08	0,15	0,2	0,35	0,5	
9,0				0,05	0,10	0,18	0,25	0,35	
10,0					0,08	0,12	0,2	0,30	



$$l_3 = 0.5 l_2$$

$D_y = 50, 70, 80, 100 \text{ мм}$

$D_H \times S = 57 \times 3,5 \text{ мм}$

$D_H \times S = 89 \times 3,5 \text{ мм}$

$D_H \times S = 76 \times 3,5 \text{ мм}$

$D_H \times S = 108 \times 4 \text{ мм}$

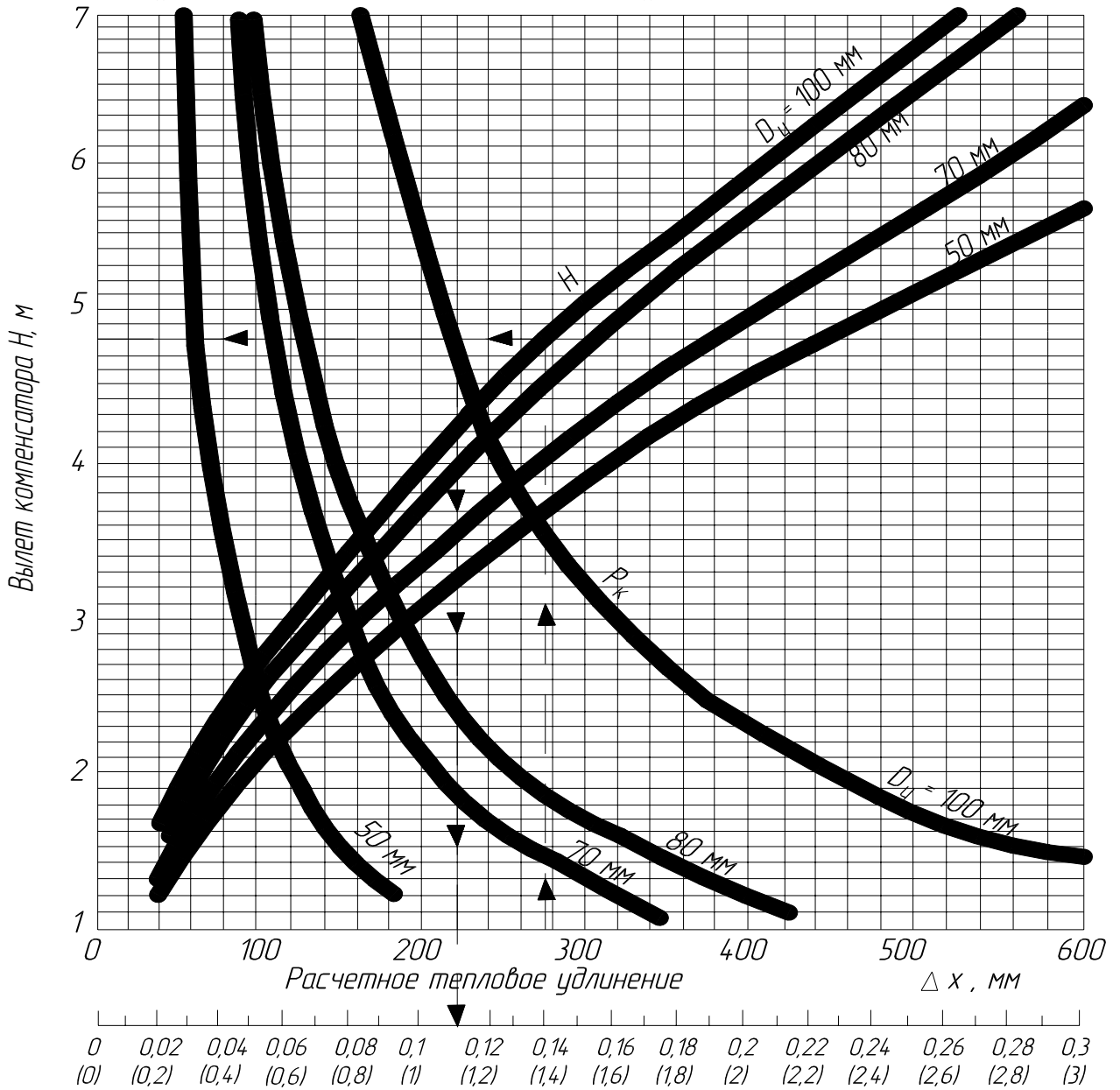
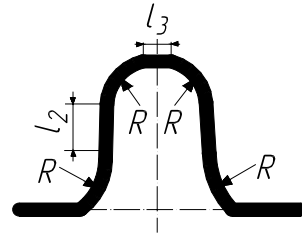


Рис. 14.4. Номограммы для подбора П-образных компенсаторов для  $D_y = 50, 70, 80, 100 \text{ мм}$



$$l_3 = 0.5 l_2$$

$D_y = 125, 150, 175, 200 \text{ мм}$

$D_H \times S = 133 \times 4 \text{ мм}$

$D_H \times S = 194 \times 5 \text{ мм}$

$D_H \times S = 159 \times 4,5 \text{ мм}$

$D_H \times S = 219 \times 6 \text{ мм}$

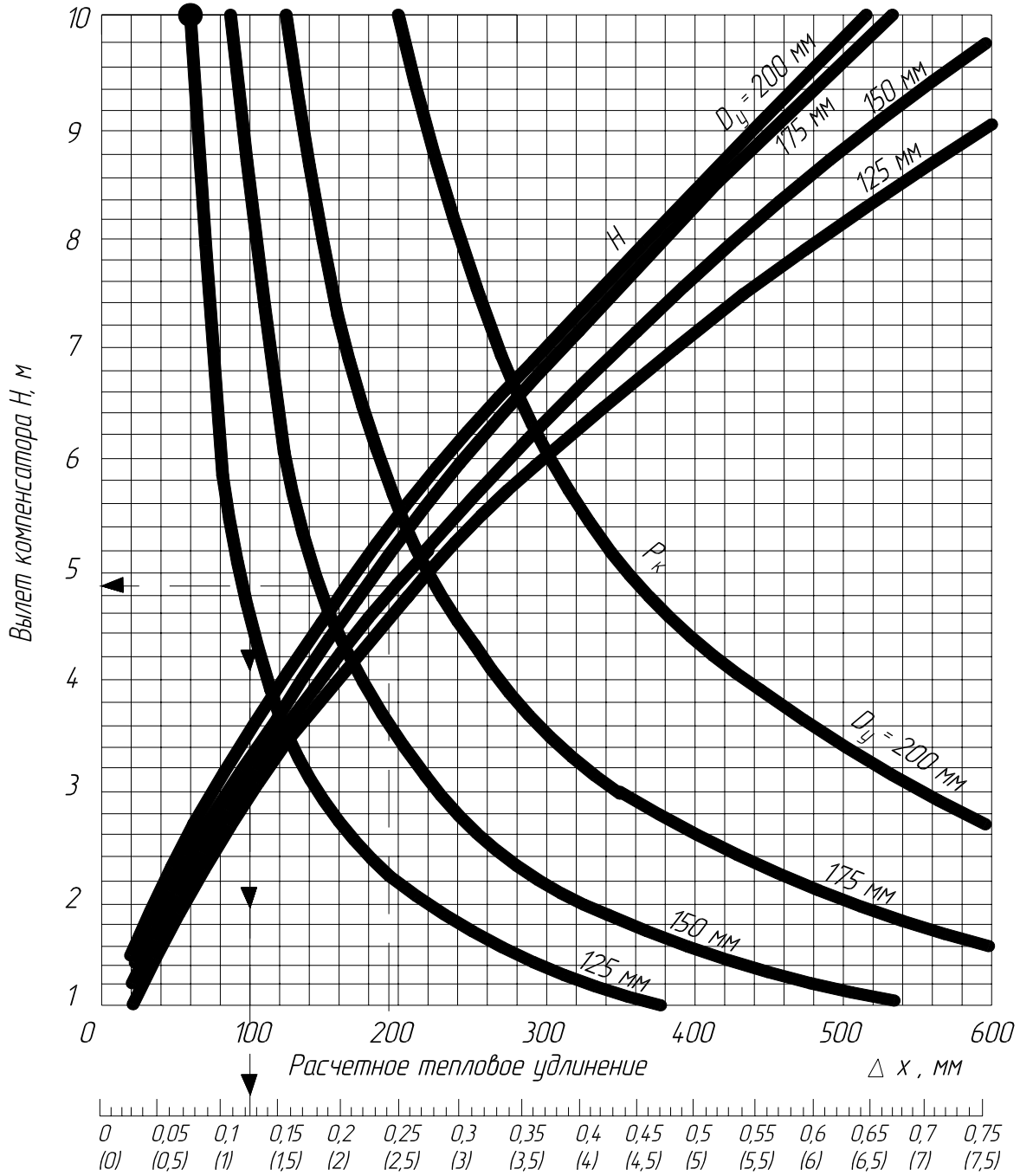


Рис. 14.5. Номограммы для подбора П-образных компенсаторов для  $D_y = 125, 150, 175, 200 \text{ мм}$

