Библиотека СОК

Министерство образования и науки Российской Федерации

Тихоокеанский Государственный Университет

Тихомиров А.К.

Учебное пособие
к курсовому и дипломному проектированию
“Теплоснабжение района города”

г. Хабаровск 2006 г

УДК

Теплоснабжение района города. Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию по дисциплине «Теплоснабжение» для студентов специальности ТГВ (290700) дневной и заочной форм обучения / А. К. Тихомиров. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеанск. гос. техн. ун-та, 2006. – 126 с.

Учебное пособие имеет своей целью оказание помощи при выполнении курсовых и дипломных проектов по дисциплине ↔Теплоснабжение≈.
Включает теоретические основы проектирования систем теплоснабжения, примеры расчетов и подбора оборудования тепловых сетей, справочные приложения.

Публикуется в соответствии с решениями кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» и учебно- методической комиссии специальности института архитектуры и строительства

Главный редактор
Редактор
Компьютерная верстка

Лицензия на издательскую деятельность ЛР № 020526 от 23.04.97

Подписано в печать . Формат 60 x 84 1/16.
Бумага писчая. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Усл. печ. л. .
Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ . С .

Издательство Тихоокеанского государственного университета.
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

Отдел оперативной полиграфии
Тихоокеанского государственного университета.
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

© Издательство Тихоокеанского
государственного университета,

содержание

1. Предисловие 5

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ 6

2.1 Конструирование тепловых сетей. 6
2.2 Определение тепловых потоков на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение 10
2.3 Графики теплового потребления 12
2.4 Регулирование отпуска теплоты 14
2.4.1 Теплоносители и их параметры 14
2.4.2 Регулирование отпуска теплоты на отопление 15
2.4.3 Центральное качественное регулирование по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. 17
2.4.4 Регулирование отпуска теплоты на вентиляцию 20
2.6 Определение расходов сетевой воды. 21
2.7 Гидравлический расчет тепловых сетей. 24
2.8 Гидравлические режимы водяных тепловых сетей 26
2.9 Подбор сетевых и подпиточных насосов 29
2.10 Расчет толщины тепловой изоляции. 31
2.11 Расчет и подбор компенсаторов 37
2.12 Определение диаметров спускных устройств водяных тепловых сетей 40
2.13 Расчет усилий на опоры. 42
2.14 Подбор элеватора. 49

3. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ 50

ПРИЛОЖЕНИЯ 91

Приложение 1. Основные буквенные обозначения величин 91
Приложение 2. Укрупненные показатели максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1 м^2 общей площади $Q_о$, Вт 93
Приложение 3. Укрупненные показатели среднего теплового потока на горячее водоснабжение $Q_{н.}$ 94
Приложение 4. Удельные тепловые характеристики жилых и общественных зданий. 94
Приложение 5. Нормы расхода воды потребителями 96
пппппппппппппппппппп ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
Приложение 6. Номограммы для гидравлического расчета трубопроводов. Удельные перепады давления R, Па/м, в стальных трубах при $к_э$ = 0,0005мм 100

Рис.2 приложения 6. Номограммы для гидравлического расчета трубопроводов 101
Приложение 7 . Максимальные расстояния между неподвижными опорами трубопроводов 104
Приложение 8. Нормы плотности теплового потока q_E, Вт/м, через изолированную поверхность трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при числе часов работы в год более 5000. 105
Приложение 9. Расчетные теплотехнические характеристики теплоизоляциионных материалов и изделий. 106
Приложение 10. Расчетные технические характеристики материалов, применяемых для изоляции трубопроводов при бесканальной прокладке 107
Приложение 11. . Коэффициент K_1, учитывающий изменение стоимости теплоты в зависимости от района строительства и способа прокладки трубопровода (места установки оборудования)..... 107
Приложение 12. Коэффициент K_2, учитывающий увеличение теплопроводности от увлажнения, теплоизоляционного материала и типа грунта. 107
Приложение 13. Виды покрытий для защиты наружной поверхности труб тепловых сетей от коррозии. 108
Приложение 14. Компенсаторы в тепловых сетях. 109
Приложение 15. Технические характеристики труб и отводов..... 115
Приложение 16. Опоры в тепловых сетях. 116
16.1. Неподвижные опоры трубопроводов тепловых сетей. 116
16.2. Подвижные опоры трубопроводов тепловых сетей. 117
Приложение 17. Коэффициенты трения в подвижных опорах 119
Приложение 18. Прокладка трубопроводов тепловых сетей. 119
Приложение 19. Насосы в системах теплоснабжения. 123
Приложение 20. Запорная арматура в системах теплоснабжения. 126
Литература 132

1. Предисловие

Учебное пособие написано для студентов специальности ↔Теплогазоснабжение и вентиляция≈ и может быть использовано при выполнении курсовых и дипломных проектов по дисциплине ↔Теплоснабжение≈.

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, выполнять гидравлические расчеты трубопроводов, тепловой и механический расчеты теплопроводов, приобрести навыки по использованию технической и справочно-нормативной литературы.

Пособие состоит из трех глав. В первой главе приведено содержание пособия, во второй главе излагаются теоретические основы проектирования систем теплоснабжения, в третьей главе приводятся примеры расчета и подбора оборудования и конструкций тепловых сетей. В приложениях даны справочные материалы а также приводятся методические указания по выбору исходных данных, объему и содержанию курсового проекта

2. Теоретические основы проектирования систем теплоснабжения.

2.1 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 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, как правило, 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 [2]. 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 2-х и более крупных магистралей от одного источника следует предусматривать, при необходимости, устройство резервных перемычек между магистралями. Водяные тепловые сети следует принимать, как правило, 2-х 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 ^{0}С следует предусматривать стальные электросварные трубы. Основные характеристики стальных труб для водяных

тепловых сетей приведены в литературе [8, табл. 3.3-3.9], а также в приложении 16 учебного пособия. 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_o выше – 40 ^{0}C; из ковкого чугуна с t_o выше - 30 ^{0}C; из серого чугуна с t_o выше -10 ^{0}C. 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 1000 м друг от друга (секционирующие задвижки), допускается увеличивать расстояния между секционирующими задвижками для трубопроводов D_y = 400-500 мм - до 1500 м, для трубопроводов $D_y > 600$ мм - до 3000м, для трубопроводов надземной прокладки $D_y \geq 900$ мм - до 5000 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 [] и приниматься не менее указанных в таблице 2.3 учебного пособия. В высших точках трубопроводов тепловых сетей должны предусматриваться штуцера с запорной арматурой для выпуска воздуха (воздушники), условный проход которых приведен в таблице 2.4 учебного пособия. Данные по запорной арматуре приведены в приложении 20 учебного пособия. 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 за-

движек, на участках самокомпенсации с углами поворота 90-130^0. Далее расставляют промежуточные неподвижные опоры на протяженных прямолинейных участках. Максимальные расстояния между неподвижными опорами не должны превышать величин указанных в приложении 7 учебного пособия. 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 литературе [8, стр. 22-29] а также в приложении 16 учебного пособия.

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 с D_y = 100-1400 мм на условное давление до 2,5 МПа и температуру до 300°С, односторонние и двухсторонние. Сальниковые компенсаторы желательно применять на прямолинейных участках трубопроводов с большими диаметрами. Сильфонные компенсаторы выпускаются для трубопроводов диаметром от 50 до 1000 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 вопро-

сов 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 литературе [8, стр. 39-42, 176-179], а также в приложении 14 учебного пособия.

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, изолировочных и других видов работ. Конструкции непроходных каналов приведены в литературе [8, стр. 227-232] а также в приложении 18 учебного пособия.

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 пенопласта, асфальтоизола. Выбор конструкции теплоизоляционного слоя и расчет его толщины, как при канальной, так при бесканальной прокладке следует выполнять в соответствии с рекомендациями [4,5] с учетом параметров теплоносителя, условий эксплуатации и не превышения нормируемых тепловых потерь.

Для защиты наружной поверхности труб тепловых сетей от коррозии необходимо предусматривать защитное покрытие, конструкция которого может быть принята по приложению 13 учебного пособия. При подземной прокладке для размещения запорной арматуры, спускных и воздушных устройств, сальниковых компенсаторов и другого оборудования, требующего постоянного до-

ступа и обслуживания, устраиваются тепловые камеры. Размеры камеры принимаются из условий нормального обслуживания размещаемого в камере оборудования согласно [2. 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 м^2, и четырех люков при внутренней площади камер более 6 м^2. Под люками должны быть устроены лестницы или скобы. Днище камеры выполняется с уклоном не менее 0.02 в сторону водосборного приямка.

При пересечении теплопроводов с другими инженерными коммуникациями и сооружениями необходимо учитывать расстояния по вертикали и горизонтали согласно [2. 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 каналов до 0.3 м, бесканальной прокладки до 0.5м.

2.2 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

$$Q_{o\max} = q_0 \cdot A \cdot (1 + K_1), \qquad (2.1)$$

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

$$Q_v^{общ} = q_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot A\,, \qquad (2.2)$$

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

$$Q_{hm} = \frac{1,2 \cdot m \cdot (a+b) \cdot (55 - t_c)}{24 \cdot 3,6} \cdot c\,, \qquad (2.3)$$

или

$$Q_{hm} = q_h \cdot m \qquad (2.4)$$

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

$$Q_{h\max} = 2,4 \cdot q_h \cdot m \qquad (2.5)$$

где K_1 - коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий; при отсутствии данных K_1 следует принимать 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 $Q_{\text{o}}^{от}$, Вт, следует определять по формуле

$$Q_{\text{o}}^{от} = Q_{\text{o max}} \cdot \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{от}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right) \qquad (2.6)$$

Среднечасовой тепловой поток на вентиляцию за отопительный период $Q_{\text{v}}^{от}$, Вт, следует определять по формуле

$$Q_{\text{v}}^{от} = Q_{\text{v max}} \cdot \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{от}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right) \qquad (2.7)$$

Среднечасовой тепловой поток на горячее водоснабжение Q^{s}_{hm}, Вт, жилого района в неотопительный период определяют по формуле

$$Q^{s}_{hm} = \beta \cdot Q_{hm} \cdot \left(\frac{55 - t^{s}_{c}}{55 - t_{c}} \right) \qquad (2.8)$$

Тепловые потоки на отопление и вентиляцию зданий при известных наружных строительных объемах, $V_{зд.}$, м^3, и удельных отопительных $q_{от}$, Вт/м³·К и вентиляционных $q_{вент.}$, Вт/м³·К, характеристиках могут быть определены по формулам:

$$Q_{omax} = q_{от} \cdot V_{зд} \cdot (t_{i} - t_{o})\ a \qquad (2.9)$$

$$Q_{v\,max} = q_{вент} \cdot V_{зд} \cdot (t_{i} - t_{o}) \qquad (2.10)$$

где a - поправочный коэффициент к величине $q_{от}$, принимаемый по приложению 4 учебного пособия.

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 [3. стр.4] по формулам:

$$Q_{hm} = 1{,}16 \cdot q^{h}_{r} \cdot (55 - tc) + Q^{ht} \qquad (2.11)$$

$$Q_{hmax} = 1{,}16 \cdot q^{h}_{hr} \cdot (55 - tc) + Q^{ht} \qquad (2.12)$$

Буквенные обозначения расчетных величин используемые в этом и последующих разделах приведены в приложении 1 учебного пособия. Значения расчетных величин q_0, q_{h}, $q_{от}$, $q_{вент.}$, t_i приведены в приложениях 2,3,4 учебного пособия.

2.3 Графики теплового 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 так же для технико-экономических расчетов при проектировании и эксплуатации системы теплоснабжения. На рис. 3.2 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_{omax} и Q_{vmax} и определенные при температуре наружного воздуха начала (конца) отопительного периода $t_{нк}$. При определении тепловых потоков на отопление и вентиляцию для любых температур наружного воздуха $t_н$ используют следующие зависимости:

$$Q_o^{t_н} = Q_{o\,max} \cdot \left(\frac{t_i - t_н}{t_i - t_o} \right) \qquad (2.13)$$

$$Q_v^{t_н} = Q_{v\,max} \cdot \left(\frac{t_i - t_н}{t_i - t_o} \right) \qquad (2.14)$$

Среднечасовой тепловой поток на горячее водоснабжение жилого района в неотопительный период определяют по формуле (2.15).

$$Q_{hm}^{s} = Q_{hm} \cdot \beta \cdot \left(\frac{55 - t_c^{s}}{55 - t_c} \right) \qquad (2.15)$$

Суммируя ординаты часовых графиков по отдельным видам теплопотребления, строят суммарный часовой график расходов теплоты Q_Σ, который используют также для построения годового графика по продолжительности тепловой нагрузки. Для построения этого графика необходимо иметь данные по продолжительности стояния температур наружного воздуха, принимаемые для конкретного города по [9] и просуммированные с нарастающим итогом. Пример построения годового графика по продолжительности тепловой нагрузки приведен на стр. 50 учебного пособия. Для построения годового графика по месяцам, (см. рис. 3.3), используя среднемесячные температуры наружного воздуха из [1], определяют по формулам (2.13) и (2.14) 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 неотопительного периода при $t_н \geq t_{нк}$ суммарный тепловой поток будет равен среднечасовому тепловому потоку на горячее водоснабжение в данный период, Q^{s}_{hm}.

2.4 Регулирование отпуска теплоты

2.4.1 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 [2] принимается при среднесуточной температуре наружного воздуха:

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

+10 °С в районах с расчетной температурой наружного воздуха для проектирования отопления ниже минус 30 °С и усредненной расчетной температурой внутреннего воздуха 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, может применяться в водяных тепловых сетях 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 по температурному графику для поддержания средней по зданию температуры внутреннего воздуха.

2.4.2 Регулирование отпуска теплоты на отопление

2.4.2.1 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 так же при величине отношения среднечасовой нагрузки на горячее водоснабжение к расчетной нагрузке на отопление менее 0,15 ($\mu = \frac{Q_{\text{hm}}}{Q_{\text{omax}}} < 0{,}15$). При таком способе регулирования, для зависимых схем присоединения элеваторных систем отопления температуру сетевой воды в подающей τ_{10} и обратной τ_{20} магистралях, а так же после элеватора τ_{30} в течение отопительного периода определяют по следующим выражениям:

$$\tau_{10} = t_{\text{i}} + \Delta t \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right)^{0,8} + \left(\Delta\tau - 0{,}5 \cdot \theta \right) \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right) \qquad (2.16)$$

$$\tau_{20} = t_{\text{i}} + \Delta t \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right)^{0,8} - 0{,}5 \cdot \theta \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right) \qquad (2.17)$$

$$\tau_{30} = t_{\text{i}} + \Delta t \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right)^{0,8} + 0{,}5 \cdot \theta \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right) \qquad (2.18)$$

где t_i - усредненная расчетная температура внутреннего воздуха,

$t_н$ - температура наружного воздуха, ^{0}C

Δt - расчетный температурный напор нагревательного прибора, ^{0}C, определяемый по формуле

$$\Delta t = \frac{\tau_3 + \tau_2}{2} - t_i \qquad (2.19)$$

где τ_3 и τ_2 расчетные температуры воды соответственно после элеватора и в обратной магистрали тепловой сети определенные при t_o (для жилых районов, как правило, $\tau_3 = 95\ ^0$C; $\tau_2 = 70\ ^0$C);

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

$$\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2 \qquad (2.20)$$

θ - расчетный перепад температур сетевой воды в местной системе отопления

$$\theta = \tau_3 - \tau_2 \qquad (2.21)$$

Задаваясь различными значениями температур наружного воздуха $t_н$ (обычно $t_{нк}$; 0; -10; t_v; t_o), по формулам (2.16), (2.17), (2.18) определяют температуры $\tau_{10;}$ τ_{20}; τ_{30} и строят отопительный график температур сетевой воды. Для удовлетворения нагрузки горячего водоснабжения температура сетевой воды в подающей магистрали τ_{10} не может быть ниже 70 ^{0}C в закрытых системах теплоснабжения. Для этого отопительный график спрямляется на уровне указанной температуры и становится отопительно-бытовым (см. рис. 3.4)

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

- в диапазоне I с интервалом температур наружного воздуха от $t_{нк}$ до $t_н'$ 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 $t_н'$ до t_o осуществляется центральное качественное регулирование.

2.4.3 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 схемах включения водоподогревателей. Расчет повышенного графика для таких систем заключается в определении перепада температур сетевой воды в водоподогревателях верхней δ_1 и нижней δ_2 ступеней при различных температурах наружного воздуха и **балансовой** нагрузке горячего водоснабжения $Q_{\text{hm}}^{\text{б}}$.

$$Q_{\text{hm}}^{\text{б}} = 1,2 \cdot Q_{\text{hm}} \qquad (2.22)$$

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

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{Q_{\text{hm}}^{\text{б}}}{Q_{\text{omax}}} \cdot \left(\tau_1 - \tau_2\right) \qquad (2.23)$$

Перепад температуры сетевой воды в нижней ступени водоподогревателя δ_2 соответствующий температуре наружного воздуха для точки излома температурного графика $t_{\text{н}}^{'}$, а так же для всего диапазона температур наружного воздуха от $t_{\text{нк}}$ до $t_{\text{н}}^{'}$ определяют по формуле

$$\delta_2^{'} = \delta \cdot \frac{\left(t_{\text{h}}^{'} - t_{\text{c}}^{'}\right)}{\left(t_{\text{h}} - t_{\text{c}}\right)} \qquad (2.24)$$

для диапазона от $t_н^{'}$ до $t_о$ величину δ_2 определяют по формуле

$$\delta_2 = \delta_2^{'} \cdot \frac{\left(\tau_{20} - t_с\right)}{\left(\tau_{20}^{'} - t_c\right)} \qquad (2.25)$$

где t_h - температура горячей воды поступающей из водоподогревателя в систему горячего водоснабжения, ^{0}С;

$t_с$ - температура холодной водопроводной воды перед водоподогревателем нижней ступени, ^{0}С;

$t_h^{'}$ - температура водопроводной воды после водоподогревателя нижней ступени, ^{0}С, определяемая по формуле

$$t_h^{'} = \tau_{20}^{'} - \left(5 \div 10\right) \qquad (2.26)$$

$\tau_{20}^{'}$ - температура сетевой воды в обратной магистрали соответствующая точке излома температурного графика, ^{0}С

τ_{20} - температура сетевой воды в обратной магистрали принимаемая по отопительному графику в соответствии с заданной температурой наружного воздуха $t_н$, ^{0}С;

Температуру сетевой воды по повышенному графику в обратной магистрали $\tau_{2п}$ определяют по формуле, ^{0}С

$$\tau_{2п} = \tau_{20} - \delta_2 \qquad (2.27)$$

Перепад температур сетевой воды в верхней ступени водоподогревателя δ_1 определяют по формуле, ^{0}С

$$\delta_1 = \delta - \delta_2 \qquad (2.28)$$

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

$$\tau_{1п} = \tau_{10} + \delta_1 \qquad (2.29)$$

Для построения повышенного графика отпуска теплоты по совместной нагрузке на отопление и горячее водоснабжение для **открытых** систем тепло снабжения необходимо вначале построить графики температур, $\tau_{10}, \tau_{20}, \tau_{30}$ для

зависимых схем присоединения элеваторных систем отопления (см. формулы (2.16), (2.17), (2.18)) .

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

$$\tau_{1п} = t_{i} + \frac{\bar{Q}_{o}}{\bar{G}_{o}} \cdot \left(\Delta\tau + \Delta t \cdot \frac{\bar{G}_{o}}{\bar{Q}_{o}^{0,2}} - 0,5 \cdot \theta \right) \qquad (2.30)$$

$$\tau_{2п} = t_{i} + \frac{\bar{Q}_{o}}{\bar{G}_{o}} \cdot \left(\Delta t \cdot \frac{\bar{G}_{o}}{\bar{Q}_{o}^{0,2}} - 0,5 \cdot \theta \right) \qquad (2.31)$$

где $\bar{Q}_{o}$ - относительный расход теплоты на отопление, определяемый по формуле

$$\bar{Q}_{o} = \frac{Q_{o}}{Q_{omax}} = \frac{(t_{i} - t_{н})}{(t_{i} - t_{o})} \qquad (2.32)$$

$\bar{G}_{o}$ - относительный расход сетевой воды на отопление, определяемый из выражения

$$\bar{G} = \frac{1 - 0,5 \cdot \rho^{б} \cdot \dfrac{\theta}{t_{h} - t_{c}}}{1 + \dfrac{t_{h} - t_{i}}{t_{h} - t_{c}} \cdot \dfrac{\rho^{б}}{\bar{Q}_{o}} - \dfrac{\Delta t}{t_{h} - t_{c}} \cdot \dfrac{\rho^{б}}{\bar{Q}_{o}^{0,2}}} \qquad (2.33)$$

где $$\rho^{б} = \frac{1,1 \cdot Q_{hm}}{Q_{omax}} \qquad (2.34)$$

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

2.4.4 Регулирование отпуска теплоты на вентиляцию

По характеру изменения температуры и расхода теплоты на вентиляцию отопительный период делится на три диапазона. В диапазоне I (от $t_{нк}$ до $t_н^{'}$) 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 $t_н^{'}$ до t_v) по мере увеличения вентиляционной нагрузки возрастает и температура сетевой воды.