## Технические характеристики труб и отводов

Условный диаметр труб $D_y$ , мм	Наружный диаметр труб $D_n$ , мм	Внутренний диаметр труб $D_{вн}$ , мм	Толщина стенки трубы, мм	Площадь сечения стенки, см <sup>2</sup>	Момент инерции $I$ , см <sup>4</sup>	Момент сопротивления $W$ , см <sup>3</sup>	Радиус гнутых гладких отводов $R$ , мм	Условный радиус сварных отводов $R$ , мм	$h = \frac{\delta R}{r_{cp}^2}$		Коэффициент Кармана $k$		Коэффициент концентрации напряжений $m_I$	
									для гнутых отводов $R=4D_y$ , мм	для сварных отводов $R=D_y$ , мм	для гнутых отводов	для сварных отводов	для гнутых отводов	для сварных отводов
50	57	51	3	5,1	18,6	6,5	230	-	0,95	-	0,57	-	0,9	-
70	76	70	3	6,8	45,9	12,1	30	-	0,71	-	0,44	-	1,1	-
80	89	82	3,5	9,4	84	18,9	360	-	0,69	-	0,42	-	1,1	-
100	108	100	4,0	13,1	177	32,8	430	150	0,64	0,18	0,39	0,15	1,2	2,6
125	1330	125	4	14	337	50,8	530	175	0,51	0,17	0,31	0,15	1,4	2,7
150	159	150	4,5	22	652	82	640	200	0,48	0,15	0,29	0,13	1,5	2,9
200	219	207	6	40	2279	208	870	250	0,46	0,14	0,28	0,12	1,5	3
250	273	261	6	50,3	4484	328	1100	300	0,43	0,12	0,26	0,11	1,6	3,3
250	273	259	7	58	5177	380	1100	300	0,43	0,12	0,26	0,11	1,6	3,3
300	325	313	6	60,1	7647	470	1300	350	0,41	0,11	0,25	0,1	1,6	3,5
300	325	309	8	80	10000	616	1300	350	0,41	0,11	0,25	0,1	1,6	3,5
350	377	359	9	104	17600	935	1400	400	0,3	0,1	0,22	0,1	1,7	3,7
400	426	412	7	88	20300	955	1700	450	0,23	0,06	0,14	0,07	2,4	5,0
400	426	408	9	117	25625	1203	1700	450	0,23	0,06	0,14	0,07	2,4	5
450	478	464	7	100	2870	1200	1900	500	0,2	0,06	0,12	0,07	2,6	5
450	478	462	8	118	32608	1364	1900	500	0,2	0,06	0,12	0,07	2,6	5
500	529	513	8	131	44670	1685	2100	550	0,2	0,05	0,13	0,06	2,5	5,8
500	529	511	9	147	49720	1880	2100	550	0,2	0,05	0,13	0,06	2,5	5,8
600	630	614	8	156	75600	1400	-	650	-	0,06	-	0,06	-	5,8
600	630	612	9	176	84600	2690	-	650	-	0,06	-	0,06	-	5
700	720	704	8	190	113100	3150	-	750	-	0,05	-	0,06	-	5,8
700	720	700	10	223	140500	3920	-	750	-	0,05	-	0,06	-	5,8
800	850	802	9	229	188600	4600	-	850	-	0,05	-	0,05	-	7
800	820	798	11	279	228631	5576	-	850	-	0,06	-	0,05	-	7
900	920	902	9	258	267300	5811	-	950	-	0,05	-	0,05	-	7
900	920	896	12	342	352640	7666	-	950	-	0,04	-	0,05	-	7
1000	1020	1000	10	317	404740	7936	-	1050	-	0,04	-	0,05	-	7
1000	1020	996	12	365	482800	9467	-	1050	-	0,04	-	0,05	-	7
1000	1020	992	14	442	557457	10930	-	1050	-	0,04	-	0,05	-	7
1200	1220	1198	11	417	762883	12606	-	1150	-	0,04	-	0,05	-	7
1200	1220	1196	12	465	834200	13630	-	1150	-	0,04	-	0,05	-	7
1200	1220	1192	14	530	960594	15747	-	1150	-	0,04	-	0,05	-	7
1400	1424	1396	14	618	1527230	21510	-	1450	-	0,04	-	0,05	-	7
1400	1424	1388	16	706	1740000	24520	-	1450	-	0,04	-	0,05	-	7

### Опоры в тепловых сетях

#### 16.1. Неподвижные опоры трубопроводов тепловых сетей

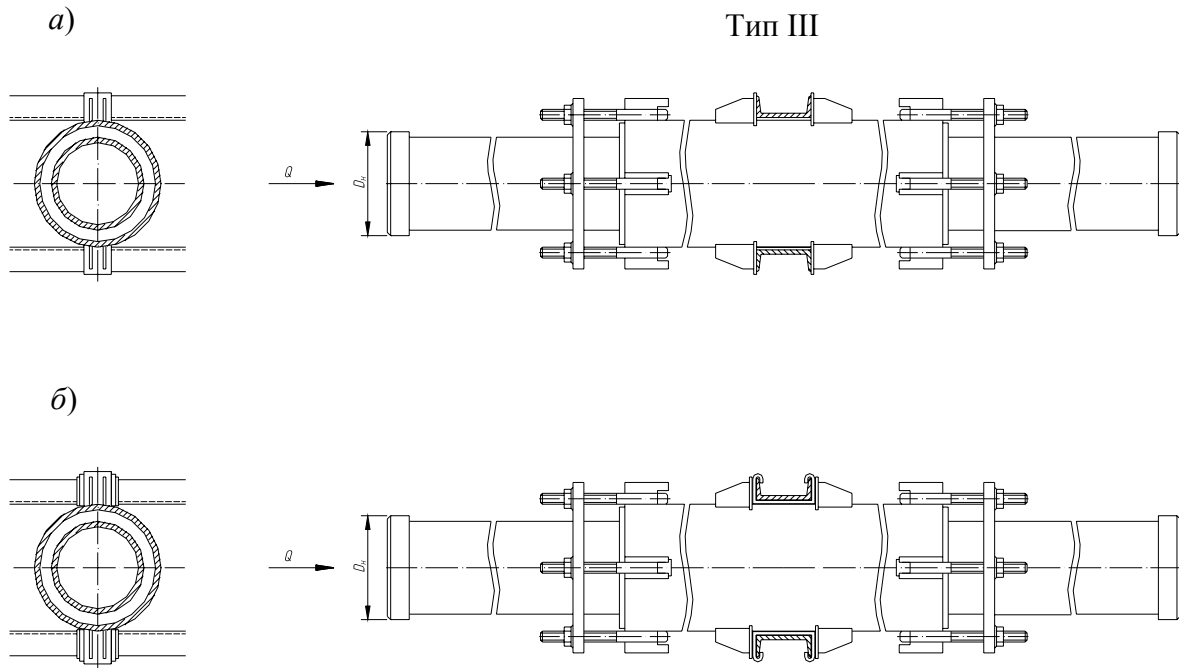


Рис. 16.1. Опоры неподвижные лобовые для сальниковых компенсаторов  $D_{\text{н}} = 530\text{--}820$  мм: а – обыкновенные, б – с защитой от электрокоррозии

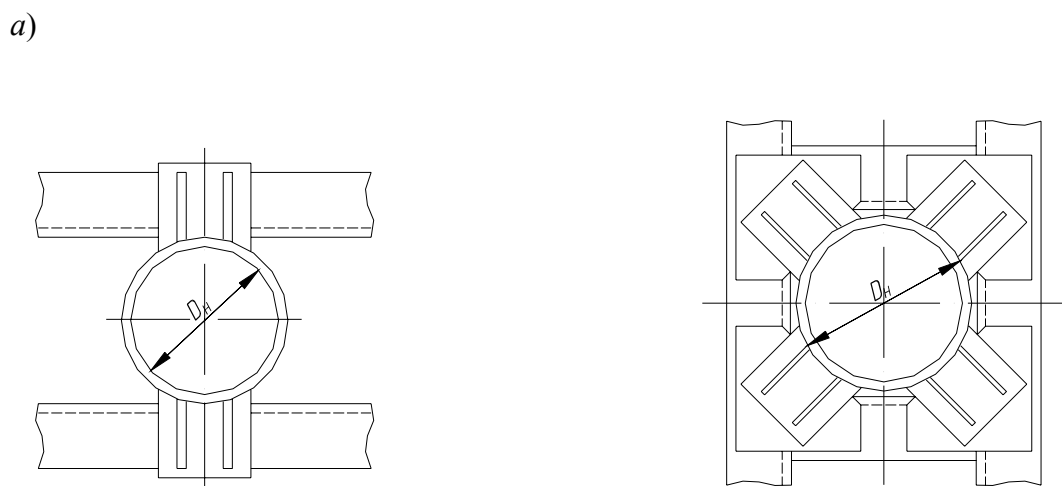


Рис. 16.2. Опоры неподвижные лобовые: а – двухпорные для трубопроводов  $D_{\text{н}} = 108\text{--}1\,420$  мм; б – четырехпорные для трубопроводов  $D_{\text{н}} = 13\text{--}1\,420$  мм

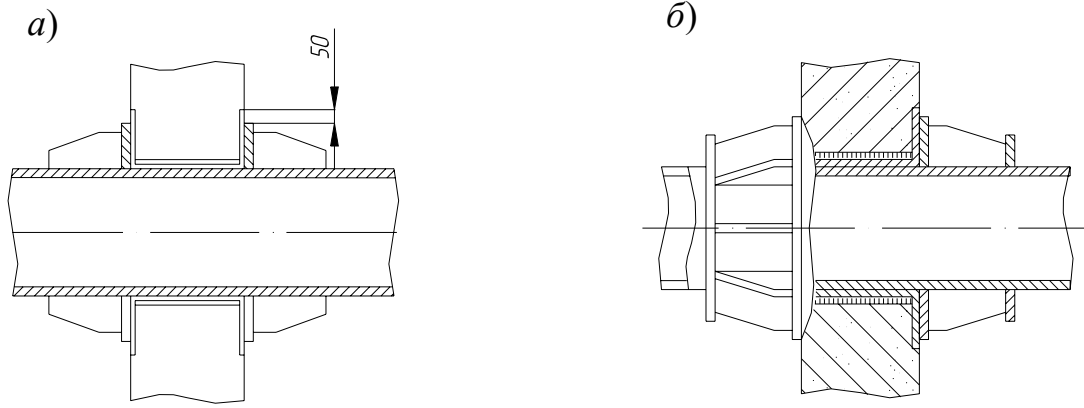


Рис. 16.3. Опоры неподвижные щитовые для трубопроводов  $D_H = 108-1420$  мм тип III с защитой от электрокоррозии: а – обыкновенные; б – усиленные

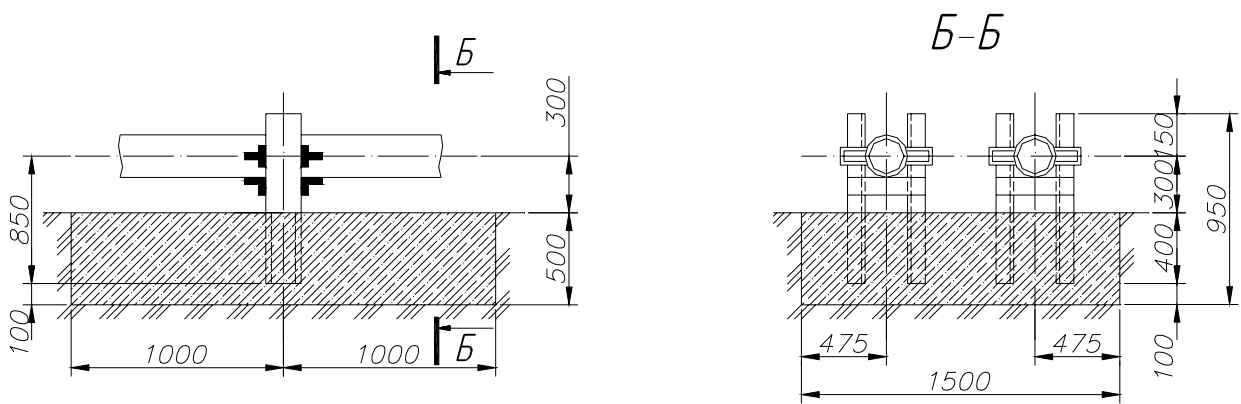
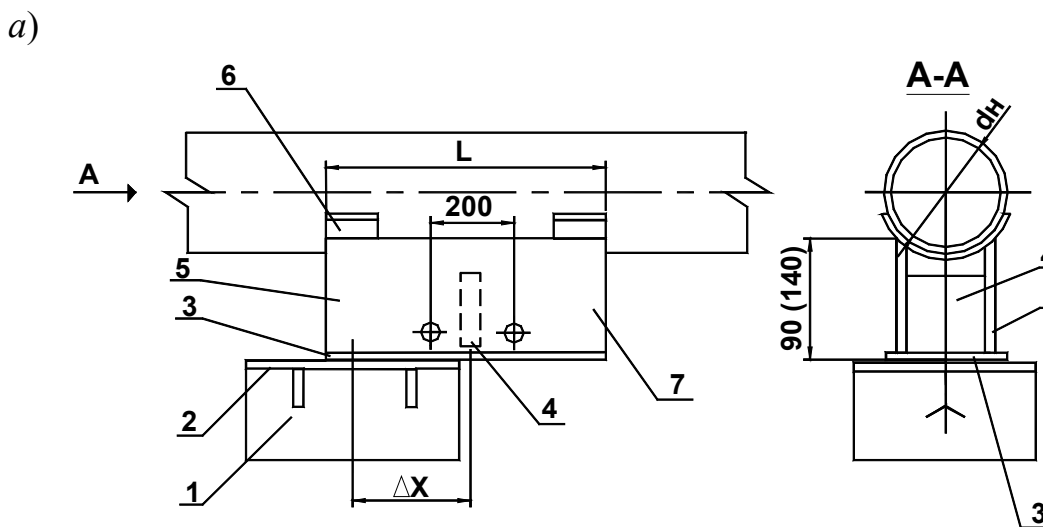
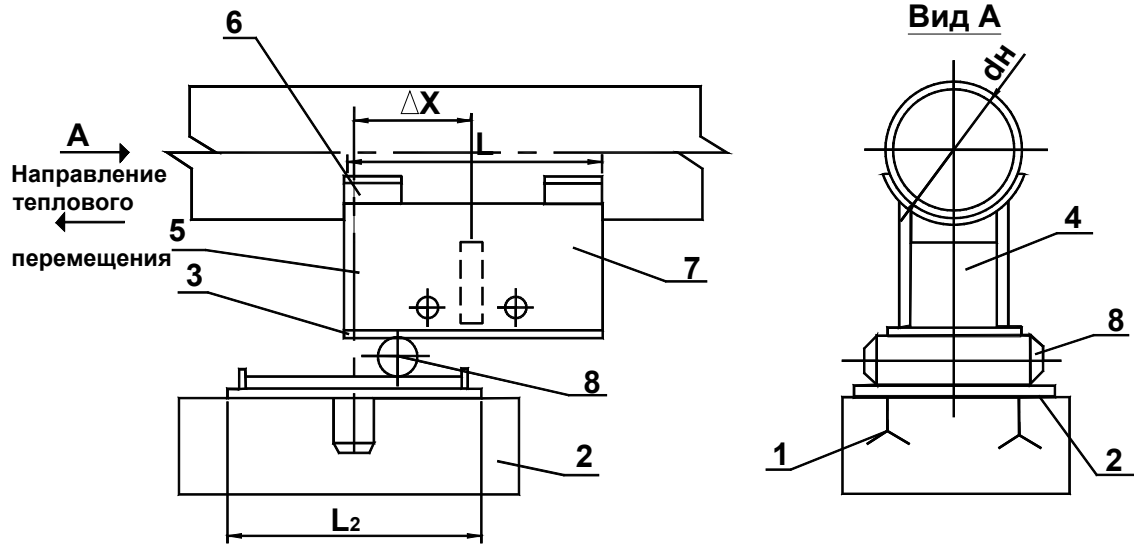