В диапазоне III (от t_v до t_o) возрастает температура сетевой воды и также тепловая нагрузка для большинства вентиляционных систем. Для систем вентиляции с рециркуляцией тепловая нагрузка в данном диапазоне поддерживается постоянной. В диапазонах II и III осуществляется центральное качественное регулирование для систем вентиляции без рециркуляции воздуха. Для систем с рециркуляцией в диапазоне III осуществляется местное количественное регулирование изменением расхода сетевой воды и количества наружного и рециркуляционного воздуха. При построении графиков температур сетевой воды для систем вентиляции основной задачей является определение температуры сетевой воды в обратном трубопроводе после калориферов τ_{2v} для различных диапазонов отопительного периода. Для решения этой задачи используют следующие уравнения:

Для диапазона I (от $t_{нк}$ до $t_н^{'}$)

$$\frac{\Delta t_к}{\Delta t_к^{'}} \cdot \left(\frac{\tau_1^{'} - \tau_{2v}^{'}}{\tau_1 - \tau_{2v}} \right)^{0,15} = \left(\frac{t_i - t_н}{t_i - t_н^{'}} \right)^{0,85} \qquad (2.35)$$

для диапазона II (от $t_н^{'}$ до t_v)

$$\tau_{2v} = \tau_1 - \left(\tau_{1v}^{p} - \tau_{2v}^{p} \right) \cdot \left(\frac{t_i - t_н}{t_i - t_н^{'}} \right) \qquad (2.36)$$

для диапазона III (от t_v до t_o)

$$\frac{\Delta t_к}{\Delta t_к^{p}} \cdot \left(\frac{\tau_{1v}^{p} - \tau_{2v}^{p}}{\tau_1 - \tau_{2v}} \right)^{0,15} = 1 \qquad (2.37)$$

где $\Delta t_к$ - температурный напор в калорифере, определяемый при температуре $t_н$ ($\Delta t_к^{'}$ - то же при температуре $t_н^{'}$)

$$\Delta t_{к} = 0,5 \cdot \left(\tau_{1} + \tau_{2v} \right) - 0,5 \cdot \left(t_{н} + t_{i} \right) \qquad (2.38)$$

$\Delta t^{р}_{к}$ - расчетный температурный напор в калорифере, определенный при температуре наружного воздуха, расчетной для систем вентиляции, t_{v}

$$\Delta t^{р}_{к} = 0,5 \cdot \left(\tau^{р}_{1v} + \tau^{р}_{2v} \right) - 0,5 \cdot \left(t_{v} + t_{i} \right) \qquad (2.39)$$

τ_{1}, τ_{2v} - значения температур сетевой воды соответственно в подающем трубопроводе перед калориферами и в обратном трубопроводе после калориферов при заданной температуре наружного воздуха $t_{н}$

τ'_{1}; τ'_{2v} - то же, но для точки излома температурного графика $t_{н}$.

$\tau^{р}_{1v}$; $\tau^{р}_{2v}$ - то же, но при расчетной температуре наружного воздуха для вентиляции, t_{v}.

Неизвестные значения температуры обратной воды после калориферов τ_{2v} для I и III диапазонов определяют решением уравнений (2.35) и (2.37) методом последовательных приближений. Расчет температур сетевой воды для отопительных и повышенных графиков регулирования может быть выполнен с использованием таблиц и номограмм, приведенных в литературе [9, 10]. 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\Teplo\Gidravl\ сервера кафедры ТГВ. На рис 3.4 и 3.5 приведены повышенные графики соответственно для закрытых и открытых систем теплоснабжения.

2.6 Определение расходов сетевой воды.

Расчетный расход сетевой воды, кг/ч, для определения диаметров труб в водяных тепловых сетях при качественном регулировании отпуска теплоты следует определять отдельно для отопления, вентиляции и горячего водоснабжения по формулам:

а) на отопление

$$G_{o\max} = \frac{3,6 \cdot Q_{o\max}}{c \cdot \left(\tau_{1} - \tau_{2} \right)}, \qquad (2.40)$$

б) на вентиляцию

$$G_{\text{v max}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{v max}}}{c \cdot \left(\tau_1 - \tau_2\right)}, \tag{2.41}$$

в) на горячее водоснабжение в открытых системах теплоснабжения: среднечасовой

$$G_{1\text{hm}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{hm}}}{c \cdot \left(t_{\text{h}} - t_{\text{c}}\right)}, \tag{2.42}$$

максимальный

$$G_{1\text{h max}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{h max}}}{c \cdot \left(t_{\text{h}} - t_{\text{c}}\right)}, \tag{2.43}$$

г) на горячее водоснабжение в закрытых системах теплоснабжения:

среднечасовой, при параллельной схеме присоединения водоподогревателей

$$G_{2\text{hm}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{hm}}}{c \cdot \left(\tau_1^{'} - \tau_3^{'}\right)}, \tag{2.44}$$

максимальный, при параллельной схеме присоединении водоподогревателей

$$G_{2\text{h max}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{h max}}}{c \cdot \left(\tau_1^{'} - \tau_3^{'}\right)}, \tag{2.45}$$

среднечасовой, при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей

$$G_{3\text{hm}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{hm}}}{c \cdot \left(\tau_1^{'} - \tau_2^{'}\right)} \cdot \left(\frac{55 - t_{\text{h}}^{'}}{55 - t_c} + 0,2\right), \tag{2.46}$$

максимальный, при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей

$$G_{3\text{h max}} = \frac{3,6 \cdot 0,55 \cdot Q_{\text{h max}}}{c \cdot \left(\tau_1^{'} - \tau_2^{'}\right)}, \tag{2.47}$$

В формулах (2.40 - 2.47) расчетные тепловые потоки приведены в Вт, 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

$$G_{\mathrm{d}} = G_{\mathrm{omax}} + G_{\mathrm{vmax}} + k_3 \cdot G_{\mathrm{hm}} \qquad (2.48)$$

Коэффициент $k_{3,}$ учитывающий долю среднечасового расхода воды на горячее водоснабжение при регулировании по нагрузке отопления, следует принимать по таблице 2.1.

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

Таблица 2.1 - 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 единице.

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

$$G_{\mathrm{d}} = G_{\mathrm{omax}} + G_{\mathrm{vmax}} + G_{\mathrm{hmax}} \qquad (2.49)$$

Расчетный расход воды, кг/ч, в открытых двухтрубных водяных тепловых сетях в неотопительный период, $G_{\mathrm{d}}^{\mathrm{s}}$, равный максимальному расходу воды на горячее водоснабжение в указанный период, $G_{\mathrm{hmax}}^{\mathrm{s}}$, следует определять по формуле

$$G_{\mathrm{d}}^{\mathrm{s}} = G^{s}{}_{\mathrm{hmax}} = \beta \cdot G_{\mathrm{hmax}} \qquad (2.50)$$

Максимальный расход воды на горячее водоснабжение, кг/ч, для открытых систем теплоснабжения может определяться также по формуле (2.43) при температуре холодной воды в неотопительный период.

Максимальный расход воды на горячее водоснабжение для закрытых систем при всех схемах присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения в неотопительный период определяется по формуле (2.45).

Расход воды в обратном трубопроводе двухтрубных водяных тепловых сетей открытых систем теплоснабжения принимается равным в размере 10 % от расчетного расхода воды, определенного по формуле (2.43). Расчетный расход воды для определения диаметров подающих и циркуляционных трубопроводов систем горячего водоснабжения следует определять в соответствии с указаниями [3].

2.7 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 ΔP складываются из потерь давления на трение $\Delta P_{л}$ и потерь давления в местных сопротивлениях $\Delta P_{м}$

$$\Delta P = \Delta P_{л} + \Delta P_{м} \qquad (2.51)$$

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

$$\Delta P_{л} = R \cdot L \qquad (2.52)$$

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

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \qquad (2.53)$$

где λ - коэффициент гидравлического трения;
d - внутренний диаметр трубопровода, м;
ρ - плотность теплоносителя, кг/м^3;
ω - скорость движения теплоносителя, м/с;
L - длина трубопровода, м.

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

$$\Delta P_{\text{м}} = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \qquad (2.54)$$

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

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

$$\Delta P_{\text{м}} = R\, L_{\text{э},} \qquad (2.55)$$

где $L_э$ - эквивалентная длина местных сопротивлений, которую определяют по формуле

$$L_{\text{э}} = \sum \xi \cdot \frac{d}{\lambda} \qquad (2.56)$$

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

$$R_{\text{m}} = \frac{\Delta P_{\text{р}}}{\sum L \cdot (1+\alpha)}, \qquad (2.57)$$

где $\sum L$ - суммарная протяженность расчетной ветви (ответвления) на потери давления в которой используется величина $\Delta P_{\text{р}}$;

α - коэффициент, учитывающий долю потерь давления в местных сопротивлениях, принимаемый по приложению 6 учебного пособия.

Гидравлический расчет выполняют по таблицам и номограммам, представленным в литературе [8, 9, 10], а также по номограммам приложения …. учебного пособия. Сначала выполняют расчет главной магистрали. По известным расходам, ориентируясь на рекомендованные величины удельных потерь давления R, определяют диаметры трубопроводов $d_{\text{н}}\times S$; фактические удельные потери давления R, Па/м; а также скорость движения теплоносителя ω, м/с. Условный проход труб, независимо от расчетного расхода теплоносителя дол-

жен 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 (2.54), либо, по формуле (2.55). 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 концевых потребителей). Увязку потерь давления следует выполнять подбором диаметров трубопроводов ответвлений. Невязка не должна быть более 10 %. При невозможности полностью увязать диаметрами, излишний напор на ответвлениях должен быть погашен соплами элеваторов, дроссельными диафрагмами и авторегуляторами потребителей.

Таблицы и номограммы гидравлического расчета, приведенные в литературе [8, 9, 10], составлены для эквивалентной шероховатости труб $K_э = 0.5$ мм. При расчете трубопроводов с другой шероховатостью к значениям удельных потерь давления R следует принимать поправочный коэффициент β, (см. [9] 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 [10]:

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.

2.8 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 неотопительный период;

статический - при отсутствии циркуляции теплоносителя в тепловой сети;

аварийный.

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

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

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

Пьезометрические графики строятся для магистральных и квартальных тепловых сетей. Для магистральных тепловых сетей могут быть приняты масштабы: горизонтальный $M_г$ 1:10000; вертикальный $M_в$ 1:1000; для квартальных тепловых сетей: $M_г$ 1:1000, $M_в$ 1:500.

Пьезометрические графики строятся для статического и динамического режимов системы теплоснабжения. За начало координат в магистральных сетях принимают местоположение ТЭЦ. В принятых масштабах строят профиль трассы и высоты присоединенных потребителей (приняв 9-ти 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 теплопотребления не менее чем на 5 метров, обеспечивая их защиту от «оголения», и в то же время должна быть менее на 10 или более метров величины максимального рабочего напора для местных систем. Статический напор в системах теплоснабжения при теплоносителе воде должен определяться для температуры сетевой воды, равной 100 °С..

Величина максимального рабочего напора местных систем теплопотребления составляет: для систем отопления со стальными нагревательными приборами и для калориферов - 80 метров; для систем отопления с чугунными радиаторами - 60 метров; для независимых схем присоединения с поверхностными теплообменниками - 100 метров.

Затем приступают к построению графиков напоров для динамического режима. На оси ординат откладывают требуемый напор у всасывающих патрубков сетевых насосов (30 - 35 метров) 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 допускаемых по условиям прочности конструкций насосов.

Затем, используя результаты гидравлического расчета, строят линию потерь напора обратной магистрали. Величина напоров в обратной магистрали должна соответствовать требованиям указанным выше при построении линии статического напора. Напор воды в обратных трубопроводах водяных тепловых сетей

при гидродинамическом режиме должен быть избыточным (не менее 5 метров), быть выше местных систем теплопотребления не менее чем на 5 метров, обеспечивая их защиту от «оголения», и в то же время должен быть меньше на 10 (или более метров) величины максимального рабочего напора для местных систем теплопотребления. 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 теплопотребления.

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 (см. приложение 19 учебного пособия). 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 неотопительного 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 неотопительный период G^{s}_{hmax}. В открытых системах потери напора в подающей магистрали определяют при пропуске расхода равного G^{s}_{hmax}, в обратной магистрали при пропуске расхода равного 10% G^{s}_{hmax} (см. также 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 статическом и при динамическом режимах будут 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 теплопотребления 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 метров, а при наличии кроме элеваторной системы отопления и закрытой системы горячего водоснабжения, - 25 метров. Избыточный напор рекомендуется гасить в авторегуляторах тепловых пунктов зданий.

2.9 Подбор сетевых и подпиточных насосов

Напор сетевых насосов $H_{\text{сн}}$ следует определять для отопительного и неотопительного периодов и принимать равным сумме потерь напора в оборудовании источника теплоты $\Delta H_{\text{ист}}$, в подающем $\Delta H_{\text{под}}$ и обратном $\Delta H_{\text{обр}}$ 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

$$H_{\text{сн}}=\Delta H_{\text{ист}}+\Delta H_{\text{под}}+\Delta H_{\text{обр}}+\Delta H_{\text{кв}} \qquad (2.58)$$

Потери напора в коммуникациях источника 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** $\Delta H^{\text{s}}_{\text{под}}$ могут быть приближенно определены по следующей формуле

$$\Delta H^{\text{s}}_{\text{под}} = \Delta H_{\text{под}} \cdot \left(\frac{\text{G}^{\text{s}}_{\text{h max}}}{G_{\text{d}}} \right)^2 \qquad (2.59)$$

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

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

$$\Delta H^{s}_{обр} = \Delta H_{под} \cdot \left(\frac{0{,}1 \cdot G^{s}_{hmax}}{G_{d}} \right) \qquad (2.60)$$

где G_{d} - суммарный расход сетевой воды на головном участке системы теплоснабжения в отопительный период;

G^{s}_{hmax} максимальный расход сетевой воды на горячее водоснабжение в неотопительный период, определяемый по формуле (2.50) учебного пособия.

Подачу (производительность) рабочих насосов следует принимать:

а) сетевых насосов для закрытых систем теплоснабжения в отопительный период - по суммарному расчетному расходу воды, определяемому по формуле (2.48) учебного пособия;

б) сетевых насосов для открытых систем теплоснабжения в отопительный период - по суммарному расчетному расходу воды, определяемому при k_4=1,4 по формуле

$$G_{d} = G_{omax} + G_{vmax} + k_{4} \cdot G_{hm} \qquad (2.61)$$

в) сетевых насосов для закрытых и открытых систем теплоснабжения в неотопительный период - по максимальному расходу воды на горячее водоснабжение в неотопительный период (формула (2.50)) учебного пособия.

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 $H_{пн}$ должен определяться из условий поддержания в водяных тепловых сетях статического напора $H_{ст}$ и преодоления потерь напора в подпиточной линии $\Delta H_{пл,}$ величина которых, при отсутствии более точных данных, принимается равной 10-20 м.

$$H_{пн} = H_{ст} + \Delta H_{пл} \pm z \qquad (2.62)$$

В формуле (2.62) 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 неотопительный периоды.

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

Подачу подпиточных насосов $G_{\text{пн}}$ в закрытых системах теплоснабжения следует принимать равной расчетному расходу воды на компенсацию утечки из тепловой сети $G_{\text{ут}}$ (см. формулу (2.63)), а в открытых системах - равной сумме максимального расхода воды на горячее водоснабжение G_{hmax} и расчетного расхода воды на компенсацию утечки $G_{\text{ут}}$ (см. формулу (2.64))

$$G_{\text{пн}} = G_{\text{ут}} \tag{2.63}$$

$$G_{\text{пн}} = G_{\text{ут}} + G_{\text{hmax}} \tag{2.64}$$

Расчетный расход воды на компенсацию утечки $G_{\text{ут}}$, принимается в размере 0,75% от объема воды в системе теплоснабжения, аварийный расход на компенсацию утечки принимается в размере 2% от объема воды в системе теплоснабжения. Объем воды в системе теплоснабжения допускается принимать равным 65 м^3 на 1 МВт расчетного теплового потока при закрытой системе теплоснабжения и 70 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. Технические данные насосов для систем теплоснабжения приведены в литературе [8, 9, 11]. При подборе насосов следует учитывать требования по максимальной температуре воды, по величине допускаемых напоров на всасывающем патрубке насоса. Из условий экономии потребления электроэнергии величина КПД насоса не должна быть менее 90% от величины его максимального КПД. Примеры подбора насосов приведены на стр. 72-73 учебного пособия. Данные по насосам, рекомендуемым для использования в системах теплоснабжения, приведены в приложении 19 учебного пособия.

2.10 Расчет толщины тепловой изоляции.

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

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

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

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

$$\delta_к = \frac{d \cdot (B - 1)}{2}, \qquad (2.65)$$

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

Величину B определяют по формуле:

$$B = e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_к \cdot R_к}, \qquad (2.66)$$

где e - основание натурального логарифма;
$\lambda_к$ – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя, Вт/(м ·°С), определяемый по приложениям 9,10 учебного пособия;
$R_к$ - термическое сопротивление слоя изоляции, м ·°С/Вт, величину которого определяют из следующего выражения

$$R_к = R_{tot} - \sum R_i, \qquad (2.67)$$

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

$$R_{tot} = \frac{(t_w - t_e)}{q_e \cdot k_1} \qquad (2.68)$$

где q_e - нормированная линейная плотность теплового потока, Вт/м, принимаемая по [4], а также по приложению 8 учебного пособия;
t_w - средняя за период эксплуатации температура теплоносителя,

k_1 - коэффициент, принимаемый по приложению 11 учебн. пособия;

t_e - среднегодовая температура окружающей среды;

При подземной прокладке t_e - среднегодовая температура грунта, которая для большинства городов находится в пределах от +1 ^{0}C до +5 ^{0}C.

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

при прокладке в тоннелях t_e = 40 ^{0}C; при прокладке в помещениях t_e = 20 ^{0}C; в неотапливаемых техподопольях t_e = 5 ^{0}C; 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

$$\sum R_i = R_{пс} \qquad (2.69)$$

При подземной канальной прокладке

$$\sum R_i = R_{пс} + (1+\psi)\cdot\left(R_{пс} + R_к + R_{гр}\right) \qquad (2.70)$$

При подземной бесканальной прокладке

$$\sum R_i = R_{гр} + R_o \cdot \psi \qquad (2.71)$$

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

$$R_{пс} = \frac{1}{\alpha_e \cdot \pi \cdot (d + 0{,}1)}, \qquad (2.72)$$

где α_e - коэффициент теплоотдачи с поверхности тепловой изоляции в окружающий воздух, Вт/(м² ·°С) который, согласно [4], принимается:

при прокладке в каналах α_e = 8 Вт/(м² ·°С);

при прокладке в техподпольях, закрытых помещениях и на открытом воздухе по табл. 2.1;

d - наружный диаметр трубопровода, м;

Таблица 2.1 Значения коэффициента теплоотдачи α, Вт/(М^2·°С)

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

[1] К ним относятся кожухи из оцинкованной стали, листов алюминиевых сплавов и алюминия с оксидной пленкой.

[2] К ним относятся штукатурки, асбестоцементные покрытия, стеклопластики, различные окраски (кроме краски с алюминиевой пудрой).

[3] При отсутствии сведений о скорости ветра принимают значения, соответствующие скорости 10 м/с.

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

$$R_{пк} = \frac{1}{\alpha_e \cdot \pi \cdot d_{вэ}}, \qquad (2.73)$$

где α_e - коэффициент теплоотдачи от воздуха к внутренней поверхности канала; α_e = 8 Вт/(м² ·°С);

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

$$d_{вэ} = \frac{4 \cdot F}{P}, \qquad (2.74)$$

где F - внутреннее сечение канала, м^2;

P - периметр сторон по внутренним размерам, м;

$R_к$ - термическое сопротивление стенки канала определяемое по формуле

$$R_к = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ст}} \cdot \ln \frac{d_{нэ}}{d_{вэ}}, \qquad (2.75)$$

где $\lambda_{ст}$ - теплопроводность стенки канала; для железобетона $\lambda_{ст}$ = 2,04 Вт/(м·°С);

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

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

$$R_{гр} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot h}{d_{нэ}} + \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{d_{нэ}^2} - 1}\right), \qquad (2.76)$$

где $\lambda_{гр}$ - теплопроводность грунта, зависящая от его структуры и влажности. При отсутствии данных его значение можно принимать для влажных грунтов $\lambda_{гр}$ = 2-2.5 Вт/(м·°С), для сухих грунтов $\lambda_{гр}$ = 1,0-1,5 Вт/(м·°С);

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

$R_{о}$ - добавочное термическое сопротивление, учитывающее взаимное влияние труб при бесканальной прокладке, величину которого определяют по формулам:

- для подающего трубопровода

$$R_{01} = \psi_1 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln\sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{b^2} + 1}; \qquad (2.77)$$

- для обратного трубопровода

$$R_{02} = \psi_2 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln\sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{b^2} + 1}, \qquad (2.78)$$

где h - глубина заложения осей трубопроводов, м;

b - расстояние между осями трубопроводов, м, принимаемое в зависимости от их диаметров условного прохода по табл. 2.2

Таблица 2.2 Расстояние между осями трубопроводов.