Рис. 16.4. Неподвижная отдельно стоящая опора для труб  $D_y = 80-200$  мм (подвальная)

16.2. Подвижные опоры трубопроводов тепловых сетей



б)



в)

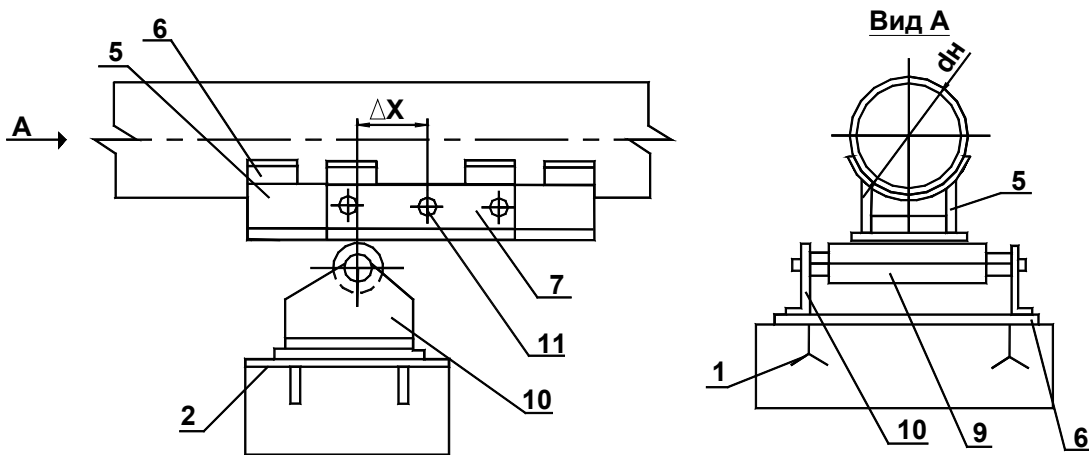


Рис. 16.5. Опоры подвижные:

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

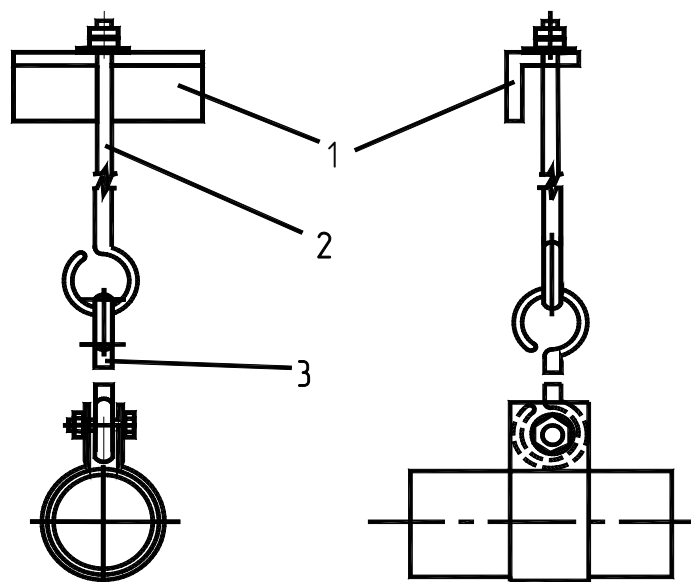


Рис. 16.6. Подвесная опора:  
1 – кронштейн; 2 – подвесной болт; 3 – тяга

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 17

#### Коэффициенты трения в подвижных опорах

Тип опоры	Коэффициент трения (сталь по стали)	
	$\mu_x$	$\mu_y$
Скользкая	0,3	0,3
Катковая	0,1	0,3
Шариковая	0,1	0,1
Подвеска жесткая	0,1	0,1

Примечание. При применении фторопластовых прокладок под скользящие опоры коэффициенты трения принимаются равными 0,1.

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 18

#### Прокладка трубопроводов тепловых сетей

#### Прокладка по стенам зданий

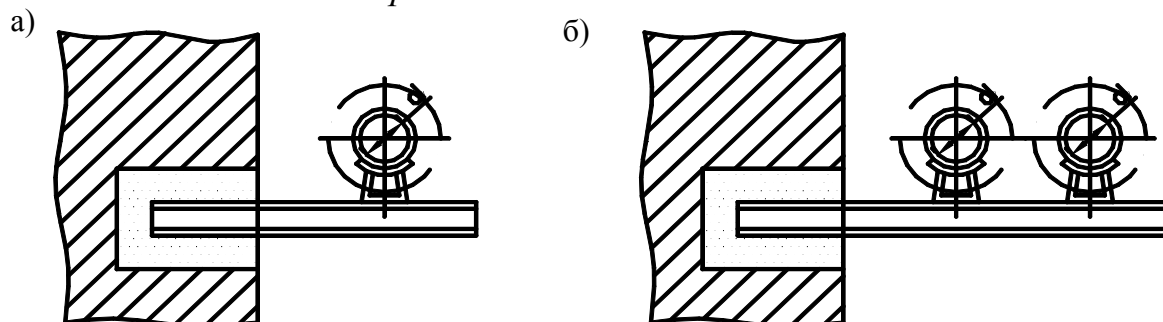


Рис. 18.1. Прокладка трубопроводов на кронштейнах:  
а – для одной трубы; б – для двух труб



## Бесканальная прокладка

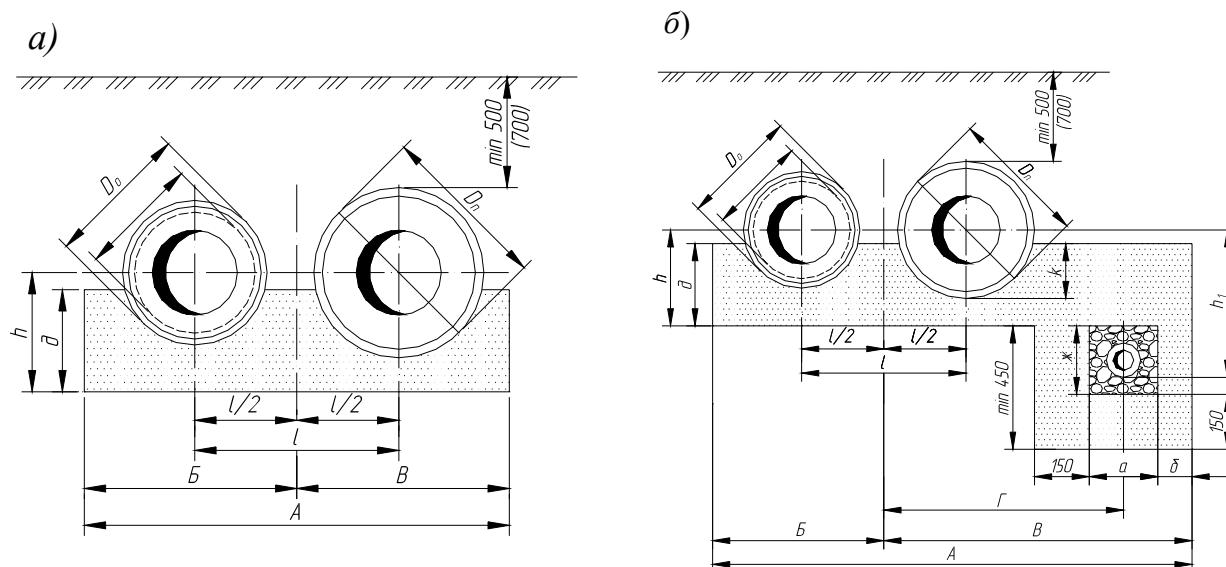


Рис. 18.2. Бесканальная прокладка тепловых сетей: а – в сухих грунтах; б – в мокрых грунтах с попутным дренажем