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

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

$$\psi_1 = \frac{q_{e1}}{q_{e2}}, \qquad (2.79)$$

$$\psi_2 = \frac{q_{e2}}{q_{e1}}, \qquad (2.80)$$

где q_{e1}, q_{e2} - нормированные линейные плотности тепловых потоков соответственно для подающего и обратного трубопроводов, Вт/м (см. формулу (2.68)).

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

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

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 таблице 2.3.

Таблица 2.3 Предельные толщины теплоизоляционных конструкций для оборудовании 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
273	230	180	120
325	240	200	120
377	240	200	120
426	250	220	140
476	250	220	140
530	260	220	140
630	280	240	140
720	280	240	140
820	300	240	140
920	300	260	140
1020 и более	320	260	140

Примечания

2 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 стр. 76-82 учебного пособия.

2.11 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 $\Delta l_к$ для восприятия температурного удлинения участка трубопровода между неподвижными опорами, при этом максимальные напряжения в радиальных компенсаторах не должны

превышать допускаемых (обычно 110 МПа). Необходимо также определить реакцию компенсатора, используемую при расчетах нагрузок на неподвижные опоры.

Тепловое удлинение расчетного участка трубопровода Δl , мм, определяют по формуле

$$\Delta l = \alpha \cdot L \cdot \Delta t \,, \qquad (2.81)$$

где α - средний коэффициент линейного расширения стали, мм/(м · °С), (для типовых расчетов можно принять $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-2}$ мм/(м · °С),

Δt - расчетный перепад температур, определяемый по формуле

$$\Delta t = \tau_1 - t_0 \,, \qquad (2.82)$$

где τ_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. 4.13 [8], уменьшают на величину запаса - 50 мм.

Реакция сальникового компенсатора - сила трения в сальниковой набивке $R_к$ определяется по формуле

$$R_К = 2 \cdot P_р \cdot l_с \cdot d_{нс} \cdot \mu_с \cdot \pi \,, \qquad (2.83)$$

где $P_р$ - рабочее давление теплоносителя, МПа;

$l_с$ - длина слоя набивки по оси сальникового компенсатора, мм;

$d_{нс}$ - наружный диаметр патрубка сальникового компенсатора, м;

$\mu_с$ - коэффициент трения набивки о металл, принимается равным 0,15.

При подпоре П-образных компенсаторов их компенсирующая способность, размеры, а также осевая реакция, могут быть определены по[8 табл. 11.3 - 11.7] а также по приложению 14 учебного пособия.

Осевая реакция сильфонных компенсаторов $R_к$ складывается из двух слагаемых

$$R_{ск} = R_{ж} + R_{р} \qquad (2.84)$$

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

$$R_{ж} = C_{\lambda} \cdot \lambda \qquad (2.85)$$

где C_{λ} - жесткость волны, Н/мм, принимаемая по паспорту компенсатора;
λ - аплитуда осевого хода, мм;

R_{p} - осевая реакция от внутреннего давления, определяемая по формуле

$$R_{\text{р}} = \varphi \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(D_c^2 - d_T \right) \cdot P_{\text{изб}} \ , \qquad (2.86)$$

где φ - 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;
$P_{\text{изб}}$ - избыточное давление теплоносителя, Па.

Максимальная длина участка Lm , на котором устанавливается один сильфонный компенсатор, рассчитывается по формуле:

$$Lm = \frac{0{,}9 \cdot 2 \cdot \lambda}{\alpha \cdot (\tau_1 - t_o)} \qquad (2.87)$$

где:
α - коэффициент линейного расширения стали, мм/м·°С
τ_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.2 приложения 14 учебного пособия.

При расчете самокомпенсации основной задачей является определение максимального напряжения σ у основания короткого плеча угла поворота трассы, которое определяют для углов поворотов 90^{o} и более, т.е. $90+\beta$, по формуле по формуле

$$\sigma = \frac{1.5 \cdot \Delta l \cdot E \cdot d}{l^2 \cdot \cos\beta} \cdot \left(n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \cdot \sin\beta \right), \qquad (2.88)$$

где Δl - удлинение короткого плеча, м;

l - длина короткого плеча, м;

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

d - наружный диаметр трубы, м;

$n = \frac{l_1}{l}$ - отношение длины длинного плеча к длине короткого.

Для угла поворота 90^o формула (2.88) приобретает вид:

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

При расчетах углов на самокомпенсацию величина максимального напряжения σ 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^o.

2.12 Определение диаметров спускных устройств водяных тепловых сетей.

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

$$d = d_{red} \cdot m \cdot n \cdot \sqrt[4]{\frac{\sum l}{i_{red}}}, \qquad (2.89)$$

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

$$d_{red} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^{n} l_i}, \qquad (2.90)$$

$$i_{red} = \frac{\sum_{i=1}^{n} i_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^{n} l_i}, \qquad (2.91)$$

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 вентилей $m = 0{,}0144$, для задвижек $m = 0{,}011$;

n - коэффициент, зависящий от времени спуска воды t (см. табл. 2.4).

Таблица 2.4 Значения коэффициента n .

t = 1 ч	t = 2 ч	t = 3 ч	t = 4 ч	t = 5 ч
n = 1	n = 0,72	n = 0,58	n = 0,5	n = 0,45

Максимальное время спуска воды предусматривается для трубопроводов:

$D_y \le 300$ мм - не более 2 ч $\qquad$ $D_y \ge 600$ - не более 5 ч

$D_y = 350 \div 500$ - не более 4 ч

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

$$d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2}, \qquad (2.92)$$

где d_1 , d_2 - диаметры спускных устройств, определяемые по формуле (2.89) соответственно для каждой стороны.

Расчетный диаметр штуцера округляют с увеличением до стандартного и сравнивают с приведенными в таблице 2.5 данными.

Таблица 2.5 Условный проход штуцера и запорной арматуры для спуска воды.

D_y, 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 секционируемых участков водяных тепловых сетей приведен в таблице 2.6.

Таблица 2.6. Условный проход штуцера и запорной арматуры для выпуска воздуха.

D_y, мм	25-80	100-150	200-300	350-400	500-700	800-1200
Условный проход штуцера,мм	15	20	25	32	40	50

2.13 Расчет усилий на опоры.

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

$$F_y = G_h \cdot L, \qquad (2.93)$$

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 $D_н$ может быть принята по табл. 2.7 учебного пособия.

Таблица 2.7. Вес 1 м трубопровода в рабочем состоянии.

$D_н$, 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	1241	1670

Продолжение таблицы 2.7.

$D_н$, 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 в зависимости от условий прокладки и типов компенсаторов приведены в таблицах 2.8, 2.9 учебного пособия.

Таблица 2.8. Пролеты между подвижными опорами на бетонных подушках при канальной прокладке.

D_y, мм	L, м	D_y, мм	L, м	D_y, мм	L, мм	D_y, мм	L, м
25	1,7	80	3,5	200	6	450	9
32	2	100	4	250	7	500	10
40	2,5	125	4,5	300	8	600	10
50	3	150	5	350	8	700	10
70	3	175	6	400	8,5	800	10

Таблица 2.9. Пролеты между подвижными опорами при надземной прокладке, а также в тоннелях и техподпольях.

D_y, мм	L, м	D_y, мм	L, м	D_y, мм	L, м
25	2	125	6/6	400	14/13
32	2	150	7/7	450	14/13
40	2,5	175	8/8	500	14/13
50	3	200	9/9	600	15/13
70	3,5	250	11/11	700	15/13
80	4	300	12/12	800	16/13
100	5/5	350	14/14	900	18/15
				1000	20/16

Примечание: в числителе L для П-образных компенсаторов и самокомпенсации, в знаменателе - для сальниковых компенсаторов.

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

$$F_{hx} = \mu_x \cdot G_h \cdot L\,, \qquad (2.94)$$

где μ_x - коэффициент трения в опорах, который для скользящих опор при трении сталь 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 (2.93)
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:

$$N = a \cdot p \cdot F_в + \mu \cdot G_h \cdot \Delta l + \Delta R \qquad (2.95)$$

Где a – коэффициент, зависящий от возможного действия сил внутреннего давления (a может принимать значенияот 0 до 1);
p – внутреннее давление теплоносителя, Па;
$F_в$ – площадь внутреннего сечения трубы, м^2;
μ - коэффициент трения на свободных опорах;
G_h – вес погонного метра теплопровода;
Δl – разность расстояний от опоры до компенсаторов, м;
ΔR– 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.
Ниже приведены наиболее часто встречаемые схемы участков с неподвижными опорами, а также формулы для определения горизонтальных усилий, действующих на эти опоры. См. также [8. стр.172-173].

Схема I

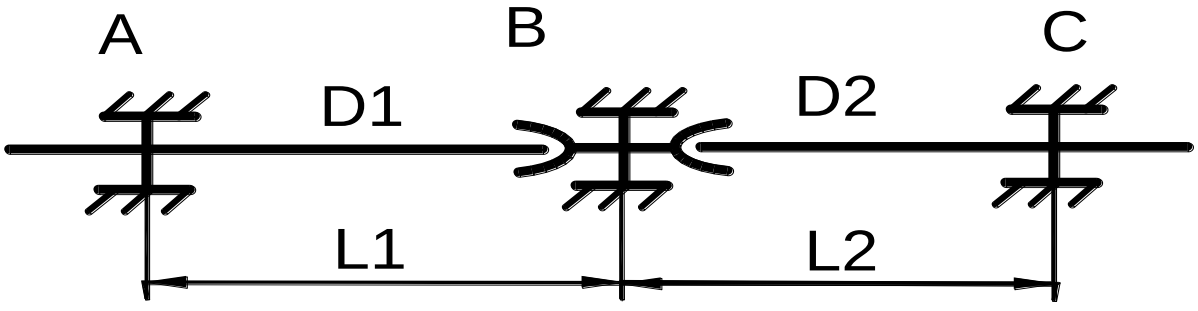


Схема II

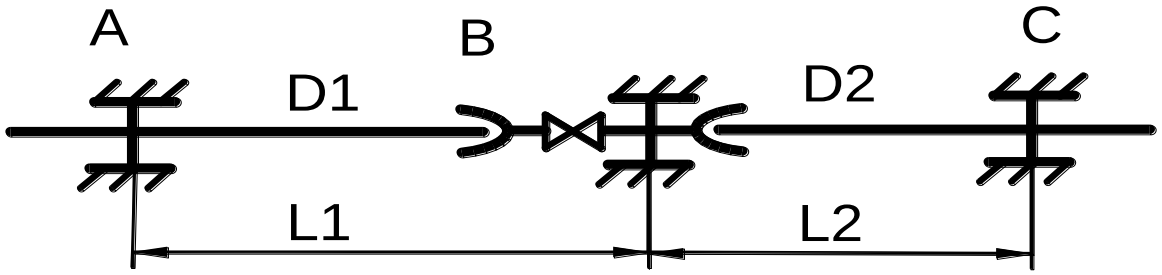


Схема III

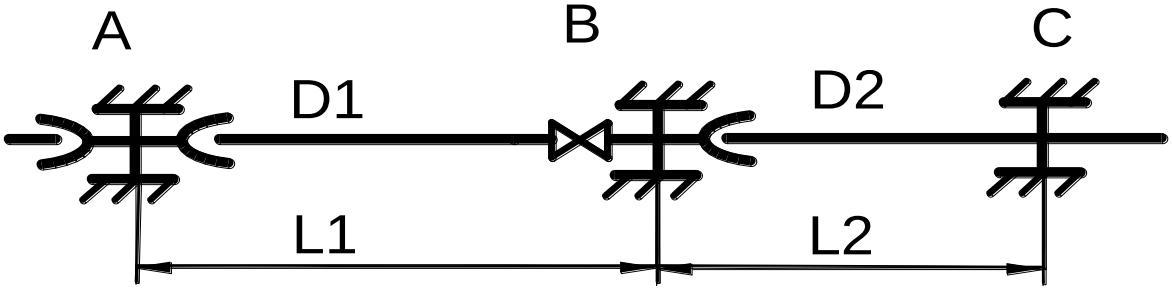


Схема IV

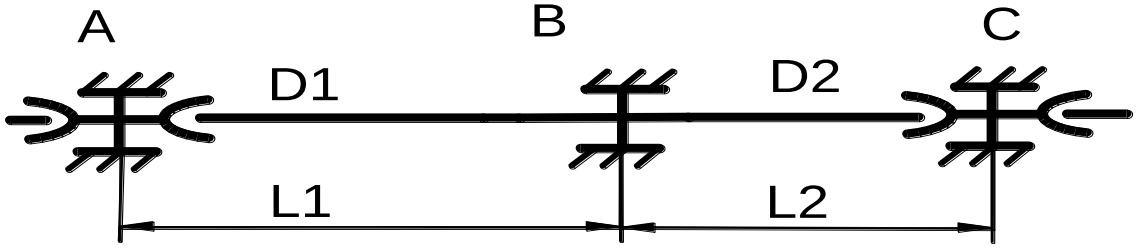
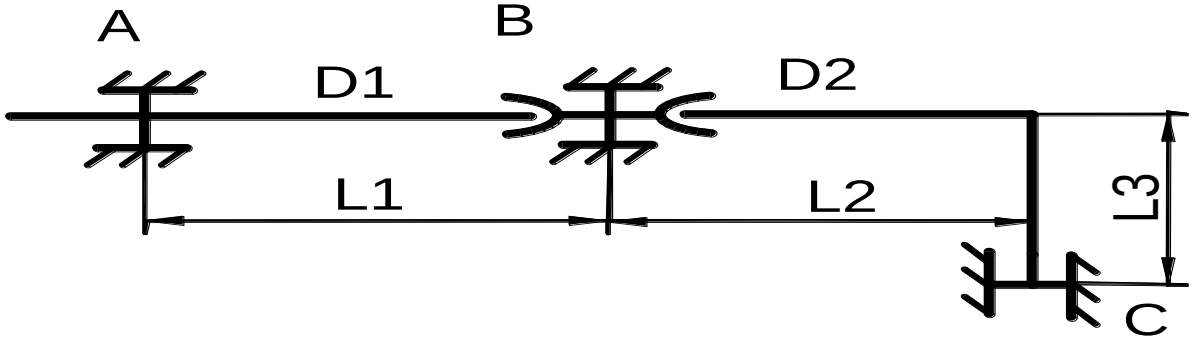
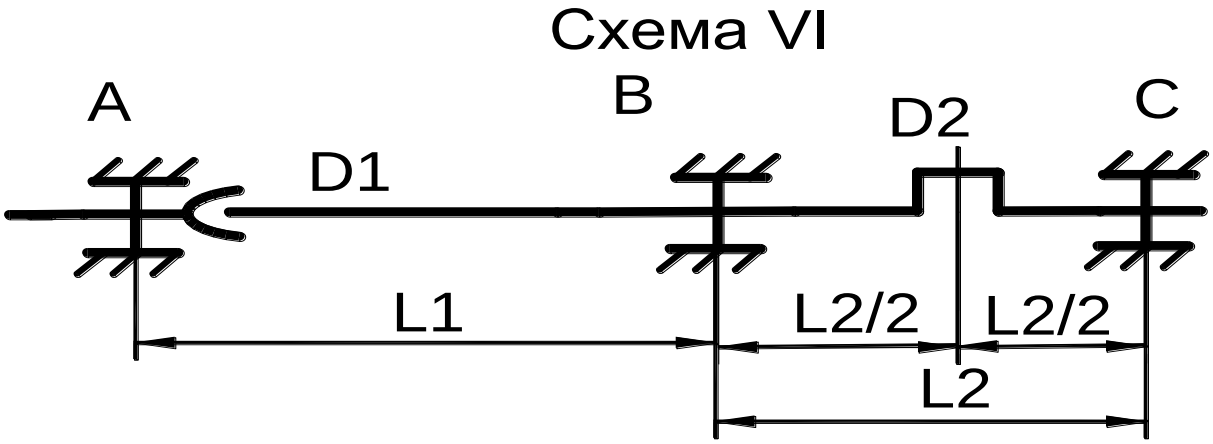
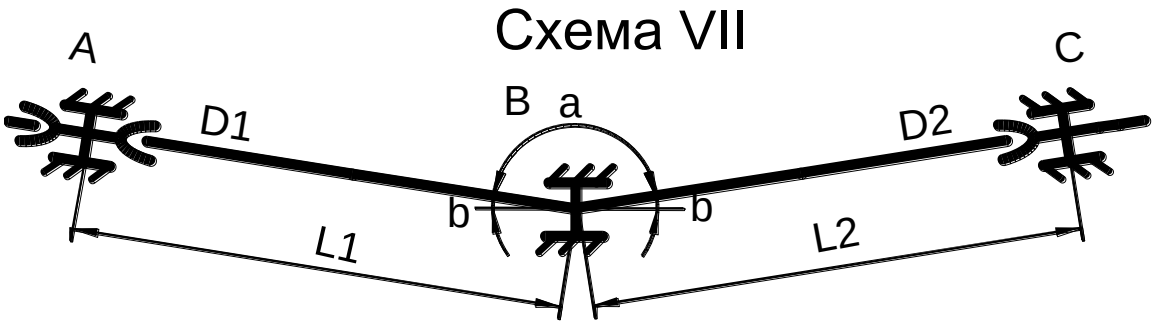
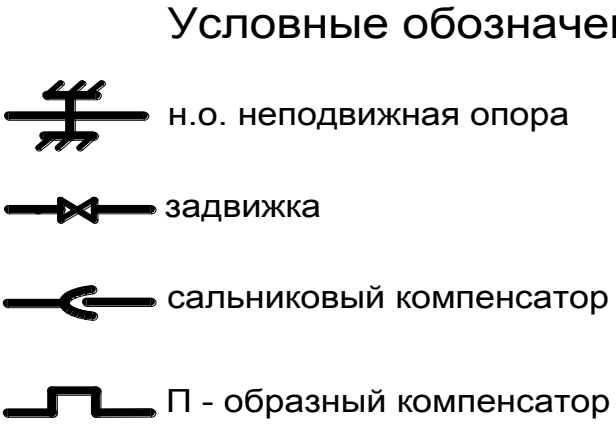


Схема V









Для расчета схемы 1 применима формула

$$\pm N = \pm 0{,}5\, R_к + p\frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_1^2) \qquad (2.96)$$

Для схемы 2

$$N = R_к + p\frac{\pi}{4} D_2^2 \qquad (2.97)$$

Для схемы 3

$$\pm N = \pm Rк + p\frac{\pi}{4} D_1^2 + q\, l\, \mu \qquad (2.98)$$

Для схемы 4

$$\pm N = \pm 0{,}5\, Rк + p\frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_1^2) \pm G_h\, \mu\, (l_1 - l_2/2) \qquad (2.99)$$

Для схемы 5 при нагреве

$$N = p\frac{\pi}{4} D_2^2 - Rк - R_x - G_h\, \mu\, (l_2 + l_3) \qquad (2.100)$$

Для схемы 5 при охлаждении

$$N = p\frac{\pi}{4} D_2^2 - Rк + R_x + G_h\, \mu\, (l_2 + l_3) \qquad (2.101)$$

Для схемы 6 при нагреве

$$N = p\frac{\pi}{4} D_2^2 + q\, \mu\, l_1 - Rк - R_x - G_h \mu\, l_2/2 \qquad (2.102)$$

Для схемы 6 при охлаждении

$$N = p\frac{\pi}{4} D_2^2 - q\, \mu\, l_1 + Rк + R_x + G_h\, \mu\, l_2/2 \qquad (2.103)$$

Для схемы 7

$$N = [\pm 0{,}5\, Rк + p\frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_1^2) \pm G_h\, \mu\, (l_1 - l_2/2)] \sin\beta \qquad (2.104)$$

Здесь p – давление теплоносителя;
G_h – весовая нагрузка на 1 метр теплопровода;
μ – коэффициент трения подвижных опор;
$Rк$ – сила трения сальникового компенсатора;
Rx – 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: неуравновешенные силы внутреннего давления возникающие при применении компенсаторов различных типов, на участках имеющих запорную арматуру, переходы, углы поворота, заглушки; следует также учитывать силы трения в подвижных опорах и силы трения о грунт при бесканальных прокладках (см. формулу (2.95), а также 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 *Pmp* теплопровода о грунт, Н, при бесканальной прокладке определяется по формуле

$$Pmp = f \cdot L \qquad (2.105)$$

Где L – длина участка теплопровода, м;

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

$$f = \mu \cdot (0{,}75 \cdot \boldsymbol{g} \cdot Z \cdot \pi \cdot D \cdot 10^{-3} + q_{трубы}) \qquad (2.106)$$

Где μ – коэффициент трения поверхности изоляции о грунт, принимаемый:

при пенополиуретановой изоляции -0,40

при полимербетонной изоляции – 0,38

при армопенобетонной изоляции – 0,60

$\boldsymbol{g}$ – удельный вес грунта**,** Н, (в среднем $\boldsymbol{g}$ =16000 -18000 Н/м^3);

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;

$q_{трубы}$ - 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 литературе [10.стр.230-242].

2.14 Подбор элеватора.