Таблица 18.1

Конструктивные размеры бесканальной прокладки теплосетей  
в армопенобетонной изоляции в сухих грунтах (без дренажа)

$D_y$ , мм	$D_n$ (с покровным слоем)		Размеры по альбому серии 903-0-1															
	$D_n$	$D_o$	A	B	B	l	k	Г	h	$h_1$ , не менее	∅	a	б	Л, не менее	Ж			
50	255	255	1150	650	600	350	100	-	280	-	250	-	-	-	-			
65				550														
80	307	255	1150	550	600	350	150		310		-	350	-			-	-	-
100	307	307	1250	600	650	400			310									
125	359	307	1350	650	700	500			330									
150	359	359	1350	650	700	500			380									
200	456	409	1500	700	800	550	200		430		-	-	-			-	-	-
250	510	456	1600	750	850	600			460									
300	570	520	1800	900	900	650	250		480		-	450	-			-	-	-
350	620	570	2000	1000	1000	700			510									
400	670	620	2100	1050	1050	800	250	530	-	450	-	-	-	-				
450	720	670	2300	1150	1150	900		560										
500	760	720	2400	1200	1200	1000		580										

Конструктивные размеры бесканальной прокладки теплосетей  
в армопенобетонной изоляции в мокрых грунтах (с дренажем)

$D_y$ , мм	$D_n$ (с покров- ным слоем)		Размеры по альбому серии 903-0-1												
	$D_n$	$D_o$	$A$	$B$	$B$	$l$	$k$	$\Gamma$	$h$	$h_1$ , не менее	$\delta$	$a$	$b$	$L$ , не ме- нее	$ж$
50	255	255	1600	550	1050	350		700	330	530					
65	255	255	1600	550	1050	350		700	330	530					
80	307	255	1600	550	1050	350		700	330	530					
100	307	307	1700	600	1100	400	150	750	360	550	350	300		450	300
125	359	307	1800	650	1150	500		800	360	550					
150	359	359	1850	650	1200	500		850	410	600					
200	456	409	1950	700	1250	550		900	430	630					
250	510	456	2100	750	1350	600		1000	460	650			200		
300	570	520	2400	900	1500	650	200	1050	580	780	500				
350	620	570	2550	1000	1550	700			1100	610		810			
400	670	620	2650	1050	1600	800		1150	630	830		500		500	550
450	720	670	2850	1150	1700	900	250	1250	660	860	550				
500	760	720	2950	1200	1750	1000			1300	680		880			

Канальная прокладка

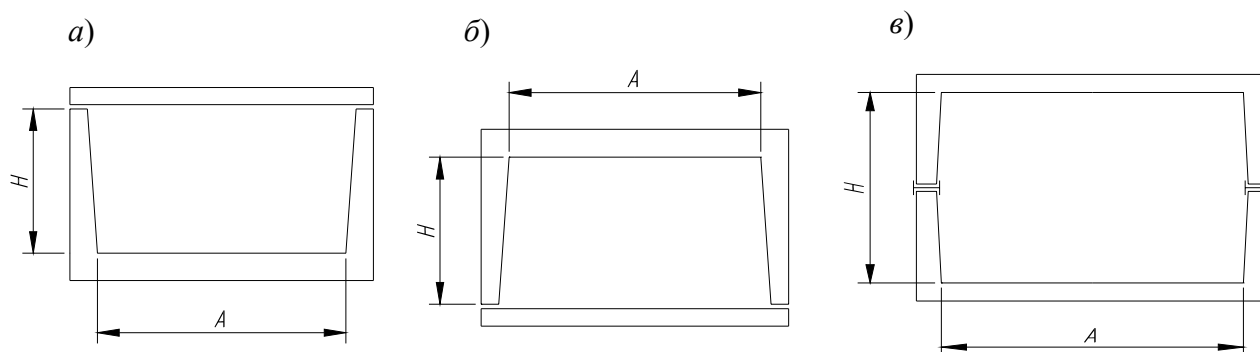


Рис. 18.3. Сборные каналы для тепловых сетей: а – тип КЛ; б – тип КЛп; в – тип КЛс

Т а б л и ц а 18.3  
 Основные типы сборных железобетонных каналов КЛ(КЛп) и КЛс  
 для тепловых сетей

Условный диаметр трубопровода $D_y$ , мм	Обозначение (марка) канала	Размеры канала, мм			
		Внутренние номинальные		Наружные	
		Ширина А	Высота Н	Ширина А	Высота Н
25-50 70-80	КЛ(КЛп)60-30	600	300	850	440
	КЛ(КЛп)60-45		450		600
100-150	КЛ(КЛп)90-45	900	450	1150	630
	КЛ(КЛп)60-60	600	600	850	750
175-200 250-300	КЛ(КЛп)90-60	900	600	1150	780
	КЛ(КЛп)120-60	1200		1450	
350-400	КЛ(КЛп)150-60	900		1800	850
	КЛ(КЛп)210-60	1200	2400	890	
450-500	КЛс90-90	900	900	1060	1070
	КЛс120-90	1200		1400	
	КЛс150-90	1500		1740	
600-700	КЛс120-120	1200	12000	1400	1370
	КЛс150-120	1500		1740	1470
	КЛс210-120	2100		2380	1470

Т а б л и ц а 18.4  
 Основные типы сборных железобетонных каналов МКЛ для тепловых сетей

Условный диаметр трубопровода $D_y$ , мм	Обозначение (марка) канала	Размеры канала, мм			
		Внутренние номинальные		Наружные	
		Ширина А	Высота Н	Ширина А	Высота Н
50 – 100	МКЛ-1	970	555	1090	715
125 – 200	МКЛ-2	1320	705	1470	865
250 – 400	МКЛ-4	1920	905	2100	1115
500 – 600	МКЛ-6	2410	1105	2620	1355
700 – 800	МКЛ-8	2770	1380	3060	1640