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

$$H_{эл} = 1,4 \cdot h \cdot \left(U_р + 1\right)^2, \qquad (2.107)$$

где h - потери напора в системе отопления, принимаемые 1–1,5м;
$U_р$ - расчетный коэффициент смешения, определяемый по формуле

$$U_р = \frac{\tau_1 - \tau_3}{\tau_3 - \tau_2} \qquad (2.108)$$

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

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

$$d_г = 8,5 \cdot \sqrt[4]{\frac{G^2 \cdot \left(1 + U_р\right)^2}{h}} \qquad (2.109)$$

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

$$d_с = 9,6 \cdot \sqrt{\frac{G}{\sqrt{H}}} \qquad (2.110)$$

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 справочной литературе [8. стр. 312], [9 стр. 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 метров, а при наличии кроме элеваторной системы отопления и закрытой системы горячего водоснабжения,- не менее 25 метров. Избыточный напор рекомендуется гасить в авторегуляторах тепловых пунктов зданий.

3. Примеры расчетов системы теплоснабжения.

Пример 3.1. Определить для условий г. Хабаровска расчетные тепловые потоки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение пяти кварталов района города (см. рис. 3.1).



Рис.3.1 - Район города.

Расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления $t_0 = -31\ ^0$С. Плотность населения $P = 400$ чел/га. Общая площадь жилого здания на одного жителя $f_{общ} = 18$ м^2/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.3.1. В графы 1, 2, 3 таблицы заносим соответственно номера кварталов, их площадь $F_{кв}$ в гектарах, плотность населения P. Количество жителей в кварталах m, определяем по формуле

$$m = P \cdot F_{кв}$$

Для квартала №1 количество жителей составит:

$$m = 400 \cdot 10 = 4000 \text{ чел}$$

Общую площадь жилых зданий кварталов A определяем по формуле

$$A = f_{общ} m$$

Для квартала №1

$$A = 18 \cdot 4000 = 72000 \text{ м}^2$$

Приняв (см. прил. 2 учебн. пособия) для зданий постройки после 1985г величину удельного показателя теплового потока на отопление жилых зданий при t_0 = -31 ^{0}С q_o = 87 Вт/м^2, находим расчетные тепловые потоки на отопление жилых и общественных зданий кварталов по формуле (2.1) учебного пособия

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

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

$$Q_{o\max} = 87 \cdot 72000 \cdot (1 + 0,25) = 7830000 \text{ Вт} = 7,83 \text{ МВт}$$

Максимальные тепловые потоки на вентиляцию общественных зданий кварталов определяем по формуле (2.2) учебного пособия

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

Для квартала №1 при K_2 = 0,6 получим

$$Q_{v\max} = 0,25 \cdot 0,6 \cdot 87 \cdot 72000 = 939600 \, Bm = 0,94 \, MBm$$

По приложению 3 учебного пособия укрупненный показатель теплового потока на горячее водоснабжение q_h с учетом общественных зданий при норме на одного жителя a = 115 л/сутки составит 407 Вт.

Среднечасовые тепловые потоки на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий кварталов определяем по формуле (2.4) учебного пособия

$$Q_{hm} = q_h \cdot m$$

Для квартала №1 эта величина составит

$$Q_{hm} = 407 \cdot 4000 = 1628000 \text{ Вт} = 1,63 \text{ МВт}$$

Суммарный тепловой поток по кварталам, Q_{Σ}, 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.

Таблица 3.1 - Расчёт тепловых потоков

№ квартала	Площадь квартала $F_{кв,}$ га	Плотность населения P чел/га	Количество жителей m	Общая площадь, A, м^2	Тепловой поток, МВт			
					$Q_{0\max}$	$Q_{v\max}$	Q_{hm}	Q_{Σ}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	400	4000	72000	7,83	0,94	1,628	10,398
2	15	400	6000	108000	11,745	1,41	2,442	15,597
3	20	400	8000	144000	15,66	1,88	3,256	20,796
4	10	400	4000	72000	7,83	0,94	1,628	10,398
5	15	400	6000	108000	11,745	1,41	2,442	15,597
					∑54,8	6,58	11,396	72,786

Пример 3.2. 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 $Q_{0\max}$ = 300 МВт, на вентиляцию $Q_{v\max}$ = 35 МВт, на горячее водоснабжение Q_{hm} = 60 МВт. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления t_0 = -31 ^{0}С.

Решение. Определим, используя формулы пересчета (2.13) и (2.14) часовые расходы на отопление и вентиляцию при температуре наружного воздуха $t_н$= +10^{0}С.

$$Q_o^{t_н} = Q_{o\max} \cdot \frac{t_i - t_н}{t_i - t_o} = 300 \cdot \frac{20 - 10}{20 + 31} = 58,8 \text{ МВт}$$

$$Q_v^{t_н} = Q_{v\,\max} \cdot \frac{t_i - t_н}{t_i - t_o} = 35 \cdot \frac{20-10}{20+31} = 6{,}9 \text{ МВт}$$

Отложив на графике (см. рис. 3.2.а) значения Q_o и Q_v при $t_н$ = +10 ^{0}С, а также значения $Q_{o\,\max}$ и $Q_{v\,\max}$ при $t_н = t_0$ = -31 ^{0}С и соединив их прямой, получим графики $Q_o = f(t_н)$ и $Q_v = f(t_н)$. Для построения часового графика расхода теплоты на горячее водоснабжение, определим, используя формулу пересчёта (2.15), среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение для неотопительного периода Q_{hm}^s.

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

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 неотопительного периода. Просуммировав ординаты часовых графиков на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение для диапазона температур $t_н$ = +10 ÷ -31 ^{0}С и соединив их прямой получим суммарный часовой график $Q_\Sigma = f\left(t_н\right)$. Для построения годового графика теплоты по продолжительности тепловой нагрузки по (9. табл.1.3) находим продолжительности стояния температур наружного воздуха в часах с интервалом 5^{0}С и продолжительность отопительного периода для г. Хабаровска n_0 = 4920 ч. Данные сводим в таблицу 3.2

Таблица 3.2 - Продолжительность стояния температур наружного воздуха

Продолжительность стояния, n, час	Температура наружного воздуха									
	-40 -35	-35 -30	-30 -25	-25 -20	-20 -15	-15 -10	-10 -5	-5 0	0 +5	+5 +10
n	2	47	275	630	800	666	596	561	583	760
Температуры	-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
$\sum n$	2	49	324	954	1754	2420	3016	3577	4160	4920

График по продолжительности тепловой нагрузки (см. рис. 3.2 .б) строится на основании суммарного часового графика $Q_{\Sigma} = f\left(t_{н}\right)$. 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 4920 часов. Затем построим график по продолжительности тепловой нагрузки за неотопительный 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 8400 часов.

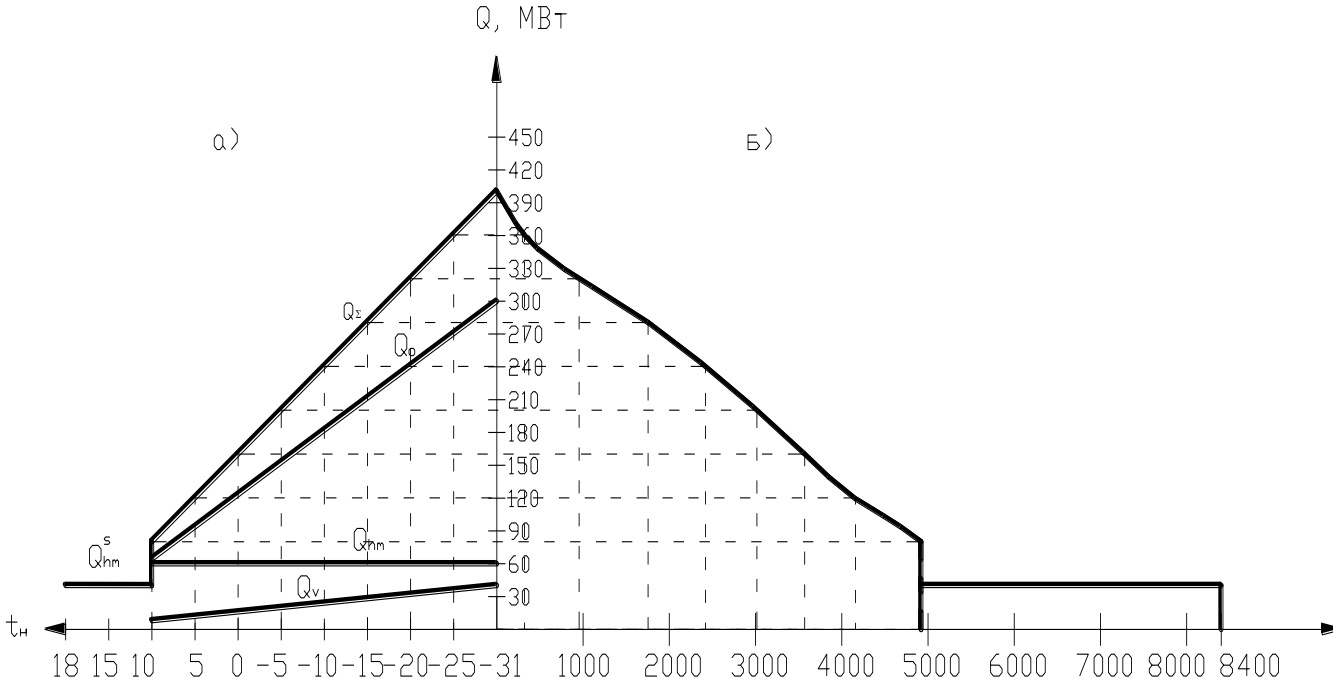


Рис. 3.2 а - часовые графики теплового потребления
б - годовой график по продолжительности тепловой нагрузки

Для построения годового графика теплового потребления по месяцам по (1.стр.25) находим среднемесячные температуры наружного воздуха. Затем, используя формулы пересчета (2.13) и (2.14), определим часовые расходы теплоты на отопление и вентиляцию для каждого месяца со среднемесячной температурой ниже +10 ^{0}С.Определим суммарные расходы теплоты для месяцев отопительного периода как сумму часовых расходов на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Для месяцев неотопительного периода (с $t_{ср}^{н}$>+10)

суммарный расход теплоты будет равен среднечасовому расходу теплоты на горячее водоснабжение Q^{s}_{hm} = 38,4 МВт. Выполним расчеты для января

$$Q^{я}_{o} = Q_{o\max} \cdot \frac{t_i - t^{я}_{ср}}{t_i - t_o} = 300 \cdot \frac{18 + 22,3}{18 + 31} = 237,1 \text{ МВт}$$

$$Q^{я}_{v} = Q_{v\max} \cdot \frac{t_i - t^{я}_{ср}}{t_i - t_o} = 35 \cdot \frac{18 + 22,3}{18 + 31} = 27,7 \text{ МВт}$$

$$Q^{я}_{\Sigma} = Q^{я}_{0} + Q^{я}_{v} + Q^{я}_{hm} = 237,1 + 27,7 + 60 = 324,8 \text{ МВт}$$

Аналогично выполняем расчёты и для других месяцев отопительного периода. Расчёты сведём в табл. 3.3. Используя полученные данные, построим годовой график теплового потребления по месяцам (см. рис 3.3)

Таблица 3.3 - Среднечасовые расходы теплоты по месяцам года

Среднечасовые расходы теплоты по месяцам	Среднемесячные температуры наружного воздуха											
	Ян	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
$Q_{hm}(Q^{s}_{hm})$, Мвт	60	60	60	60	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4	60	60	60
Q_Σ, 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

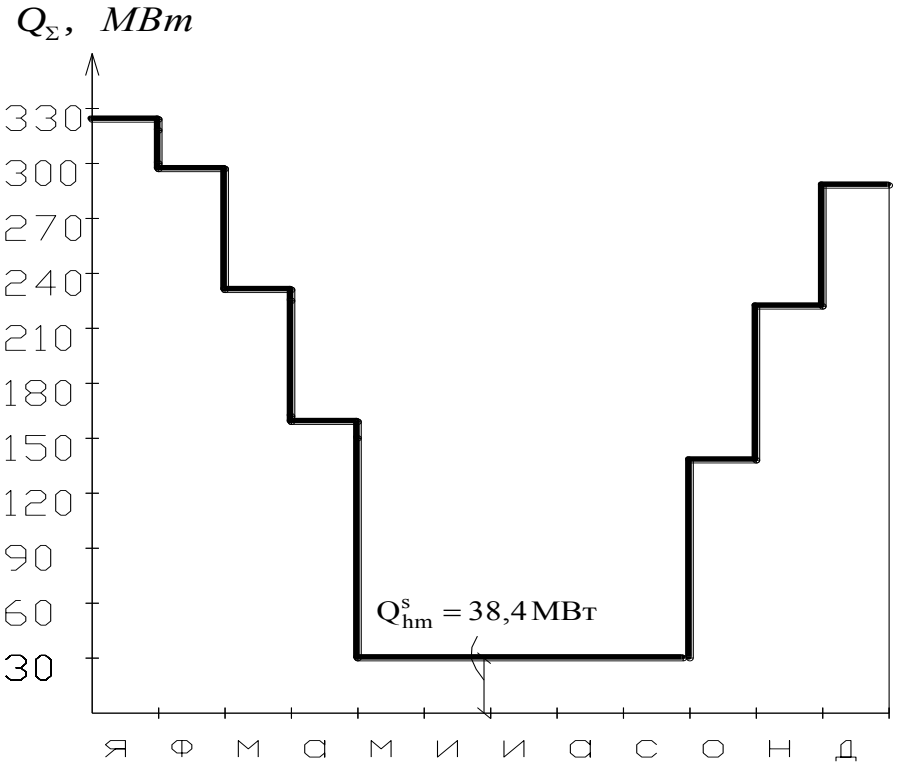


Рис. 3.3 Годовой график теплового потребления по месяцам

Пример 3.3. 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 τ_1= 130 ^{0}С в обратной магистрали τ_2= 70 ^{0}С, после элеватора τ_3= 95 ^{0}С. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления t_0 = -31 ^{0}С. Расчетная температура воздуха внутри помещения t_i = 20 ^{0}С. Расчетные тепловые потоки принять из примера 3.2. Q_{0max}= 300 МВт; Q_{vmax} = 35 МВт; Q_{hm} = 60 МВт. Температура горячей воды в системах горячего водоснабжения t_h = 60 ^{0}С, температура холодной воды t_c = 5^{0}С. Балансовый коэффициент для нагрузки горячего водоснабжения α_6 = 1,2. Схема включения водоподогревателей систем горячего водоснабжения двухступенчатая последовательная $\left(\rho = \dfrac{K_ч \cdot Q_{hm}}{Q_{o\,max}} = \dfrac{Q_{h\,max}}{Q_{o\,max}} = \dfrac{2{,}4 \cdot 60}{300} = 0{,}48 \right)$.

Решение. Предварительно выполним расчет и построение отопительно-бытового графика температур с температурой сетевой воды в подающем трубопроводе для точки излома $\tau_1^{'}$= 70 ^{0}С. Значения температур сетевой воды для систем отопления τ_{10}; τ_{20}; τ_{30} определим используя расчетные зависимости (2.16), (2.17), (2.18) для температур наружного воздуха $t_н$= +10; 0; -10; -23; -31 ^{0}С

$$\tau_{10} = t_{\text{i}} + \Delta t \cdot \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right)^{0,8} + \left(\Delta\tau - 0,5 \cdot \theta \right) \cdot \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{o}} \right),$$

$$\tau_{20} = t_{\text{i}} + \Delta t \cdot \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right)^{0,8} - 0,5 \cdot \theta \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{o}} \right),$$

$$\tau_{30} = t_{\text{i}} + \Delta t \cdot \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{\text{o}}} \right)^{0,8} + 0,5 \cdot \theta \left(\frac{t_{\text{i}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{i}} - t_{o}} \right).$$

Определим, используя формулы (2.19),(2.20),(2.21), значения величин $\Delta t, \Delta\tau, \theta$

$$\Delta t = \frac{95 + 70}{2} - 20 = 62,5\ ^{0}C$$

$$\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2 = 130 - 70 = 60\ ^{0}C$$

$$\theta = \tau_3 - \tau_2 = 95 - 70 = 25\ ^{0}C$$

Для $t_{\text{н}} = +10^{0}$C значения τ_{10}, τ_{20}, τ_{30} соответственно составят:

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

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

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

Аналогично выполним расчеты температур сетевой воды и для других значений $t_{\text{н}}$. Используя расчетные данные и приняв минимальную температуру сетевой воды в подающем трубопроводе $\tau_1^{'}$ = 70 ^{0}C, построим отопительно-бытовой график температур (см. рис. 3.4). Точке излома температурного графи-

ка будут соответствовать температуры сетевой воды $\tau_1^{'}$= 70 ^{0}С, $\tau_2^{'}$= 45,4 ^{0}С, $\tau_3^{'}$= 55,7 ^{0}С, температура наружного воздуха $t_н^{'}$= - 0,85 ^{0}С. Полученные значения температур сетевой воды для отопительно-бытового графика сведем в таблицу 3.4. Далее приступаем к расчету повышенного температурного графика. Задавшись величиной недогрева $\Delta t_н$= 7 ^{0}С определим температуру нагреваемой водопроводной воды $t_h^{'}$ после водоподогревателя первой ступени

$$t_h^{'} = \tau_2^{'} - \Delta t = 45,4 - 7 = 38,4 \ ^0C$$

Определим по формуле (2.22) балансовую нагрузку горячего водоснабжения $Q_{hm}^{б}$

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

По формуле (2.23) определим суммарный перепад температур сетевой воды δ в обеих ступенях водоподогревателей

$$\delta = \frac{Q_{hm}^{б}}{Q_{o\max}} \cdot \left(\tau_1 - \tau_2\right) = \frac{72}{300} \cdot \left(130 - 70\right) = 14,4 \ ^0C$$

Определим по формуле (2.24) перепад температур сетевой воды в водоподогревателе первой ступени $\delta_2^{'}$ для диапазона температур наружного воздуха от $t_н$= +10 ^{0}С до $t_{эн}$ = - 0,85 ^{0}С

$$\delta_2^{'} = \delta \cdot \frac{\left(t_h^{'} - t_c^{'}\right)}{\left(t_h - t_c\right)} = 14,4 \cdot \frac{\left(38,4 - 5\right)}{\left(60 - 5\right)} = 8,7 \ ^0C$$

Определим для указанного диапазона температур наружного воздуха перепад температур сетевой воды во второй ступени водоподогревателя $\delta_1^{'}$

$$\delta_1^{'} = \delta - \delta_2^{'} = 14,4 - 8,7 = 5,7 \ ^0C$$

Определим используя формулы (2.25) и (2.28) значения величин δ_2 и δ_1 для диапазона температур наружного воздуха $t_н$ от $t_{эн}$ = - 0,85 ^{0}С до t_0= -31^{0}С. Так, для $t_н$= -10 ^{0}С эти значения составят:

$$\delta_2 = \delta_2^{'} \cdot \frac{(\tau_{20} - t_c)}{(\tau_2^{'} - t_c)} = 8,7 \cdot \frac{(53,5-5)}{(45,4-5)} = 10,5\ ^0C$$

$$\delta_1 = \delta - \delta_2 = 14,4 - 10,5 = 3,9\ ^0C$$

Аналогично выполним расчеты величин δ_2 и δ_1 для значений $t_н$ = -23 ^{0}C и $t_н$= –31 ^{0}C. Температуры сетевой воды $\tau_{1п}$ и $\tau_{2п}$ в подающем и обратном трубопроводах для повышенного температурного графика определим по формулам (2.29) и (2.27).

Так, для $t_н$= +10 ^{0}C и $t_н$= - 0,85 ^{0}C эти значения составят

$$\tau_{1п} = \tau_{10} + \delta_1 = 70 + 5,7 = 75,7\ ^0C$$
$$\tau_{2п} = \tau_{20} - \delta_2 = 45,4 - 8,7 = 36,7\ ^0C$$

для $t_н$ = -10 ^{0}C

$$\tau_{1п} = 88,8 + 3,9 = 92,7\ ^0C$$

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

Аналогично выполним расчеты для значений $t_н$ = -23 ^{0}C и -31 ^{0}C. Полученные значения величин δ_2, δ_1, $\tau_{1п}$, $\tau_{2п}$ сведем в таблицу 3.4.

Для построения графика температуры сетевой воды в обратном трубопроводе после калориферов систем вентиляции $\tau_{2v} = f\ (t_н)$ в диапазоне температур наружного воздуха $t_н$ = +10 ÷ - 0,85^{0}C используем формулу (2.35)

$$\frac{\Delta t_н}{\Delta t_н} \cdot \left(\frac{\tau_1^{'} - \tau^{'}_{2v}}{\tau_1 - \tau_{2v}} \right)^{0,15} = \left(\frac{t_i - t_н}{t_i - t_н^{'}} \right)^{0,85}$$

Определим значение τ_{2v} для $t_н$ = +10 ^{0}C. Предварительно зададимся значением $\tau_{2v} = 18\ ^0$C. Определим температурные напоры в калорифере $\Delta t_к$ и $\Delta t_к^{'}$ соответственно для $t_н$ = +10 ^{0}C и $t_н$ = - 0,85 ^{0}C

$$\Delta t_{к} = 0,5 \cdot \left(\tau_{1} + \tau_{2v}\right) - 0,5 \cdot \left(t_{н} + t_{i}\right) = 0,5 \cdot \left(70 + 18\right) - 0,5 \cdot \left(10 + 20\right) = 29,0\ ^{0}C$$

$$\Delta t_{к}^{'} = 0,5 \cdot \left(\tau_{1}^{'} + \tau_{2v}^{'}\right) - 0,5 \cdot \left(t_{н}^{'} + t_{i}\right) = 0,5 \cdot \left(70 + 45,4\right) - 0,5 \cdot \left(20 + 0,85\right) = 47,3\ ^{0}C$$

Вычислим левые и правые части уравнения (2.35)

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

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 $\tau_{2v} = 18\ ^{0}C$ как окончательное.