Насосы в системах теплоснабжения

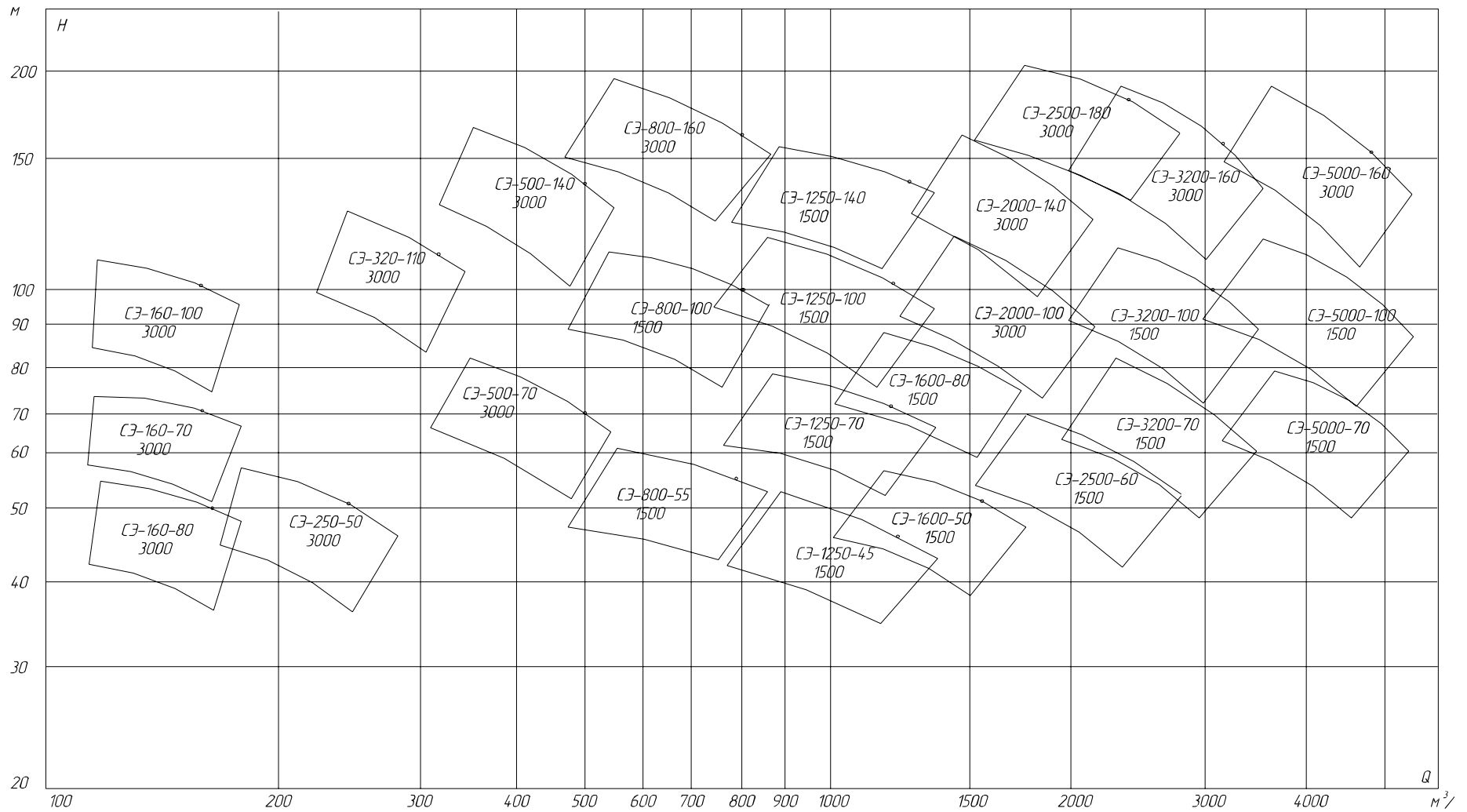


Рис. 19.1. Поле характеристик сетевых насосов

Таблица 19.1

## Основные технические характеристики сетевых насосов

Тип насоса	Подача, м <sup>3</sup> /с (м <sup>3</sup> /ч)	Напор, м	Допустимый кавитационный запас, м, не менее	Давление на входе в насос, МПа(кгс/см <sup>2</sup> ), не более	Частота вращения (синхронная), 1/с(1/мин)	Мощность, кВт	КПД, %, не менее	Температура перекачиваемой воды, °С, не более	Масса насоса, кг
СЭ-160-50	0,044(160)	50	5,5	0,39 (4)	50(3000)	29	73	(120)	-
СЭ-160-70	0,044(160)	70	5,5	0,39 (4)	50(3000)	37	79		-
СЭ-160-100	0,044(160)	100	5,5	0,39 (4)	50(3000)	59	71		-
СЭ-250-50	0,069(250)	50	7,0	0,39 (4)	50(3000)	41	80		-
СЭ-320-110	0,089(320)	110	8,0	0,39 (4)	50(3000)	114	80		-
СЭ-500-70-11	0,139(500)	70	10,0	1,08(11)	50(3000)	103	82		1034
СЭ-500-70-16	0,139(500)	70	10,0	1,57(16)	50(3000)	103	82		1034
СЭ-500-140	0,139(500)	140	10,0	1,57(16)	50(3000)	210	81		-
СЭ-800-55-11	0,221(800)	55	5,5	1,08(11)	25(1500)	132	81		1514
СЭ-800-55-16	0,221(800)	55	5,5	1,57(16)	25(1500)	132	81		1514
СЭ-800-100-11	0,221(800)	100	5,5	1,08(11)	25(1500)	243	80	3035	
СЭ-800-100-16	0,221(800)	100	5,5	1,57(16)	25(1500)	243	80	(180) 3035	
СЭ-800-160	0,221(800)	160	14,0	1,57(16)	50(3000)	378	82	-	
СЭ-1250-45-11	0,347(1250)	45	7,5	1,08(11)	25(1500)	166	82	2125	
СЭ-1250-45-25	0,347(1250)	45	7,5	2,45(25)	25(1500)	166	82	2125	
СЭ-1250-70-11	0,347(1250)	70	7,5	1,08(11)	25(1500)	260	82	1621	
СЭ-1250-70-16	0,347(1250)	70	7,5	1,57(16)	25(1500)	260	82	1621	
СЭ-1250-100	0,347(1250)	100	7,5	1,57(16)	25(1500)	370	82	-	
СЭ-1250-140-11	0,347(1250)	140	7,5	1,08(11)	25(1500)	518	82	4141	
СЭ-1250-140-16	0,347(1250)	140	7,5	1,57(16)	25(1500)	518	82	4141	
СЭ-1600-50	0,445(1600)	50	8,5	2,45(25)	25(1500)	234	83	-	
СЭ-1600-80	0,445(1600)	80	8,5	1,57(16)	25(1500)	388	80	-	
СЭ-2000-100	0,555(2000)	100	22,0	1,57(16)	50(3000)	572	85	(180) -	
СЭ-2000-140	0,555(2000)	140	22,0	1,57(16)	50(3000)	810	84	-	
СЭ-2500-60-11	0,695(2500)	60	12,0	1,08(11)	25(1500)	422	86	3770	
СЭ-2500-60-25	0,695(2500)	60	12,0	2,45(25)	25(1500)	422	86	-	
СЭ-2500-180-16	0,695(2500)	180	28,0	1,57(16)	50(3000)	1380	84	-	
СЭ-2500-180-10	0,695(2500)	180	28,0	0,98(10)	50(3000)	1380	84	2277	
СЭ-3200-70	0,890(3200)	70	15,0	0,98(10)	25(1500)	672	86	-	
СЭ-3200-100	0,890(3200)	100	15,0	0,98(10)	25(1500)	898	86	(120) -	
СЭ-3200-160	0,890(3200)	160	32,0	0,98(10)	50(3000)	1530	86	-	
СЭ-5000-70-6	1,390(5000)	70	15,0	0,59(6)	25(1500)	1035	87	5220	
СЭ-5000-70-10	1,390(5000)	70	15,0	0,98(10)	25(1500)	1035	87	5220	
СЭ-5000-100	1,390(5000)	100	15,0	1,57(16)	25(1500)	1340	87	(180) -	
СЭ-5000-160	1,390(5000)	160	40,0	0,98(10)	50(3000)	2340	87	(120) 4870	

Т а б л и ц а 19.2

*Центробежные насосы типа К*

Марка насоса	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Полный напор, м	Частота вращения колеса, об/мин	Рекомендуемая мощность электродвигателя, кВт	Диаметр рабочего колеса, мм	
1 К-6	6-11-14	20-17-14	2900	137	128	
1,5 К-6а	5-913	16-14-11		1,7	115	
1,5 К-6б	4-9-13	12-11-9		1,0	105	
2 К-6	10-20-30	34-31-24		4,5	162	
2 К-6а	10-20-30	28-25-20		2,8	148	
2 К-6б	10-20-25	22-18-16		2,8	132	
2 К-9	11-20-22	21-18-17		2,8	129	
2 К-9а	10-17-21	16-15-13		1,7	118	
2 К-9б	10-15-20	13-12-10		1,7	106	
3 К-6	30-45-70	62-57-44		14-20	218	
3 К-6а	30-50-65	45-37-30		10-14	192	
3 К-9	30-45-54	34-31-27		7,0	168	
3 К-9а	25-85-45	24-22-19		4,5	143	
4 К-6	65-95-135	98-91-72		55	272	
4 К-6а	65-85-125	82-76-62		40	250	
4 К-8	70-90-120	59-55-43		28	218	
4 К-8а	70-90-109	48-43-37		20	200	
4 К-12	65-90-120	37-34-28		14	174	
4 К-12а	60-85-110	31-28-23		14,	163	
4 К-18	60-80-100	25-22-19		7,0	148	
4 К-18а	50-70-90	20-18-14		7,0	136	
6 К-8	110-140-190	36-36-31		1450	28	328
6 К-8а	110-140-180	30-28-25			20	300
6 К-8б	110-140-180	24-22-18			20	275
6 К-12	110-160-200	22-20-17	14		264	
6 К-12а	95-150-180	17-15-12	10		240	
8 К-12	220-280-340	32-29-25	40		315	
8 К-12а	200-250-290	26-24-21	28		290	
8 К-18	220-285-360	20-18-15	20		268	
8 К-18а	200-260-320	17-15-12	20		250	