Для систем вентиляции с рециркуляцией воздуха определим, используя формулу (2.37), температуру сетевой воды после калориферов τ_{2v} для $t_{н} = t_{0} = -31^{0}$C.

$$\frac{\Delta t_{к}}{\Delta t_{к}^{р}} \cdot \left(\frac{\tau_{1v}^{р} - \tau_{2v}^{р}}{\tau_{1} - \tau_{2v}}\right)^{0.15} = 1$$

Здесь значения $\Delta t_{к}^{р}$; $\tau_{1v}^{р}$; $\tau_{2v}^{р}$ соответствуют $t_{н} = t_{v} = -23\ ^{0}$C. Поскольку данное выражение решается методом подбора, предварительно зададимся значением $\tau_{2v} = 54^{0}$C. Определим значения $\Delta t_{к}$ и $\Delta t_{к}^{р}$

$$\Delta t_{к} = 0,5 \cdot \left(\tau_{1} + \tau_{2v}\right) - 0,5 \cdot \left(t_{н} + t_{i}\right) = 0,5 \cdot \left(130 + 54\right) - 0,5 \cdot \left(-31 + 20\right) = 97,5\ ^{0}\text{C}$$

$$\Delta t_{к}^{р} = 0,5 \cdot \left(\tau_{1v}^{р} + \tau_{2v}^{р}\right) - 0,5 \cdot \left(t_{v} + t_{i}\right) = 0,5 \cdot \left(114,6 + 64,0\right) - 0,5 \cdot \left(20 - 23\right) = 91^{0}\text{C}$$

Далее вычислим левую часть выражения

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

Поскольку левая часть выражения близка по значению правой (1,003≈1), принятое предварительно значение $\tau_{2v} = 54\ ^{0}$C будем считать окончательным.

Используя данные таблицы 3.4 построим отопительно-бытовой и повышенный температурные графики регулирования (см. рис. 3.4).

Таблица 3.4 - Расчет температурного графика сетевой воды для закрытой системы теплоснабжения.

$t_{Н}$	τ_{10}	τ_{20}	τ_{30}	δ_1	δ_2	$\tau_{1П}$	$\tau_{2П}$	τ_{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

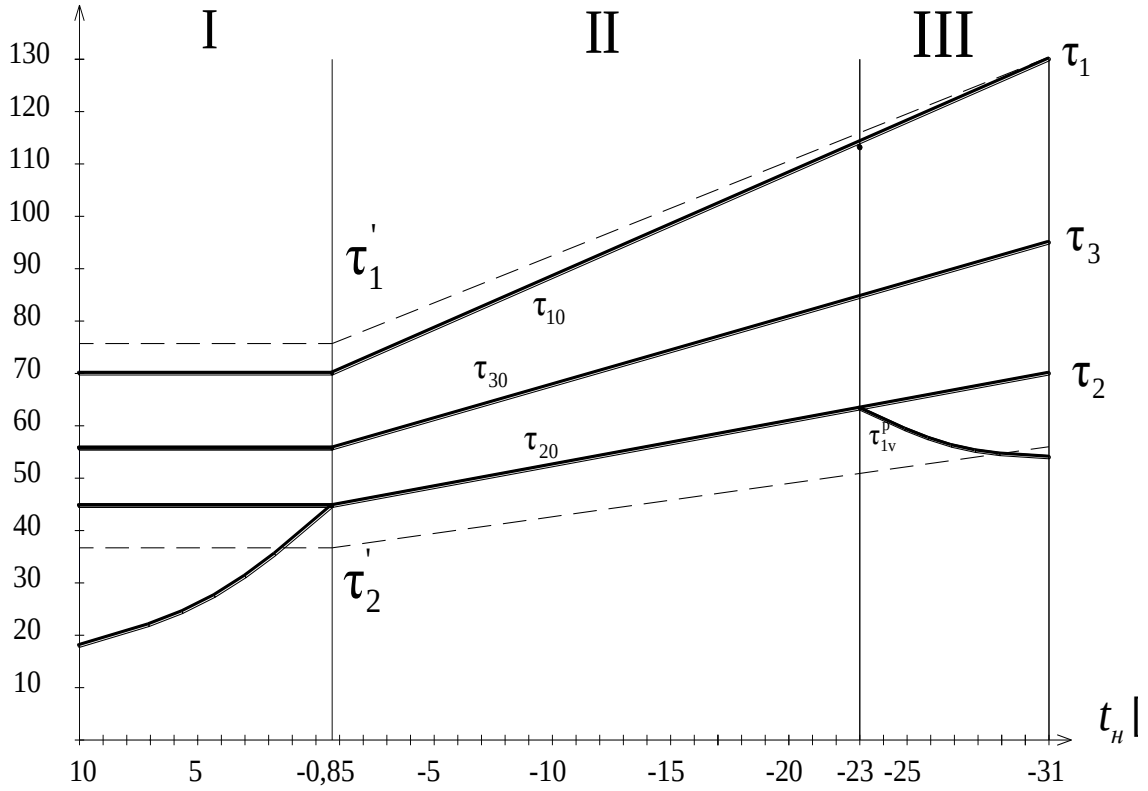


Рис.3.4 Температурные графики регулирования сетевой воды для закрытой системы теплоснабжения (— -отопительно-бытовой; --- -повышенный)

Пример 3.4. Построить для открытой системы теплоснабжения скорректированный (повышенный) график центрального качественного регулирования. Принять балансовый коэффициент $\alpha_б$ = 1,1. Принять минимальную температуру сетевой воды в подающем трубопроводе для точки излома температурного графика $\tau_1^{'} = 60\ ^0$С. Остальные исходные данные взять из примера 3.3.

Решение. Вначале строим графики температур центрального качественного регулирования отопительной нагрузки $\tau_{1o} = f\left(t_н\right)$; $\tau_{2o} = f\left(t_н\right)$; $\tau_{3o} = f\left(t_н\right)$ используя расчеты по формулам (2.16); (2.17); (2.18). Далее построим отопительно-бытовой график, точке излома которого соответствуют значения температур сетевой воды $\tau_1^{'} = 60\ ^0\text{C}$; $\tau_2^{'} = 41,2\ ^0\text{C}$; $\tau_3^{'} = 49,2\ ^0\text{C}$, и температура наружного воздуха $\tau_н^{'} = 3,6\ ^0\text{C}$. Далее приступаем к расчету скорректированного графика. Определим балансовую нагрузку горячего водоснабжения $Q_{hm}^{б}$

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

Определим коэффициент отношения балансовой нагрузки на горячее водоснабжение к расчетной нагрузке на отопление $\rho^{б}$

$$\rho^{б} = \frac{Q_{hm}^{б}}{Q_{o\max}} = \frac{66}{300} = 0,22$$

Для ряда температур наружного воздуха $t_н$= +10 ^{0}C; -10 ^{0}C; -25 ^{0}C; -31 ^{0}C, определим относительный расход теплоты на отопление $\bar{Q}_o$ по формуле (2.32) ; Например для $t_н$= -10 $\bar{Q}_o$ составит:

$$\bar{Q}_o = \frac{\left(t_i - t_н\right)}{\left(t_i - t_o\right)} = \frac{\left(20+10\right)}{\left(20+31\right)} = 0,59$$

Затем приняв известные из примера 3.3 значения t_c; t_h; θ; Δt определим, используя формулу (2.33), для каждого значения $t_н$ относительные расходы сетевой воды на отопление $\bar{G}_o$.

Например, для $t_н$ = -10 ^{0}C $\bar{G}_o$ составит:

$$\bar{G}_0 = \frac{1 - 0,5 \cdot \rho^{б} \cdot \dfrac{\theta}{t_h - t_c}}{1 + \dfrac{t_h - t_i}{t_h - t_c} \cdot \dfrac{\rho^{б}}{\bar{Q}_0} - \dfrac{\Delta t}{t_h - t_c} \cdot \dfrac{\rho^{б}}{\bar{Q}_0^{0,2}}} = \frac{1 - 0,5 \cdot 0,22 \cdot \dfrac{25}{60-5}}{1 + \dfrac{60-20}{60-5} \cdot \dfrac{0,22}{0,59} - \dfrac{62,5}{60-5} \cdot \dfrac{0,22}{0,59^{0,2}}} = 0,95$$

Аналогично выполним расчеты $\bar{G}_o$ и для других значений $t_н$.

Температуры сетевой воды в подающем $\tau_{1п}$ и обратном $\tau_{2п}$ трубопроводах для скорректированного графика определим по формулам (2.30) и (2.31).

Так, для $t_н$ = -10 ^{0}C получим

$$\tau_{1п} = t_{i} + \frac{\bar{Q}_{o}}{\bar{G}_{o}} \cdot \left(\Delta\tau + \Delta t \cdot \frac{\bar{G}_{o}}{\bar{Q}_{o}^{0,2}} - 0,5 \cdot \theta \right) =$$

$$= 20 + \frac{0,59}{1,160} \cdot \left(60 + 62,5 \cdot \frac{0,95}{0,59^{0,2}} - 0,5 \cdot 25 \right) = 90,1 \ \ ^{0}\text{C}$$

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

Выполним расчеты $\tau_{1п}$ и $\tau_{2п}$ и для других значений $t_{н}$. Определим используя расчетные зависимости (2.35) и (2.37) температуры сетевой воды τ_{2v} после калориферов систем вентиляции для $t_{н}$ = +10 ^{0}C и $t_{н}$ = -31 ^{0}C (при наличии рециркуляции). При значении $t_{н}$ = +10 ^{0}C зададимся предварительно величиной τ_{2v} = 25^{0}C.

Определим значения $\Delta t_{к}$ и $\Delta t_{к}^{/}$

$$\Delta t_{к} = 0,5 \cdot \left(\tau_{1} + \tau_{2v} \right) - 0,5 \cdot \left(t_{н} + t_{i} \right) = 0,5 \cdot \left(60 + 25 \right) - 0,5 \cdot \left(10 + 20 \right) = 27,5 \ ^{0}\text{C}$$

$$\Delta t_{к}^{'} = 0,5 \cdot \left(\tau_{1}^{'} + \tau_{2v}^{'} \right) - 0,5 \cdot \left(t_{н}^{'} + t_{i} \right) = 0,5 \cdot \left(60 + 41,2 \right) - 0,5 \cdot \left(3,6 + 20 \right) = 38,8 \, ^{0}\text{C}$$

Далее вычислим левую и правую части выражения

$$\frac{\Delta t_{к}}{\Delta t_{к}^{'}} \cdot \left(\frac{\tau_{1}^{'} - \tau_{2v}^{'}}{\tau_{1} - \tau_{2v}} \right)^{0,15} = \left(\frac{t_{i} - t_{н}}{t_{i} - t_{н}^{'}} \right)^{0,85}$$

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

Поскольку численные значения левой и правой частей уравнения близки, принятое предварительно значение τ_{2v} = 25^{0}C ,будем считать окончательным. Определим также значения τ_{2v} при $t_{н}$ = t_{0}= -31 ^{0}C. Зададимся предварительно значением τ_{2v} = 47^{0}C

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

Вычислим значения $\Delta t_{к}$ и $\Delta t_{к}^{р}$

$$\Delta t_{к} = 0,5 \cdot (\tau_{1} + \tau_{2v}) - 0,5 \cdot (t_{н} + t_{i}) = 0,5 \cdot (130 + 54) - 0,5 \cdot (-31 + 20) = 97,5\ ^{0}\text{C}$$

$$\Delta t_{к}^{р} = 0,5 \cdot (\tau_{1v}^{р} + \tau_{2v}^{р}) - 0,5 \cdot (t_{v} + t_{i}) = 0,5 \cdot (114,6 + 64,0) - 0,5 \cdot (20 - 23) = 91^{0}\text{C}$$

Далее вычислим левую часть выражения

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

Поскольку левая часть выражения близка по значению правой ($1,003 \approx 1$), принятое предварительно значение $\tau_{2v} = 54\ ^{0}\text{C}$ будем считать окончательным

Полученные значения расчетных величин сведем в таблицу 3.5

Таблица 3.5 - Расчет повышенного (скорректированного) графика для открытой системы теплоснабжения.

$t_{н}$	τ_{10}	τ_{20}	τ_{30}	$\bar{Q}_{0}$	$\bar{G}_{0}$	$\tau_{1п}$	$\tau_{2п}$	τ_{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 таблицы 3.5, построим отопительно-бытовой, а также повышенный графики температур сетевой воды.

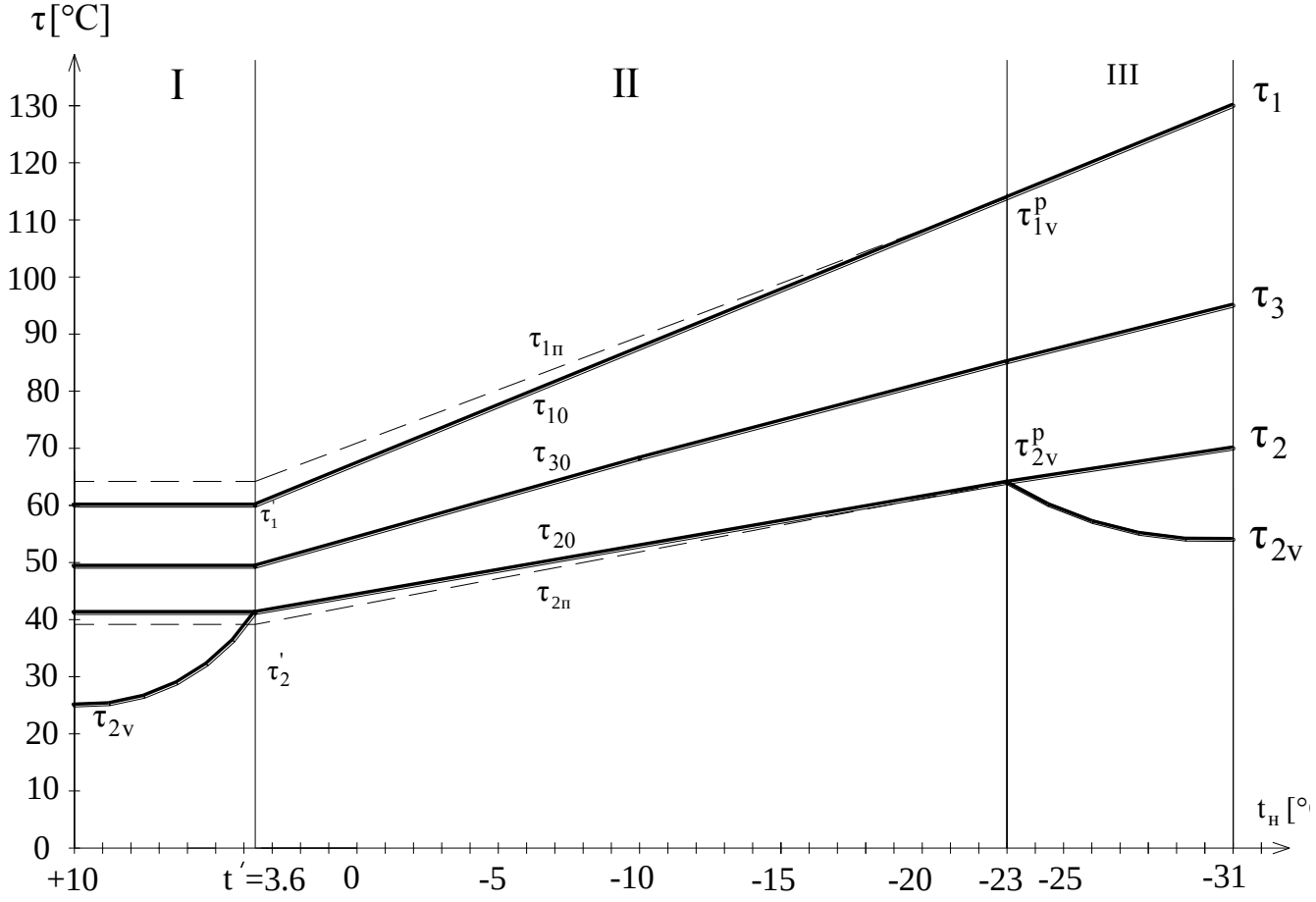


Рис.3.5 Отопительно - бытовой (——) и повышенный (----) графики температур сетевой воды для открытой системы теплоснабжения

Пример 3.5. 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. 3.6. Для компенсации температурных деформаций предусмотреть сальниковые компенсаторы. Удельные потери давления по главной магистрали принять в размере 30-80 Па/м.

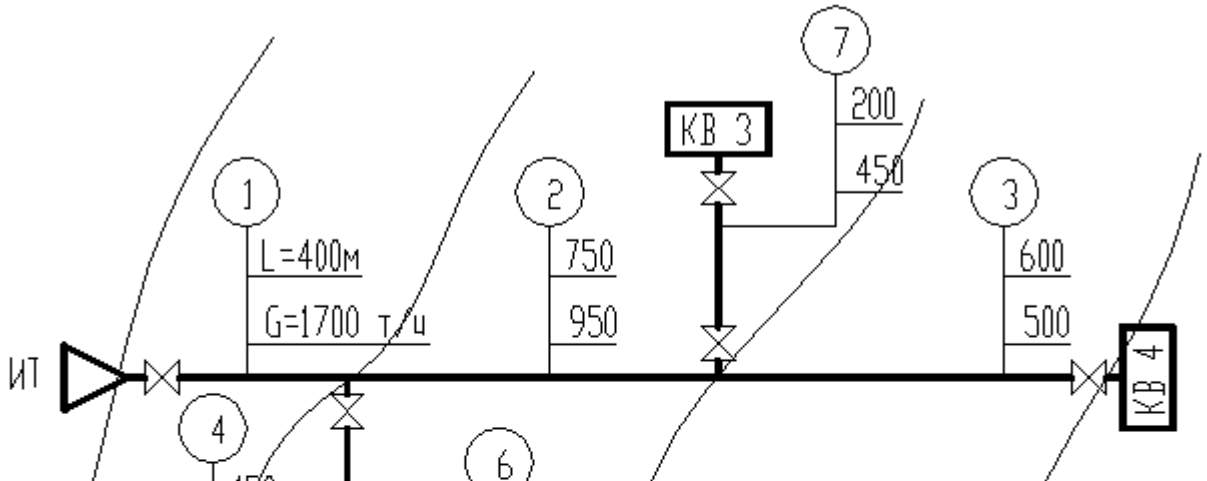


Рис. 3.6. Расчетная схема магистральной тепловой сети.

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 [9, 10], или по номограммам в приложении 6 учебного пособия, 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 $d_н x S$, 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 Lэ.

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 приложения 7 учебного пособия для $D_у = 600$ мм это расстояние составляет 160 метров. Следовательно, на участке 1 длиной 400 м следует предусмотреть три сальниковых компенсатора. Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma\xi$ на данном участке составит

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

По приложению 6 табл 4…. учебного пособия (при $K_э = 0,0005$м) эквивалентная длина $l_э$ для $\xi = 1,0$ равна 32,9 м. Эквивалентная длина участка $L_э$ составит

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

Далее определим приведенную длину участка $L_{п}$

$$L_{п}=L + L_{э}= 400 + 79 = 479 \text{ м}$$

Затем определим потери давления ΔР на участке 1

$$\Delta P = R \cdot L_{п} = 42 \cdot 479 = 20118 \text{ Па}$$

Аналогично выполним гидравлический расчет участков 2 и 3 главной магистрали (см. табл. 3.6; 3.7).