## Запорная арматура в системах теплоснабжения

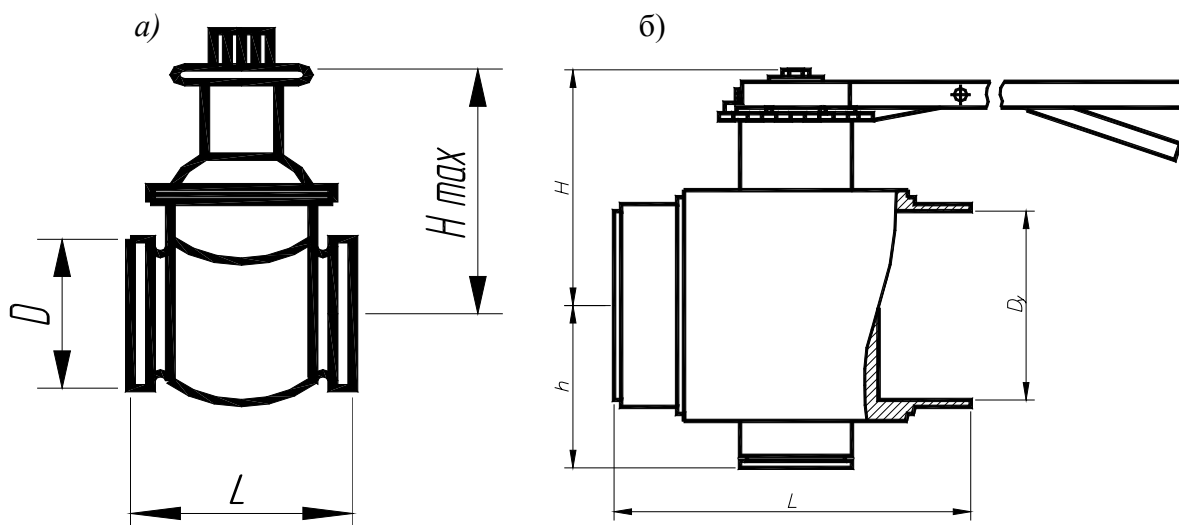


Рис. 20.1. Запорная арматура в тепловых сетях: а – задвижка; б – затвор

Т а б л и ц а 20.1

Стальные поворотные дисковые затворы с ручным управлением

$D_y$  200–400 мм на  $P_y = 2,5$  МПа,  $t \leq 200$  °С с концами под приварку

Условный проход $D_y$ , мм	Размеры, мм			Масса, кг
	$L$	$H$	$h$	
200	250	217	168	40
250	450	265	145	95
300	450	265	170	115
400	580	305	210	400

Т а б л и ц а 20.2

Стальные поворотные дисковые затворы с электроприводом  $D_y$  500–1

400 мм на  $P_y = 2,5$  МПа,  $t \leq 200$  °С с концами под приварку

Условный проход $D_y$ , мм	Размеры, мм			Электродвигатель		Время открытия или закрытия	Масса, кг
	$L$	$H$	$h$	Тип	Мощность, кВт		
500	630	665	330	4АХС80А4 или АОЛС-21-4УЗ	1,3	57	545
600	630	670	380			66	620
800	750	1 000	500	4АСТ005493 или АОЛС2-31-4УЗ	3,2 или 3	66	1 480
1 000	800	1 200	640			86	1 750
1 200	850	1 265	745	4АС13254 или АОС2-42-4УЗ	8,5 или 7,5	80	2 580
1 400	1 000	1 305	895			80	3 500

Т а б л и ц а 20.3

## Рекомендуемые задвижки

Обозначение задвижки	Условный проход $D_y$ , мм	Пределы применения				Присоединение к трубопроводу	Материал корпуса
		По каталогу		В тепловых сетях			
		$P_y$ , МПа	$t$ , °С	$P_y$ , МПа	$t$ , °С		
30ч47бр	50, 80, 100, 125, 150, 200	1,0	225	1,0	200	Фланцевое	Серый чугун
31ч6нж (И13061)	50, 80, 100, 125, 150	1,0	225	1,0	200		
31ч6бр	80	1,6	225	1,0	200		
30с14нж1	200	1,0	200	1,0	200	Фланцевое	Сталь
31ч6бр (ГЛ16003)	200, 250, 300	1,0	225	1,0	200		Серый чугун
	350, 400	1,0	225	0,6	120		
30ч915бр	500, 600, 800, 1200	1,0	100	0,6 0,25	100	Фланцевое	Серый чугун
30ч930бр	1000	1,0	120	0,25	120		
30с64бр	200	2,5	225	2,5	225	Фланцевое и под приварку	Сталь
ИА12015	400	2,5	200	2,5	200	С концами под приварку	
Л12014 30с924нж	1000, 1200, 1400	2,5	200	2,5	200	под приварку	
30с64нж ПФ-11010-00	100	2,5	225	2,5	225	Фланцевое и под приварку	Сталь
30с76нж	50, 80, 100, 125, 150, 200, 250/200	6,4	300	6,4	300	Фланцевое	Сталь
30с97нж	150, 200, 250	2,5	300	2,5	300	Фланцевое и под приварку	Сталь
30с65нж (НА11053-00)	150, 200, 250	2,5	250	2,5	250		
30с564нж (МА11022.04)	300	2,5	300	2,5	300		
30с572нж 30с927нж	400/300, 500, 600, 800	2,5	300	2,5	300	Фланцевое и под приварку	Сталь
30с964нж	1000/800	2,5	300	2,5	300		



Т а б л и ц а 20.4

*Допускаемые задвижки*

Обозначение задвижки	Условный проход $D_y$ , мм	Пределы применения (не более)				Присоединение к трубопроводу	Материал корпуса
		По каталогу		В тепловых сетях			
		$p_y$ , МПа	$t$ , °С	$p_y$ , МПа	$t$ , °С		
30ч6бр	50, 80, 100, 125, 150	1,0	225	1,0	200	Фланцевое	Серый чугун
30ч930бр	600, 1200, 1400	0,25	120	0,25	120		
31ч6бр	50	1,6	225	1,0	200		
ЗКЛ2-16	50, 80, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600	1,6	450	1,6	450		Сталь
30с64нж	200	2,5	300	2,5	300	Фланцевое и с концами под приварку	Сталь
30с567нж (ИА11072-12)	400	2,5	300	2,5	300	Под приварку	
300с964нж	500	2,5	300	2,5	300	Фланцевое и с концами под приварку	Сталь
30с967нж (ИАЦ072-09)	500, 600	2,5	300	2,5	300	Под приварку	

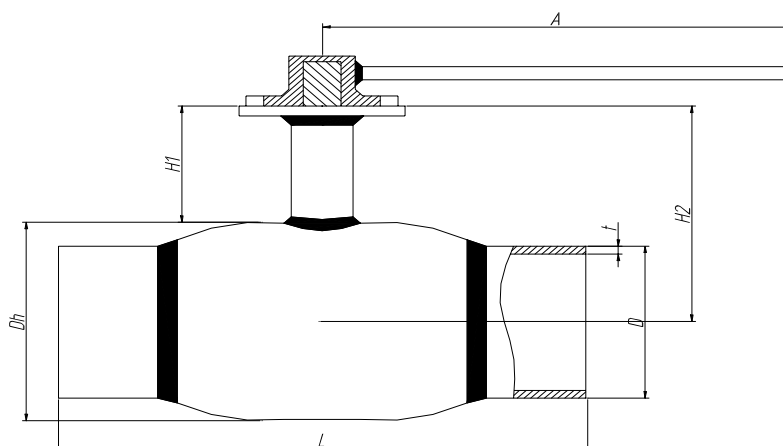


Рис. 20.2. Шаровые краны в системах теплоснабжения

Т а б л и ц а 20.5

Технические данные шаровых кранов BALLOMAX

Условный диаметр	Прочной условный диаметр	$D_n$ , мм	$d$ , мм	$t$ , мм	$L$ , мм	$H_1$ , мм	$H_2$ , мм	$A$ , мм	Масса, кг
10	10	38	17,2	1,8	210	50	116	140	0,8
15	10	38	21,3	2,0	210	50	116	140	0,8
20	15	42	26,9	2,3	230	60	129	140	0,9
25	20	51	33,7	2,6	230	60	133	140	1,1
32	25	57	42,4	2,6	260	60	137	140	1,4
40	32	76	48,3	2,6	260	70	158	180	2,1
50	40	89	60,3	2,9	300	70	164	180	2,7
65	108	76,1	76,1	2,9	360	31	114	275	4,7
80	127	88,9	88,9	3,2	370	31	124	275	6,1
100	152	114,3	114,3	3,6	390	36	150	365	9,5
125	100	178	139,7	3,6	390	132	221	365	17,3
150	125	219	168,3	4,0	390	135	245	650	26,9
200	150	267	219,1	4,5	390	155	289	-	43,5
250	200	355,6	273,0	5,0	630	128	306	-	115,0
300	250	457	323,3	5,6	710	108	336	-	195,0
350	300	508	355,6	5,6	750	141	395	-	235,0
400	350	610	406,4	6,3	860	140	445	-	390,0
500	400	711	508,0	6,3	970	166,5	522	-	610,0

Примечание: при бесканальных прокладках может быть применена бескамерная установка шаровых кранов с удлиненным штоком (см. размер  $H_1$ ).

## ПРИЛОЖЕНИЕ 21

*Единицы физических величин*

Т а б л и ц а 21.1

*Соотношение между некоторыми единицами физических величин, подлежащими замене, с единицами СИ*

Величина	Единица				Соотноше- ние с единицами СИ
	подлежащая замене		СИ		
	Наимено- вание	Обозначе- ние	Наимено- вание	Обозначение	
Количество теплоты	килокалория	ккал	килоджо- уль	кДж	4,19 кДж
Удельное количество теплоты	килокалория на килограмм	ккал/кг	килоджо- уль на килограм м	кДж/кг	4,19 кДж/кг
Тепловой поток	килокалория в час	ккал/ч	ватт	Вт	1,163 Вт
(Мощность)	гигакалория в час	Гкал/ч	мегаватт	МВт	1,163 МВт
Поверхност- ная плотность теплого потока	килокалория в час на квадрат- ный метр	ккал/(ч · м <sup>2</sup> )	ватт на квадрат- ный метр	Вт/м <sup>2</sup>	1,163 Вт/м <sup>2</sup>
Объемная плотность теплого потока	килокалория в час на кубичес- кий метр	ккал/(ч · м <sup>3</sup> )	ватт на кубичес- кий метр	Вт/м <sup>3</sup>	1,163 Вт/м <sup>3</sup>
Теплоем- кость	килокалория на градус Цельсия	ккал/°С	килоджо- уль на градус Цельсия	кДж/°С	4,19 кДж
Удельная теплоем- кость	килокалория на килограмм градус Цельсия	ккал/(кг · °С)	килоджо- уль на килограм м градус Цельсия	кДж/(кг · °С)	4,19 кДж/(кг · °С)
Теплопро- водность	килокалория на метр час градус Цельсия	ккал/(м · ч · °С)	ватт на метр градус Цельсия	Вт/(м · °С)	1,163 Вт/(м · °С)

Т а б л и ц а 21.2

*Соотношения между единицами измерения системы МКГСС и международной системы единиц СИ*

Энергия	1 ккал = 4,187 кДж
Сила	1 кгс = 9,81 Н
Удельный вес	1 кгс/м <sup>3</sup> = 9,81 Н/м <sup>3</sup>
Плотность	1 кгс · с <sup>2</sup> /м <sup>4</sup> = 9,81 кг/м <sup>3</sup>
Теплоемкость	1 ккал/(кгс · °С) = 4,187 кДж/(кг · °С)
Энтальпия	1 ккал/кгс = 4,187 кДж/кг
Тепловой поток	1 ккал/ч = 1,163 Вт
Коэффициент излучения	1 ккал/(м <sup>2</sup> · ч · К <sup>4</sup> ) = 1,163 Вт/(м <sup>2</sup> · ч · К <sup>4</sup> )

Т а б л и ц а 21.3

*Соотношение между единицами измерения давления*

Единица измерения	Па	бар	мм рт. ст.	мм вод. ст.	кгс/см <sup>2</sup>
Па	1	10 <sup>-6</sup>	7,5024·10 <sup>-3</sup>	0,102	1,02·10 <sup>-6</sup>
Бар	10 <sup>5</sup>	1	7,524·10 <sup>2</sup>	1,02·10 <sup>4</sup>	1,02
мм рт. ст.	133,322	1,33322·10 <sup>-3</sup>	1	13,6	1,36·10 <sup>-3</sup>
мм вод. ст.	9,8067	9,8067·10 <sup>-5</sup>	7,35·10 <sup>-2</sup>	1	10 <sup>-4</sup>
кгс/см <sup>2</sup>	9,8067·10 <sup>4</sup>	0,98067	7,35·10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>	1

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.....	4
1.1. КОНСТРУИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.....	4
1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ НА ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЮ И ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ .....	9
1.3. ГРАФИКИ ТЕПЛООВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ.....	11
1.4. РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ.....	12
1.4.1. Теплоносители и их параметры .....	12
1.4.2. Регулирование отпуска теплоты на отопление.....	14
1.4.3. Центральное качественное регулирование по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения .....	15
1.4.4. Регулирование отпуска теплоты на вентиляцию .....	19
1.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ СЕТЕВОЙ ВОДЫ.....	20
1.6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.....	25
1.7. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.....	25
1.8. ПОДБОР СЕТЕВЫХ И ПОДПИТОЧНЫХ НАСОСОВ.....	28
1.9. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ.....	31
1.10. РАСЧЕТ И ПОДБОР КОМПЕНСАТОРОВ.....	37
1.11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРОВ СПУСКНЫХ УСТРОЙСТВ ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.....	40
1.12. РАСЧЕТ УСИЛИЙ НА ОПОРЫ.....	42
1.13. ПОДБОР ЭЛЕВАТОРА.....	48
2. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ .....	50
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Основные буквенные обозначения величин .....	92
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Укрупненные показатели максимального теплового потока на отопление жилых зданий .....	94
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Укрупненные показатели среднего теплового потока на горячее водоснабжение .....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Удельные тепловые характеристики жилых и общественных зданий .....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Нормы расхода воды потребителями .....	97
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Гидравлический расчет тепловых сетей .....	101
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Максимальные расстояния между неподвижными опорами трубопроводов.....	105
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при числе часов работы в год более 5 000 .....	106
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Расчетные теплотехнические характеристики теплоизоляционных материалов и изделий .....	107
ПРИЛОЖЕНИЕ 10. Расчетные технические характеристики материалов, применяемых для изоляции трубопроводов при бесканальной прокладке.....	108

ПРИЛОЖЕНИЕ 11. Коэффициент $K_1$ , учитывающий изменение стоимости теплоты в зависимости от района строительства и способа прокладки трубопровода (места установки оборудования) .....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ 12. Коэффициент $K_2$ , учитывающий увеличение теплопроводности от увлажнения теплоизоляционного материала и типа грунта .....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ 13. Виды покрытий для защиты наружной поверхности труб тепловых сетей от коррозии .....	109
ПРИЛОЖЕНИЕ 14. Компенсаторы в тепловых сетях .....	110
ПРИЛОЖЕНИЕ 15. Технические характеристики труб и отводов .....	116
ПРИЛОЖЕНИЕ 16. Опоры в тепловых сетях .....	117
ПРИЛОЖЕНИЕ 17. Коэффициенты трения в подвижных опорах .....	120
ПРИЛОЖЕНИЕ 18. Прокладка трубопроводов тепловых сетей .....	120
ПРИЛОЖЕНИЕ 19. Насосы в системах теплоснабжения .....	124
ПРИЛОЖЕНИЕ 20. Запорная арматура в системах теплоснабжения .....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ 21. Единицы физических величин .....	131

Учебное издание

Тихомиров Анатолий Кузьмич

## **ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ РАЙОНА ГОРОДА**

Учебное пособие

Главный редактор *Л. А. Суевалова*  
Редактор *Л. С. Бакаева*  
Дизайнер обложки *М. В. Привальцева*

Подписано в печать                      Формат 60x84 1/16.  
Бумага писчая. Гарнитура «Таймс». Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 7,9. Тираж 300 экз. Заказ

Издательство Тихоокеанского государственного университета.  
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.  
Отдел оперативной полиграфии издательства  
Тихоокеанского государственного университета.  
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

ДЛЯ ЗАМЕТОК