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

$$\Delta P_{4+5} = \Delta P_{2+3}\,;\ \Delta P_{6} = \Delta P_{5}\,;\ \Delta P_{7} = \Delta P_{3}$$

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

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

Коэффициент α, учитывающий долю потерь давления на местные сопротивления, определим по формуле

$$\alpha = 0,01 \cdot \sqrt{G_{4}} = 0,01 \cdot \sqrt{750} = 0,27$$

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

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

$$R_{6} = \frac{\Delta P_{5}}{L_{6} \cdot (1+\alpha)} = \frac{27136}{400 \cdot (1 + 0,2)} = 56 \text{ Па/м}$$

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

Таблица 3.6 - Расчет эквивалентных длин местных сопротивлений

№ участка	dн х S мм	L,м	Вид местного сопротивления	ξ	Количество	$\sum\xi$	$l_э$,м	Lэ,м
1	2	2	4	5	6	7	8	9
1	630х10	400	1. задвижка 2. сальниковый компенсатор 3. тройник на проход при разделении потока	0.5 0.3 1.0	1 3 1	2,4	32,9	79
2	480х10	750	1. внезапное сужение 2. сальниковый компенсатор 3. тройник на проход при разделении потока	0.5 0.3 1.0	1 6 1	3,3	23,4	77
3	426х10	600	1. внезапное сужение 2. сальниковый компенсатор 3. задвижка	0.5 0.3 0.5	1 4 1	2,2	20,2	44,4

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	426х10	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	325х8	400	1. сальниковый компенсатор 2. задвижка	0.3 0.5	4 1	1.7	14	24
6	325х8	300	1. тройник на ответвление	1.5	1	3.5	14	49

			2. сальниковый компенсатор 3. задвижка	0.5 0.5	2 2			
7	325х8	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

Таблица 3.7 - Гидравлический расчет магистральных трубопроводов

№ участка	G, т/ч	Длина, м			dнхS, мм	V, м/с	R, Па/м	ΔP, Па	$\sum\Delta P$, Па
		L	Lэ	Lп					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1700	400	79	479	630х10	1.65	42	20118	94583
2	950	750	77	827	480х10	1.6	55	45485	74465
3	500	600	44	644	426х10	1.35	45	28980	28980
4	750	500	85	585	426х10	1.68	70	40950	68086
5	350	400	24	424	325х8	1.35	64	27136	27136
6	400	300	49	349	325х8	1.55	83	28967	28967
7	450	200	44	244	325х8	1.75	105	25620	25620

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

$$f = \frac{\Delta P_{2+3} - \Delta P_{4+5}}{\Delta P_{2+3}} \cdot 100\% = \frac{45485 + 28980 - 40950 - 27136}{45485 + 28980} \cdot 100\% = 8,6\%$$

Невязка на ответвлении 6 составит:

$$f = \frac{\Delta P_6 - \Delta P_5}{\Delta P_5} \cdot 100\% = \frac{28967 - 27136}{27136} \cdot 100\% = 6,7\%$$

Невязка на ответвлении 7 составит:

$$f = \frac{\Delta P_3 - \Delta P_7}{\Delta P_3} \cdot 100\% = \frac{28980 - 25620}{28980} \cdot 100 = \% = 11,6\%$$

Пример 3.6 По данным гидравлического расчета из примера 3.5 построить пьезометрические графики для отопительного и неотопительного периодов. Максимальный расход сетевой воды на горячее водоснабжение в неотопительный период G^{s}_{hmax} принять равным 800 т/ч. Расчетные температуры сетевой воды 150-70. Этажность зданий принять 9 этажей.

Решение. Для построения пьезометрического графика примем масштабы: вертикальный Мв 1:1000 и горизонтальный Мг 1: 10000. Построим (см. рис3.7), используя горизонтали и длины участков, продольные профили главной магистрали (участки 1,2,3) и ответвлений (участки 4,5 и участок 7). На профилях в соответствующем масштабе построим высоты присоединяемых зданий. Под профилем располагается спрямленная однолинейная схема теплосети, номера и длины участков, расходы теплоносителя и диаметры, располагаемые напоры.

Приняв предварительно напор на всасывающей стороне сетевых насосов Нвс = 30 метров, строим 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 метров. Далее строим линию ВС - линию располагаемого напора для системы теплоснабжения квартала № 4. Располагаемый напор в данном примере принят равным 40 метров. 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 метра.

Далее строим линию ДЕ – линию потерь напора в теплофикационном оборудовании источника теплоты, которые в данном примере приняты равными 25 метров. Положение линии статического напора S-S выбрано из условия недопущения «оголения», « раздавливания» и вскипания теплоносителя. Да-

лее приступаем к построению пьезометрического графика для неотопительного периода. Определим для данного периода потери напора в главной магистрали $\Delta H^{s}_{под}$ используя формулу пересчета (2.59)

$$\Delta H^{s}_{под} = \Delta H_{под} \cdot \left(\frac{G^{s}_{h\max}}{G_{d}} \right)^{2} = 9{,}5 \bullet \left(\frac{800}{1700} \right)^{2} = 2{,}8 \text{ м}$$

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 что и для отопительного периода. Используя примененную ранее методику, построим пьезометрический график для неотопительного периода (А ВэСэДэЕэ). После построения пьезометрических графиков следует убедиться, что расположение их линий соответствует требованиям для разработки гидравлических режимов (см. раздел 2.8 учебного пособия). При необходимости напор на всасывающей стороне сетевых насосов *Нвс* и, соответственно, положение пьезометрических графиков могут быть изменены (за счет изменения напора подпиточного насоса).

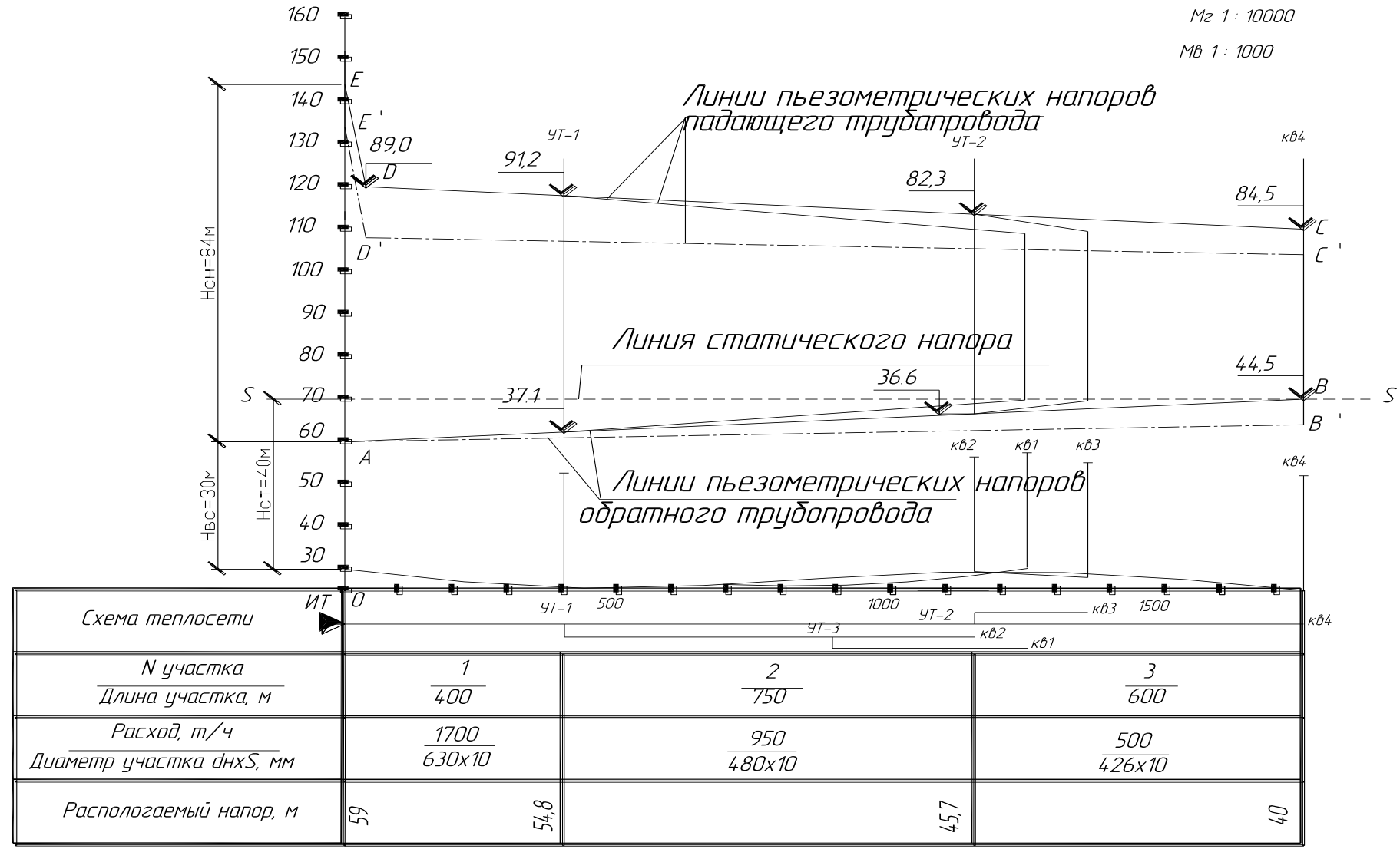


Схема теплосети			
N участка / Длина участка, м	1 / 400	2 / 750	3 / 600
Расход, т/ч / Диаметр участка dнхS, мм	1700 / 630х10	950 / 480х10	500 / 426х10
Располагаемый напор, м	59 / 54,8	45,7	40

Рис 3.7 Пьезометрический график а) _____ отопительного периода; б) ____ _ _____ _ ____ неотопительного периода

Пример 3.7. Для закрытой системы теплоснабжения работающей при повышенном графике регулирования с суммарным тепловым потоком Q = 325 МВт и с расчетным расходом теплоносителя G = 3500 т/ч подобрать сетевые и подпиточные насосы. Потери напора в теплофикационном оборудовании источника теплоты $\Delta H_{ист}$ = 35 м. Суммарные потери напора в подающей и обратной магистралях тепловой сети $\Delta H_{под} + \Delta H_{обр}$ = 50 м. Потери напора в системах теплопотребителей $\Delta H_{аб}$ = 40 м. Статический напор на источнике теплоты $H_{ст}$ = 40 м. Потери напора в подпиточной линии $H_{пл}$ = 15 м. Превышение отметки баков с подпиточной водой по отношению к оси подпиточных насосов z = 5 м.

Решение. Требуемый напор сетевого насоса определим по формуле (2.58) учебного пособия

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

Подача сетевого насоса $G_{сн}$ должна обеспечить расчетный расход теплоносителя G_d

$$G_{сн} = G_d = 3500 \text{ т/ч}$$

По [9. рис. 2.17] (см. также прил. 19 учебн. пособия) принимаем к установке по параллельной схеме три рабочих и один резервный насосы СЭ 1250-140 обеспечивающие требуемые параметры при некотором избытке напора, который может быть сдросселирован на источнике теплоты. КПД насоса составляет 82%.

Требуемый напор подпиточного насоса $H_{пн}$ определяем по формуле (2.62) учебного пособия

$$H_{пн} = H_{ст} + \Delta H_{пл} - z = 40 + 15 - 5 = 50 \text{ м}$$

Подача подпиточного насоса $G_{пн}$ в закрытой системе теплоснабжения должна компенсировать утечку теплоносителя $G_{ут}$. Согласно [2.] величина утечки принимается в размере 0,75% от объема системы теплоснабжения $V_{сист}$. При удельном объеме системы 65 м^3/МВт и суммарном тепловом потоке Q = 325 МВт объем системы $V_{сист}$ составит

$$V_{сист} = 65 \cdot Q = 65 \cdot 325 = 21125 \text{ м}^3$$

Величина утечки $G_{ут}$ составит

$$G_{ут} = 0{,}0075 \cdot V_{сист} = 0{,}0075 \cdot 21125 = 158{,}5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

По [9. рис. 2.69], (прил. 20 учебн. пособия) принимаем к установке по параллельной схеме два рабочих и один резервный насосы К 90/55 обеспечивающие требуемые параметры с небольшим избытком напора (8 м) при КПД 70%.

Пример 3.8. Для открытой системы теплоснабжения подобрать сетевые и подпиточные насосы. Среднечасовой расход сетевой воды на горячее водоснабжение в системе G_{hm} = 700 т/ч. Максимальный расход сетевой воды на горячее водоснабжение G_{hmax} = 1700 т/ч. Остальные исходные принять из примера 3.6. Требуемый напор сетевого насоса $H_{сн}$ = 120 м. Требуемую подачу сетевого насоса $G_{сн}$ для открытой системы определим по формуле (2.61) учебного пособия, т/ч.

$$G_{сн} = G_{о} + G_{v} + k_4 \cdot G_{hm} = 3500 + 1{,}4 \cdot 700 = 4480$$

По [9 рис.2.17] принимаем к установке четыре рабочих насоса СЭ 1250-140 и один резервный обеспечивающие суммарную подачу 4480 т/ч с некоторым избытком напора при КПД 81%. Для подбора подпиточного насоса при его требуемом напоре $H_{пн}$ = 50 м, определим его подачу по формуле (2.64) учебного пособия

$$G_{пн} = G_{ут} + G_{hmax}$$

Величина утечки при удельном объеме 70 м^3 на 1 МВт тепловой мощности системы составит

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

Требуемая подача подпиточного насоса $G_{пн}$ составит

$$G_{пн} = G_{ут} + G_{hmax} = 170{,}6 + 1700 = 1871 \text{ т/ч}$$

По [9 рис. 2.48] принимаем к установке по параллельной схеме два рабочих и один резервный насосы Д 1000-40 обеспечивающие требуемые параметры с КПД 80%.

Пример 3.9.1 Определить изгибающее напряжение от термических деформаций в трубопроводе диаметром $d_н$ = 159 мм у неподвижной опоры А (рис.3.8) при расчетной температуре теплоносителя τ = 150 ^{0}С и температуре окружающей среды $t_о$= -31^{0}С. Модуль продольной упругости стали

E = 2x10^5 МПа, коэффициент линейного расширения α = 1,25x10^{-5} 1/^{0}С. Сравнить с допускаемым напряжением $\delta_{доп}$ = 80 МПа

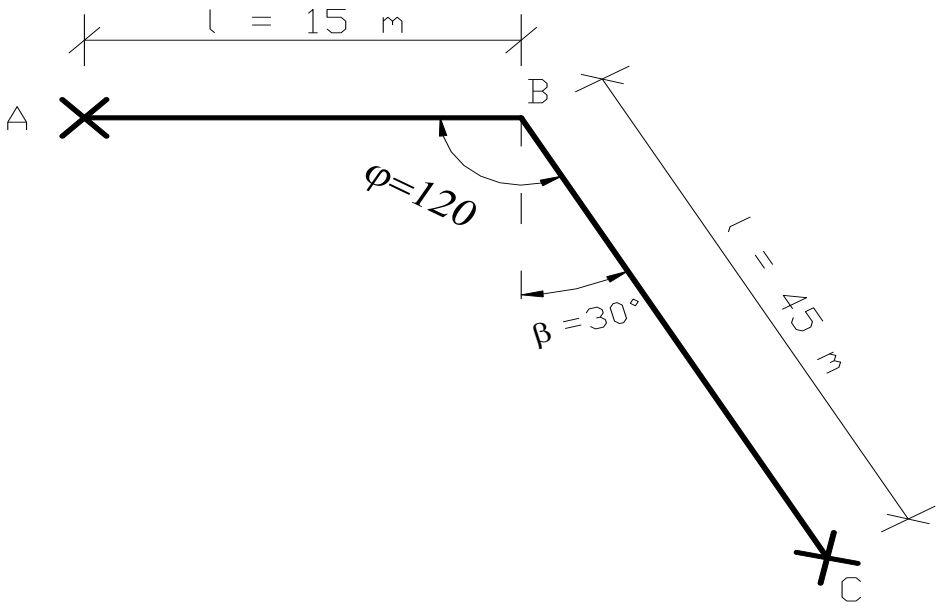


Рис.3.8 к примеру 3.9

Решение. Определим линейное удлинение ΔL_1 длинного плеча L_1

$$\Delta L_1 = \alpha \cdot L_1 \cdot (\tau - t_o) = 1{,}25\text{x}10^{-5} \cdot 45 \cdot (150 + 31) = 0{,}102 \text{ м}$$

При $\beta = 30^0$ и $n = L_1/L_2 = 3$ по формуле (2.88) находим изгибающее напряжение у опоры А

$$\sigma = \frac{1.5 \cdot \Delta L \cdot E \cdot d}{L^2 \cdot \cos\beta} \cdot \left(n + 1 + \frac{n+3}{n+1} \cdot \sin\beta \right)$$

$$\sigma = \frac{1{,}5 \cdot 0{,}102 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0{,}159}{15^2 \cdot 0{,}866} \cdot \left(3 + 1 + \frac{3+3}{3+1} \cdot 0{,}5 \right) = 118{,}6 \text{ МПа}$$

Полученное изгибающее напряжение превышает допускаемое

$\sigma_{до}$ = 80 МПа. Следовательно, данный угол поворота не может быть использован для самокомпенсации.

Пример 3.9.2. Определить изгибающее напряжение от термических деформаций у неподвижной опоры А по исходным данным примера 3.9, 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

$$\Delta L = \alpha \cdot L_1(\tau - t_o) = 1{,}25\text{x}10^{-5} \cdot 30 \cdot (150 + 31) = 0{,}068 \text{ м}$$

При $\beta = 30^0$ и $n = L_1/L_2 = 1$ по формуле (2.88) находим напряжение у опоры А

$$\sigma = \frac{1{,}5 \cdot \Delta l \cdot E \cdot d \cdot (n+1)}{l^2} = \frac{1{,}5 \cdot 0{,}068 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0{,}159 \cdot \left(1+1+\dfrac{1+3}{1+1}\right)}{30^2 \cdot 0{,}866} = 12{,}5 \text{ МПа}$$

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

Силу упругой деформации P_y согласно [10] определим по формуле

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

где B – коэффициент, определяемый по номограмме 10.27 [10], либо по формуле

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

Значение $\dfrac{\alpha \cdot F \cdot I}{10^7}$ определим по таблице 10.20 [10]. При наружном диаметре трубы $d_н$= 15,9 см , $\dfrac{\alpha \cdot F \cdot I}{10^7}$ = 1,56 кгс·м^2/град.

Значение Δt составит

$$\Delta t = \tau - t_0 = 150 + 31 = 181 \ ^0\text{C}$$

При длине плеча L = 30 сила упругой деформации, P_y, составит

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

Пример 3.10. Определить по нормируемой плотности теплового потока толщину тепловой изоляции для двухтрубной тепловой сети с $d_н$ = 159 мм, проложенной в канале типа КЛП 90х45. Глубина заложения канала $h_к$ = 1,0 м. Среднегодовая температура грунта на глубине заложения оси трубопроводов t_0 = 4 ^{0}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 τ_1 = 86 ^{0}С, в обратном τ_2 = 48 С.

Решение. По формуле (2.74) определим внутренний $d_{вэ}$ и наружный $d_{нэ}$ эквивалентные диаметры канала по внутренним (0,9×0,45м) и наружным (1,08×0,61м) размерам его поперечного сечения

$$d_{вэ} = \frac{4 \cdot F}{P} = \frac{4 \cdot 0,9 \cdot 0,45}{2 \cdot (0,9 + 0,45)} = 0,6 м$$

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

Определим по формуле (2.73) термическое сопротивление внутренней поверхности канала $R_{пк}$

$$R_{пк} = \frac{1}{\alpha_1 \pi d_{вэ}} = \frac{1}{8 \cdot 3,14 \cdot 0,6} = 0,066 \ \text{м} \cdot {}^0\text{С/Вт}$$

Определим по формуле (2.75) термическое сопротивление стенки канала $R_к$, приняв коэффициент теплопроводности железобетона $\lambda_{ст}$ = 2,04 Вт/м град

$$R_к = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ст}} \cdot \ln \frac{d_{нэ}}{d_{вэ}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,04} \cdot \ln \frac{0,78}{0,6} = 0,020 \ \text{м} \cdot °\text{С} / \text{Вт}$$

Определим по формуле (2.76) при глубине заложения оси труб h = 1,3 м и теплопроводности грунта $\lambda_{гр}$= 2,0 Вт/м град термическое сопротивление грунта $R_{гр}$

$$R_{гр} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ст}} \cdot \ln \left(\frac{2h}{d_{нэ}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_{нэ}^2} - 1} \right) =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,04} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 1,3}{0,78} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3^2}{0,78^2} - 1} \right) = 0,149 \ \ \text{м} \cdot °\text{С} / \text{Вт}$$

Приняв температуру поверхности теплоизоляции 40 ^{0}С, определим средние температуры теплоизоляционных слоев подающего $t_{тп}$ и обратного $t_{то}$ трубопроводов:

$$t_{тп} = \frac{\tau_1 + 40}{2} = \frac{86 + 40}{2} = 63\ ^0\text{С}$$

$$t_{то} = \frac{\tau_2 + 40}{2} = \frac{48 + 40}{2} = 44\ ^0\text{С}$$

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

$$\lambda_{к_1} = 0{,}042 + 0{,}00028 \cdot t_{тп} = 0{,}042 + 0{,}00028 \cdot 63 = 0{,}06\ \text{Вт/(м} \cdot {}^0\text{С)}$$

$$\lambda_{к_2} = 0{,}042 + 0{,}00028 \cdot t_{то} = 0{,}042 + 0{,}00028 \cdot 44 = 0{,}054\ \text{Вт/(м} \cdot {}^0\text{С)}$$

Определим по формуле (2.72) термическое сопротивление поверхности теплоизоляционного слоя, $R_{пс}$ приняв предварительно толщину слоя изоляции $\delta_и$= 50 мм = 0,05 м

$$R_{пс} = \frac{1}{\alpha_l \cdot \pi \cdot (d_н + 2 \cdot \delta_и)} = \frac{1}{8 \cdot 3{,}14 \cdot (0{,}159 + 2 \cdot 0{,}05)} = 0{,}154\ \text{м} \cdot {}^\circ\text{С/Вт}$$

Примем по приложению 8 учебного пособия нормируемые линейные плотности тепловых потоков для подающего q_{11} = 39,5 Вт/м и обратного q_{12} = 15,8 Вт/м трубопроводов. По формуле (2.68) определим суммарные термические сопротивления для подающего $R_{tot,1}$ и обратного $R_{tot,2}$ трубопроводов при K_1 = 0,92 (см. приложение 11 учебного пособия)

$$R_{tot,1} = \frac{(\tau_1 - t_e)}{q_{11} \cdot k_l} = \frac{(86 - 4)}{39{,}5 \cdot 0{,}92} = 2{,}26 \quad \text{м} \cdot {}^0\text{С/Вт}$$

$$R_{tot,2} = \frac{(\tau_2 - t_o)}{q_{12} \cdot k_l} = \frac{(48 - 4)}{15{,}8 \cdot 0{,}92} = 3{,}03 \quad \text{м} \cdot {}^0\text{С/Вт}$$

Определим коэффициенты взаимного влияния температурных полей подающего φ_1 и обратного φ_2 трубопроводов

$$\varphi_1 = \frac{q_{l_2}}{q_{l_1}} = \frac{15,8}{39,5} = 0,40 \qquad \varphi_2 = \frac{q_{l_1}}{q_{l_2}} = \frac{39,5}{15,8} = 2,50$$

Определим требуемые термические сопротивления слоёв для подающего $R_{кп}$ и обратного $R_{ко}$ трубопроводов, м · град/Вт

$$R_{кп} = R_{tot,1} - R_{пс} - (1+\varphi_1)\cdot(R_{пк} + R_{к} + R_{гр})$$

$$R_{кп} = 2,464 - 0,154 - (1+0,40)\cdot(0,066 + 0,0205 + 0,149) = 1,980 \text{ м} \cdot {}^0\text{С/Вт}$$

$$R_{ко} = R_{tot,2} - R_{пс} - (1+\varphi_1)\cdot(R_{пк} + R_{к} + R_{гр})$$

$$R_{кп} = 3,090 - 0,154 - (1+2,50)\cdot(0,066 + 0,0205 + 0,149) = 2,111 \text{ м} \cdot {}^0\text{С/Вт}$$

Определим по формуле (2.66) значения B для подающего и обратного трубопроводов

$$B_1 = e^{2\cdot\pi\cdot\lambda_{к1}\cdot R_{к1}} = 2,7^{2\cdot3,14\cdot0,06\cdot1,980} = 2,098$$

$$B_2 = e^{2\cdot\pi\cdot\lambda_{к2}\cdot R_{к2}} = 2,7^{2\cdot3,14\cdot0,054\cdot2,111} = 2,036$$

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

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

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

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

Пример 3.11. 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 $\lambda_к$ = 0,06 Вт/(м $\cdot{}^0$С). Среднегодовая температура теплоносителя в подающем трубопроводе τ_1= 90 ^{0}С, в обратном τ_2 = 50 ^{0}С. Глубина заложения оси трубо-

проводов h = 1,3 м. Среднегодовая температура грунта на глубине заложения оси трубопроводов $t_о$ = 4^{0}С. Коэффициент теплопроводности грунта $\lambda_{гр}$ = 2,0 Вт/(м·^{0}С).

Решение. Зададимся предварительно толщиной слоя изоляции на подающем трубопроводе $\delta_{к_1}$ = 0,04 м и на обратном $\delta_{к_2}$ = 0,03 м. Определим наружные диаметры подающего $d_{н_1}$ и обратного $d_{н_2}$ трубопроводов с учетом толщины слоя изоляции и защитного покровного слоя $\delta_п$ = 0,005 м

$$d_{н_1} = d_н + 2 \cdot \delta_{к_1} + \delta_п = 0{,}159 + 2 \cdot 0{,}04 + 2 \cdot 0{,}005 = 0{,}249 \text{ м}$$

$$d_{н_1} = d_н + 2 \cdot \delta_{к_1} + \delta_п = 0{,}159 + 2 \cdot 0{,}03 + 2 \cdot 0{,}005 = 0{,}229 \text{ м}$$

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

$$R_{гр_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot h}{d_{н_1}} + \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{d_{н_1}^2} - 1} \right) =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}0} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 1{,}3}{0{,}249} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}3^2}{0{,}249^2} - 1} \right) = 0{,}241 \quad \text{м} \cdot {}^0\text{С/Вт}$$

$$R_{гр_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot h}{d_{н_2}} + \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{d_{н_2}^2} - 1} \right) =$$

$$R_{гр_1} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}0} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 1{,}3}{0{,}229} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}3^2}{0{,}229^2} - 1} \right) = 0{,}248 \text{ м} \cdot {}^0\text{С/Вт}.$$

По приложению 8 учебного пособия определим (с интерполяцией) нормируемые плотности теплового потока для подающего q_{l1} = 42Вт/м и обратного q_{l2} = 17 Вт/м теплопроводов. Определим коэффициенты взаимного влияния температурных полей для подающего ψ_1 и обратного ψ_2 трубопроводов.

$$\psi_1 = \frac{q_{l_2}}{q_{l_1}} = \frac{17}{42} = 0{,}40$$

$$\psi_2 = \frac{q_{l_1}}{q_{l_2}} = \frac{42}{17} = 2,47$$

Определим добавочные термосопротивления, учитывающие взаимное влияние теплопроводов для подающего R_{01} и обратного R_{02} теплопроводов при расстоянии между осями труб $B = 0,5$ м (см. табл. 2.2 учебного пособия).

$$R_{01} = \psi_1 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{B^2} + 1} =$$

$$= 0,40 \cdot \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,0} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3^2}{0,5^2} + 1} = 0,055 \quad \text{м} \cdot °\text{C} / \text{Вт}$$

$$R_{02} = \psi_2 \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{B^2} + 1} =$$

$$= 2,47 \cdot \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,0} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3^2}{0,5^2} + 1} = 0,328 \quad \text{м} \cdot °\text{C} / \text{Вт}$$

Определим суммарные термосопротивления для подающего R_{tot1} и обратного R_{tot2} трубопроводов при $K_1 = 0,9$ (см приложение 11 учебного пособия).

$$R_{tot,1} = \frac{(\tau_{т1} - t_o)}{q_{l_1} \cdot k_l} = \frac{(90 - 4)}{42 \cdot 0,9} = 2,275 \text{ м} \cdot °\text{C/Вт}$$

$$R_{tot,2} = \frac{(\tau_{т2} - t_o)}{q_{l_2} \cdot k_l} = \frac{(50 - 4)}{17 \cdot 0,9} = 3,006 \text{ м} \cdot °\text{C/Вт}$$

Определим требуемые термические сопротивления слоев изоляции для подающего $R_{к1}$ и обратного $R_{к2}$ теплопроводов.

$R_{к1} = R_{tot1} - R_{гр2} - R_{01} = 2,275 - 0,241 - 0,055 = 1,931 \text{м} \cdot {}^0\text{C/Вт}$

$R_{к2} = R_{tot2} - R_{гр2} - R_{02} = 3,006 - 0,248 - 0,328 = 2,430 \text{ м} \cdot {}^0\text{C/Вт}$

Определим толщины слоев изоляции для подающего $\delta_{к1}$ и обратного $\delta_{к2}$ теплопроводов.

$$\delta_{к_1} = \frac{d_н \cdot \left(e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{к_1} \cdot R_{к_1}} - 1\right)}{2} = \frac{0{,}159 \cdot \left(e^{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}06 \cdot 1{,}931} - 1\right)}{2} = 0{,}066 \text{ м}$$

$$\delta_{к_2} = \frac{d_н \cdot \left(e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{к_2} \cdot R_{к_2}} - 1\right)}{2} = \frac{0{,}159 \cdot \left(e^{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}06 \cdot 2{,}430} - 1\right)}{2} = 0{,}067 \text{ м}$$

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

Пример 3.12. По нормируемой плотности теплового потока определить толщину тепловой изоляции из минераловатных полуцилиндров двухтрубной прокладки тепловой сети с диаметрами $d_н$=159 мм в техподполье. Среднегодовые температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах соответственно τ_1 = 86 ^{0}C, τ_2 = 48 ^{0}C. Среднегодовая температура воздуха в техподполье $t_о$ = +5 ^{0}C.

Решение. Определим в соответствии с требованиями [4] среднюю температуру слоя изоляции $t_т$ и коэффициент теплопроводности для подающего $\lambda_{к1}$ и обратного $\lambda_{к2}$ теплопроводов.

Для подающего теплопровода

$$t_{тп} = \frac{\tau_1 + 40}{2} = \frac{86 + 40}{2} = 63 \ ^0\text{C}$$

$$\lambda_{к1} = 0{,}051 + 0{,}0002 \cdot t_{тп} = 0{,}051 + 0{,}0002 \cdot 63 = 0{,}064 \text{ Вт/(м} \cdot ^0\text{C)}$$

Для обратного теплопровода

$$t_{то} = \frac{\tau_2 + 40}{2} = \frac{48 + 40}{2} = 44 \ ^0\text{C}$$

$$\lambda_{к2} = 0{,}051 + 0{,}0002 \cdot t_{то} = 0{,}051 + 0{,}0002 \cdot 44 = 0{,}06 \text{ Вт/(м} \cdot ^0\text{C)}$$

По приложению 8 учебного пособия 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 учебн. пособия) определим по формуле (2.68) суммарные термические сопротивления, для подающего R_{tot1}, и обратного R_{tot2} трубопроводов

$$R_{\text{tot},1} = \frac{\left(\tau_{\text{т}1} - t_{\text{о}}\right)}{q_{11} \cdot k_{\text{l}}} = \frac{\left(86-5\right)}{32,4 \cdot 0,96} = 2,604 \text{ м} \cdot {}^{\circ}\text{C/Вт}$$

$$R_{\text{tot},1} = \frac{\left(\tau_{2} - t_{\text{о}}\right)}{q_{12} \cdot k_{\text{l}}} = \frac{\left(48-5\right)}{17,2 \cdot 0,96} = 2,604 \text{м} \cdot {}^{\circ}\text{C/Вт}$$

Приняв предварительно толщину слоя изоляции для подающего трубопровода $\delta_{\text{к}1}$= 0,05 м и для обратного трубопровода $\delta_{\text{к}2}$= 0,03 м, определим по формуле (2.72) термическое сопротивление поверхности изоляционного слоя для подающего $R_{\text{пс}1}$ и обратного $R_{\text{пс}2}$ теплопроводов при коэффициенте теплоотдачи α_l = 11 Вт/(м$^2 \cdot {}^0$C) (см. стр. ….учебн. пособия)

$$R_{\text{пс}_1} = \frac{1}{\alpha_{\text{l}} \cdot \pi \cdot d_{\text{нс}_1}} = \frac{1}{11 \cdot 3,14 \cdot \left(0,159 + 2 \cdot 0,05\right)} = 0,112 \text{ м} \cdot {}^{\circ}\text{C/Вт}$$

$$R_{\text{пс}_2} = \frac{1}{\alpha_{\text{l}} \cdot \pi \cdot d_{\text{нс}_2}} = \frac{1}{11 \cdot 3,14 \cdot \left(0,159 + 2 \cdot 0,03\right)} = 0,132 \text{ м} \cdot {}^{\circ}\text{C/Вт}$$

Определим требуемые термосопротивления слоев изоляции для подающего $R_{\text{к}1}$ и обратного $R_{\text{к}2}$ теплопроводов

$$R_{\text{к}1} = R_{\text{tot}1} - R_{\text{пс}1} = 2,604 - 0,112 = 2,578 \text{ м} \cdot {}^0\text{C/Вт}$$

$$R_{\text{к}2} = R_{\text{tot}2} - R_{\text{пс}2} = 2,604 - 0,132 = 2,472 \text{ м} \cdot {}^0\text{C/Вт}$$

Определим величину B для подающего и обратного теплопроводов

$$B_1 = e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{к}1} \cdot R_{\text{к}1}} = 2,7^{2 \cdot 3,14 \cdot 0,064 \cdot 2,578} = 2,798$$

$$B_2 = e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{к}_2} \cdot R_{\text{к}_2}} = 2,7^{2 \cdot 3,14 \cdot 0,06 \cdot 2,472} = 2,521$$

Определим требуемую толщину слоев изоляции для подающего $\delta_{\text{к}1}$ и обратного $\delta_{\text{к}2}$ теплопроводов

$$\delta_{\text{к}_1} = \frac{d_{\text{н}} \cdot \left(B_{\text{l}} - 1\right)}{2} = \frac{0,159 \cdot \left(2,798 - 1\right)}{2} = 0,142 \text{ м}$$

$$\delta_{к_1} = \frac{d_н \cdot (B_2 - 1)}{2} = \frac{0{,}159 \cdot (2{,}521 - 1)}{2} = 0{,}121 м$$

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

Пример 3.13. Определить размеры П-образного компенсатора и его реакцию для участка трубопровода с длиной пролета между неподвижными опорами L = 100 м. Расчетная температура теплоносителя τ_1 = 150 ^{0}С. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления t_0 = -31^{0}С. Учесть при расчетах предварительную растяжку компенсатора. При подборе компенсатора использовать данные, приведенные в литературе [8,стр. 176-178] а также в приложении 14 учебного пособия.

Решение. Приняв коэффициент температурного удлинения α = 1,20·10^{-2} мм/м·^{0}С, определим расчетное удлинение участка трубопровода по формуле (2.81).

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

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

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

По таблице 11.3 [8], ориентируясь на $\Delta l_р$, принимаем П-образный компенсатор имеющий компенсирующую способность $\Delta l_к$ = 120 мм, вылет H = 1,8 м, спинку c = 1,56 м. По таблице 11.4 [8] определим реакцию компенсатора P при значении $P_к$ = 0,72 кН/см и $\Delta l_р$ = 10,9 см

$$P = P_к \cdot \Delta l_р = 0{,}72 \cdot 10{,}9 = 7{,}85 \text{ кН}$$

Пример 3.14. Определить количество односторонних сальниковых компенсаторов для участка тепловой сети $d_н$ = 530 мм и длиной L = 500 м. Определить реакцию компенсатора $P_к$ при рабочем давлении $P_р$ = 1,5 МПа. Расчетная температура теплоносителя τ_1 = 150 ^{0}С. Расчетная температура наружного воздуха t_0 = -31^{0}С .

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

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

По приложению 14 учебного пособия определим компенсирующую способность одностороннего сальникового компенсатора $\Delta_к = 300$ мм и длину сальниковой набивки $l_с$ = 130 мм. Расчетная компенсирующая способность компенсатора составит

$$\Delta_р = \Delta_к - 50 = 300 - 50 = 250 \text{ мм}$$

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 (2.83) реакцию компенсатора $P_к$, приняв коэффициент трения сальниковой набивки μ = 0,15

$$P_к = 2P_р \cdot l_с \cdot d_н \cdot \mu \cdot \pi =$$
$$= 2 \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 0,130 \cdot 0,530 \cdot 0,15 \cdot 3,14 = 97356 \text{Н} = 97,356 \text{кН}$$

Пример 3.14. Определить количество сильфонных компенсаторов для участка тепловой сети $d_н$ = 219 мм и длиной L = 150 м. Определить также реакцию компенсатора $P_к$ при рабочем давлении $P_р$ = 1,5 МПа. Расчетная температура теплоносителя $\tau_1 = 150\ ^0\text{C}$. Расчетная температура наружного воздуха t_0 = -31^{0}C .

Решение. Приняв коэффициент температурного удлинения $\alpha = 1,25 \cdot 10^{-2}$ *мм*/(*м* · °*C*), используя данные табл.2 прил. 14, по формуле (2.87) учебного пособия определим максимальную длину участка, на которой может обеспечить компенсацию один сильфонный компенсатор

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

здесь λ - амплитуда осевого хода, мм, λ = *80мм* (см. табл.2 прил. 14)

Необходимое количество компенсаторов n на расчетном участке составит

$$n = \frac{L}{Lm} = \frac{150}{66.3} = 2.3 \approx 3 \text{шт}$$

Примем одинаковые пролеты между неподвижными опорами

$$150/3 = L_ф = 50м.$$

Определим, используя формулу (2.87), фактическую амплитуду компенсатора $\lambda_ф$ при длине пролета между неподвижными опорами $L_ф = 50м$.

$$\lambda ф = \frac{\alpha \cdot (\tau_1 - t_o) \cdot L ф}{0,9 \cdot 2} = \frac{1,2 \cdot 10^{-2} \cdot (150 + 31) \cdot 50}{0,9 \cdot 2} = 60,3мм$$

Определим по формуле (2.84) реакцию компенсатора $P_к$, приняв одинаковые пролеты между неподвижными опорами $L = 50м$

$$R_{ск} = R_{ж} + R_{р}$$

где $R_{ж}$ - осевая реакция, возникающая вследствие жесткости осевого хода, определяется по формуле (2.85)

$$R_{ж} = C_{\lambda} \cdot \lambda_{ф} = 408 \cdot 60,3 = 24616\ Н$$

где C_{λ} - жесткость волны, Н/мм, (по табл. 2 прил. 14 $C_{\lambda} = 408\ Н/мм$)

$R_{р}$ - осевая реакция от внутреннего давления, $Н$, определяется по формуле (2.86)

$$R_{р} = \varphi \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(D_c^2 - d_T^2 \right) \cdot P_{изб} = 0,5 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot \left(0,337^2 - 0,219^2 \right) \cdot 1,5 \cdot 10^6 = 38627\ Н$$

Определим по формуле (2.84) реакцию компенсатора $P_{ск}$,

$$R_{ск} = R_{ж} + R_{р} = 24616 + 38627 = 63243\ Н$$

Пример 3.15. Определить горизонтальное осевое усилие $H_{го}$ на непод - вижную опору Б. Определить вертикальную нормативную нагрузку F_v на неподвижную опору. Схема расчетного участка приведена на рис.3.9

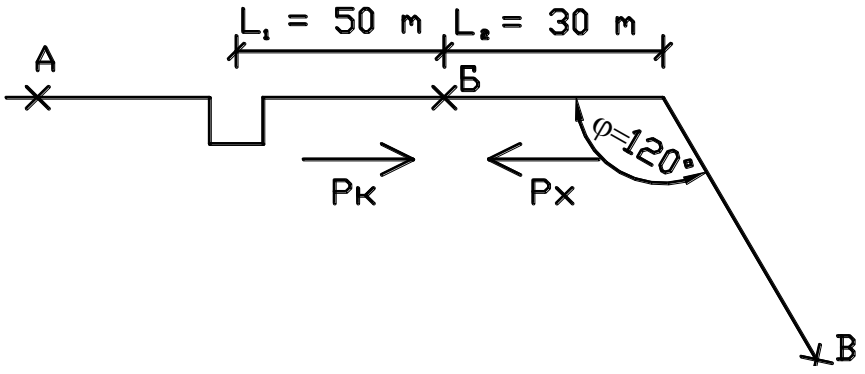


Рис. 3.9 Схема расчетного участка

Трубопровод с $d_н x S$ = 159х6 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 μ = 0,4. Реакция компенсатора $P_к$ = 7,85 кН. Сила упругой деформации угла поворота $P_х$ = 0,12 кН.

Решение. Расчет горизонтальных усилий $H_{го}$ на опору Б для различных тепловых режимов работы трубопровода выполним по формулам приведенным в [10. стр.236].

$$H_{го} = P_к + \mu \cdot G_h \cdot L_1 - 0{,}7 \cdot \mu \cdot G_h \cdot L_2 = 7850 + 0{,}4 \cdot 513 \cdot 50 - 0{,}7 \cdot 0{,}4 \cdot 513 \cdot 30 = 13801 \text{ Н}$$

$$H_{го} = P_к + \mu \cdot G_h \cdot L_2 - 0{,}7 \cdot \mu \cdot G_h \cdot L_1 = 7850 + 0{,}4 \cdot 513 \cdot 50 - 0{,}7 \cdot 0{,}4 \cdot 513 \cdot 50 = 6824 \text{ Н}$$

$$H_{го} = P_х + \mu \cdot G_h \cdot L_2 - 0{,}7 \cdot (P_к + \mu \cdot G_h \cdot L_1) = 120 + 0{,}4 \cdot 513 \cdot 30 - 0{,}7 \cdot (7850 + 0{,}4 \cdot 513 \cdot 50) = -11714 \text{ Н}$$

$$H_{го} = P_х + \mu \cdot G_h \cdot L_1 - 0{,}7 \cdot (P_к + \mu \cdot G_h \cdot L_2) = 120 + 0{,}4 \cdot 513 \cdot 50 - 0{,}7 \cdot (7850 + 0{,}4 \cdot 513 \cdot 30) = -3626 \text{ Н}$$

В качестве расчетного усилия принимаем наибольшее значение $H_{го}$ = 13801 Н =13,801 кН. Вертикальную нормативную нагрузку на подвижную опору F_v определим по формуле (2.93) методического пособия

$$F_v = G_h \cdot L = 513 \cdot 7 = 3591 \text{ Н} = 3{,}591 \text{ кН}.$$

Пример 3.16. Определить диаметры спускных устройств (воздушников и спускников) для участка трубопровода, схема которого приведена на рис.3.10.

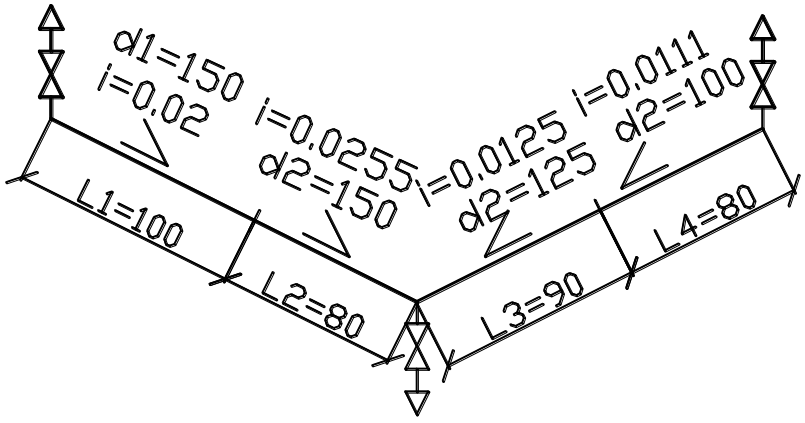


Рис 3.10. Схема расчетного участка.

Решение. Условные проходы штуцеров и арматуры для выпуска воздуха принимаем согласно рекомендациям на стр. 40-42 учебного пособия. 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 примыкающей к нижней точке сторон трубопровода.

Выполним расчеты для левой стороны. Определим приведенный диаметр d_{red} по формуле (2.90) учебного пособия.

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

Определим приведенный уклон

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

Приняв коэффициент расхода для вентиля $m = 0{,}0144$, коэффициент $n = 0{,}72$ при времени опорожнения не более 2 часов, по формуле (2.89) определим диаметр спускного устройства для левой стороны d_1

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

Выполним аналогичные расчеты и для правой стороны. Приведенный диаметр d_{red} составит

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

Приведенный уклон i_{red} составит

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

Диаметр спускного устройства для правой стороны d_2

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

Определим по формуле (2.92) диаметр штуцера и запорной арматуры d 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 $d_у$ = 50 мм (см. табл. 2.5 методического пособия), к установке принимаем штуцер с наибольшим диаметром из сравниваемых $d_у$ = 50 мм.

Пример 3.17. Для системы отопления с расчетным расходом сетевой воды на отопление G = 3,75 т/ч и расчетным коэффициентом смешения $U_р$ = 2,2, определить диаметр горловины элеватора и диаметр сопла 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 $H_{тп}$ = 28м.

Решение.

Требуемый располагаемый напор для работы элеватора $H_{эл}$, м определяется по формуле (2.107) учебного пособия

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

Расчетный диаметр горловины $d_г$ определяется по формуле (2.109) учебного пособия

(2.96)

$$d_г = 8{,}5 \cdot \sqrt[4]{\frac{G^2 \cdot \left(1 + U_р\right)^2}{h}} = 8{,}5 \cdot \sqrt[4]{\frac{3{,}75^2 \cdot \left(1 + 2{,}2\right)^2}{1{,}5}} = 26{,}6 \text{мм}$$

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

Расчетный диаметр сопла определяем по формуле (2.110) учебного пособия

$$d_{\text{с}} = 9,6 \cdot \sqrt[4]{\frac{G^2}{H}} = 9,6 \cdot \sqrt[4]{\frac{3,75^2}{21,5}} = 8,6 \text{ мм}$$

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

$$H_{рег} = H_{\text{тп}} - H_{\text{эл}} - h = 28 - 21,5 - 1,5 = 5 \text{ метров}$$

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

$Q_{v\ т}$ - 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^s_{hm}- 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^2 общей площади, принимаемый по рекомендуемому приложению, Вт

A- общая площадь жилых зданий,м^2

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 ^{o}С, для производственных зданий 16°С

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

t_c- температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период (при отсутствии данных принимается равной 5 ^{o}С)

t^s_c - температура холодной (водопроводной) воды в неотопительный период (при отсутствии данных принимается равной 15 ^{o}С)

t' - температура воды после первой ступени подогрева при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей

t_h - температура воды, поступающей в систему горячего водоснабжения потребителей, ^{o}С

τ_1 - температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети при расчетной температуре наружного воздуха t_o, ^oC;

τ_2 - то же, в обратном трубопроводе тепловой сети, ^oC;

τ_1' - температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети в точке излома графика температур воды, ^oC;

τ_2' - то же, в обратном трубопроводе тепловой сети после системы отопления зданий, ^oC

τ_3' - температура воды после параллельно включенного водоподогревателя горячего водоснабжения в точке излома графика температур воды; рекомендуется принимать

$\tau_3' = 30\ ^oC$

$G_{o\ max}$ - 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 неотопительный период, кг/ч;

k_e - эквивалентная шероховатость внутренней поверхности стальных труб, м

ρ - средняя плотность теплоносителя на рассчитываемом участке, кг/ч

λ - коэффициент гидравлического трения;

Re - число Рейнольдса;

Re' - предельное число Рейнольдса, характеризующее границы переходной области и области квадратичного закона;

а - норма расхода воды на горячее водоснабжение при температуре 55^oC,на одного человека в сутки, проживающего в здании с горячим водоснабжением, принимаемая в зависимости от степени комфортности зданий в соответствии со СНиП 2.04.01-85, л;

в - норма расхода воды на горячее водоснабжение, потребляемой в общественных зданиях, при температуре 55^oC, принимаемая в размере 25 л/сут на 1 чел.;

m - число человек ;

β - коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотопительный период по отношению к отопительному периоду, принимаемый при отсутствии данных для жилищно-коммунального сектора равным 0.8 (для курортных и южных городов β = 1.5), для предприятий - 1.0

Приложение 2. Укрупненные показатели максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1 м^2 общей площади q_o, Вт.

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

Примечание:

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 на горячее водоснабжение $q_{h.}$

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, Вт, 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. Удельные тепловые характеристики жилых и общественных зданий.

Наименование зданий	Объем зданий, V,тыс. $м^3$	Удельные тепловые характеристики, Вт/$м^3$ °С		Расчетная усреднен. внутр. темп, t_i ,°С
		для отопления q_o	для вентиляции q_v	
1	2	3	4	5
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-ти этажные крупно-блочные здания, жилые 9-ти этажные крупнопанельные здания	до 6	0.49		
	до 12	0.43		
	до 16	0.42		
	до 25	0.43		
	до 40	0.42		

Продолжение таблицы 1 приложения 4

1	2	3	4	5
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	
детские сады и ясли	до 5	0.44	0.13	20
	Более 5	0.39	0.12	
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
	до10	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	

Таблица 2 прил.4. Поправочный коэффициент α к величине q_o

Расчетная температура наружного воздуха t_o, °С	α	Расчетная температура наружного воздуха t_o	α
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	Измеритель	Норма расхода воды, л			Расход воды прибором л/с (л/ч) горячей q^h_o ($q^h_{o,hr}$)
		в средние сутки горячей q_u^h, m	в сутки наибольшего водопотребления горячей q_u^h	в час наибольшего водопотребления горячей $q_{u}^{h}{}_{,hr,u}$	
1	2	3	4	5	6
1. Жилые дома квартирного типа:					
- с ваннами длиной от 1500 до 1700 мм, оборудованными душами;	1 житель	105	120	10	0,2(200)
- высотой св. 12 этажей и повышенными требованиями к их благоустройству	1 житель	115	130	10,9	0,2(200)
2. Общежития:					
- с общими душевыми	то же	50	60	6,3	0,14(60)
-с душами при всех жилых комнатах	то же	60	70	8,2	0,14(60)
- с общими кухнями и блоками душевых на этажах при жилых комнатах	то же	80	90	7,5	0,14(60)

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5	6
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)
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)
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	1койка	110	110	9,5	0,14(120)
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 ясли и 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, и прачечными оборудованными автоматическими машинами	то же	25	35	8	0,14(60)

Продолжение приложения 5

1	2	3	4	5	6
- 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, и прачечными оборудованными автоматическими машинами	то же	28,5	40	8	0,14(60)
10. Прачечные:					
механизированные;	1 кг сухого белья	25	25	25	по технол. данным
немеханизированные		15	15	15	0,2(200)
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)
Научно-исследовательские институты и лаборатории:					
химического профиля;	1 работающий	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;	1 условное блюдо	12,7	12,7	12,7	0,2(200)
выпускающие полуфабрикаты;					
а) мясные;	1 т	-	3100	-	0,2(200)
б) рыбные		-	700	-	0,2(200)

Продолжение приложения 5.

Магазины: - продовольственные; - промтоварные	1 работающий в смену	65 5	65 7	9,6 2	0,2(200) 0,1(60)
19. Парикмахерские	1 рабочее место в смену	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 ополаскивание в душе; - то же, с приемом оздоровительных процедур и ополаскиванием в душе	1 посетитель	- -	120 190	120 190	0,4(120)

Примечание:

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.

Приложение 6. Номограммы для гидравлического расчета трубопроводов. Удельные перепады давления R, Па/м, в стальных трубах при $к_э$ = 0,0005мм

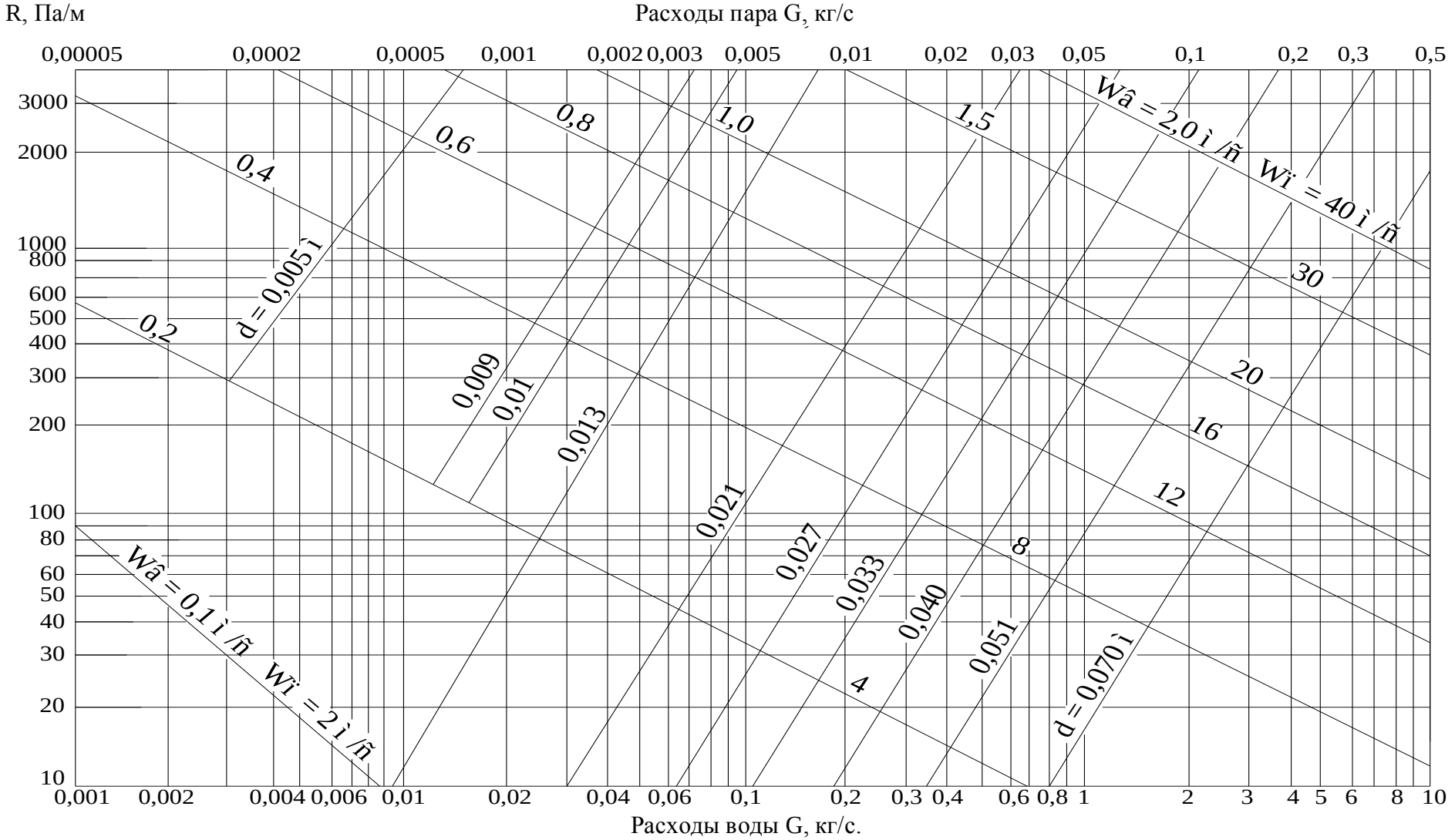


Рис.1 приложения 6. Номограммы для гидравлического расчета трубопроводов

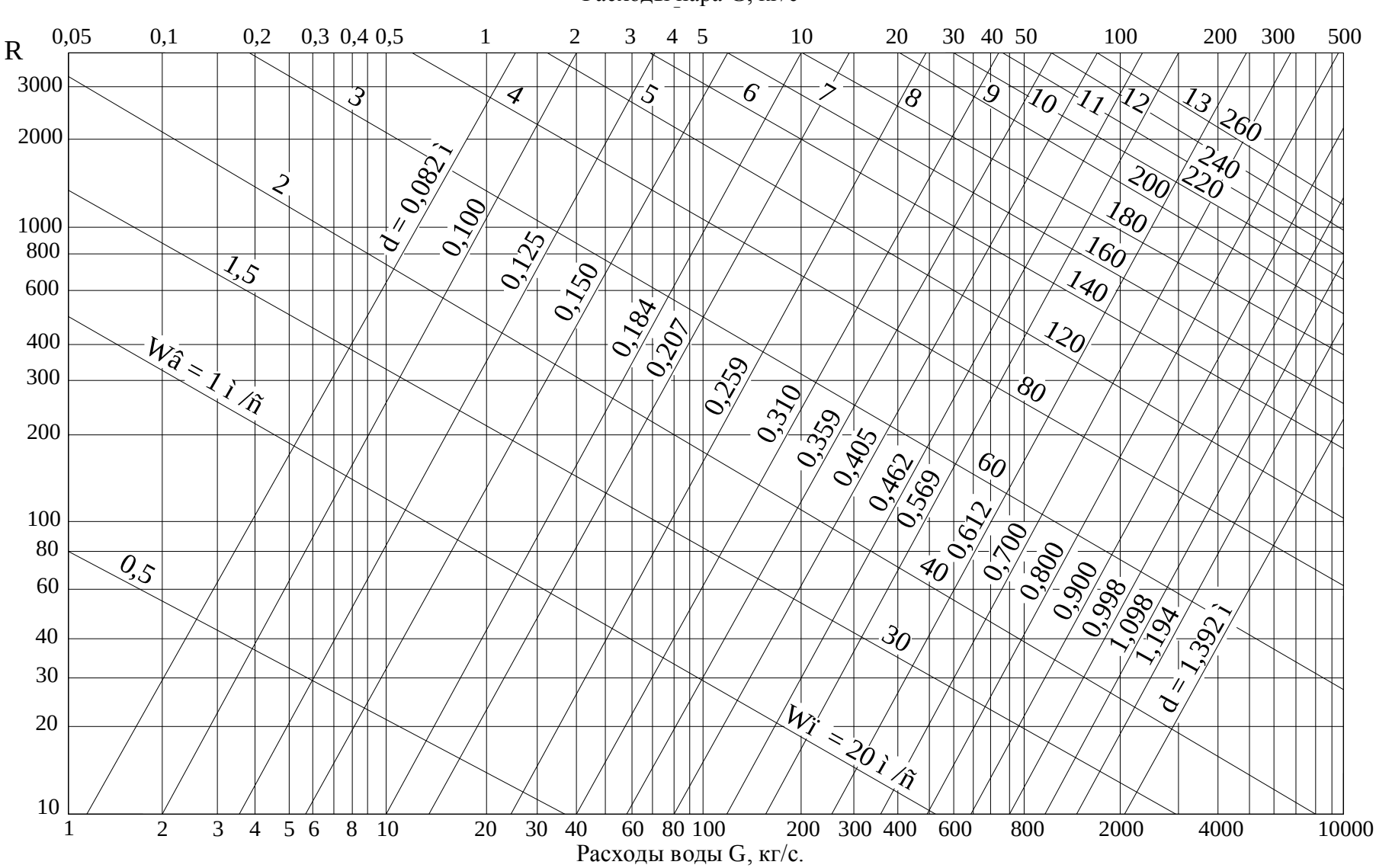


Рис.2 приложения 6. Номограммы для гидравлического расчета трубопроводов

Таблица 1 приложения 6. Пропускная способность трубопроводов тепловых сетей ($k_Э$ = 0,5 мм; ρ = 958,4 кг/м^3)

D_y в мм	Пропускная способность в т/ч при удельной потери давления на трение Δh, Па/м					D_y в мм	Пропускная способность в т/ч при удельной потери 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

Таблица 2 приложения 6. Значения коэффициента местных потерь давления α.

Типы компенсаторов	Условный проход труб D_y в 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 со 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 со сварными отводами	175-250	0,8	0,6
	300-350	1	0,8
	400-500	1	0,9
	600-1000	1,2	1

Таблица 3 приложения 6. Коэффициенты местных сопротивлений.

Местное сопротивление	ξ	Местное сопротивление	ξ
Задвижка нормальная	0.5	45°	0.3
Кран шаровый	0.2	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: проход*	1
3	0.8	ответвление	1.5
4	0.5	Тройник при потоке:	
Отводы сварные одношовные под углом, град:		расходящемся	2
60°	0.7	встречном	3
		Грязевик	10

*Коэффициент ξ отнесен к участку с суммарным расходом воды.

Таблица 4 приложения 6. Значения $l_э$ для труб при $\sum\xi = 1$.

Размеры труб, мм		$l_э$, м, при $k_э$, м			Размеры труб, мм		$l_э$, м, при $k_э$, м		
$D_у$, мм	$D_н \times s$, мм	0,0002	0,0005	0,001	$D_у$, мм	$D_н \times s$, мм	0,0002	0,0005	0,001
25	33,5×3,2	0,84	0,67	0,56	350	377×9	21,2	16,9	14,2
32	38×2,5	1,08	0,85	0,72	400	426×9	24,9	19,8	16,7
40	45×2,5	1,37	1,09	0,91	400	426×6	25,4	20,2	17
50	57×3	1,85	1,47	1,24	450	480×7	29,4	23,4	19,7
70	76×3	2,75	2,19	1,84	500	530×8	33,3	26,5	22,2
80	89×4	3,3	2,63	2,21	600	630×9	41,4	32,9	27,7
100	108×4	4,3	3,42	2,87	700	720×10	48,9	38,9	32,7

Продолжение таблицы 4 приложения 6. Значения $l_э$ для труб при $\sum\xi = 1$.

Размеры труб, мм		$l_э$, м, при $k_э$, м			Размеры труб, мм		$l_э$, м, при $k_э$, м		
$D_у$, мм	$D_н \times s$, мм	0,0002	0,0005	0,001	$D_у$, мм	$D_н \times s$, мм	0,0002	0,0005	0,001
125	133×4	5,68	4,52	3,8	800	820×10	57,8	46	38,7
150	159×4,5	7,1	5,7	4,8	900	920×11	66,8	53,1	44,7
175	194×5	9,2	7,3	6,2	1000	1020×12	76,1	60,5	50,9
200	219×6	10,7	8,5	7,1	1100	1120×12	85,7	68,2	57,3
250	273×7	14,1	11,2	9,4	1200	1220×14	95,2	95,2	63,7
300	325×8	17,6	14,0	11,8	1400	1420×14	115,6	91,9	77,3

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: $P_{раб}$ = 8 - 16 кгс/см^2, 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

Приложение 8. Нормы плотности теплового потока q_e, Вт/м, через изолированную поверхность трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при числе часов работы в год более 5000.

Условный проход труб d, мм	тип прокладки							
	открытый воздух		тоннель, помещение		непроходной канал		бесканальная	
	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
1000	100	163	74	141	46	140	46	140
1200					53	158	53	158
1400	133	215	99	187	58	179	58	179

Примечание:

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.

Приложение 9. Расчетные теплотехнические характеристики теплоизоляциионных материалов и изделий.

Материал, изделие	Средняя плотность в конструкции, кг/м^3	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	120 150	0,045 + 0,00021 t_m 0,049 + 0,0002 t_m	0,044-0,035 0,048-0,037	От минус 180 до 450 для матов,	Негорючие
Маты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем	65 95 120 180	0,04 + 0,00029 t_m 0,043 + 0,00022 t_m 0,044 + 0,00021 t_m 0,052 + 0,0002 t_m	0,039-0,03 0,042-0,031 0,043-0,032 0,051-0,038	От минус 60 до 400 От минус 180 до 400	»
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 80 100 150 200	0,04 + 0,00003 t_m 0,044 + 0,00022 t_m 0,049 + 0,00021 t_m 0,05 + 0,0002 t_m 0,053 + 0,00019 t_m	0,039-0,029 0,043-0,032 0,048-0,036 0,049-0,035 0,052-0,038	От минус 180 до 400	Негорючие
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 70	0,04 + 0,0003 t_m 0,042 + 0,00028 t_m	0,039-0,029 0,041-0,03	От минус 60 до 180	Негорючие
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	110 150 225	0,052 + 0,00012 t_m 0,055 + 0,00012 t_m 0,058 + 0,00012 t_m	0,051-0,038 0,054-0,04 0,057-0,042	От минус 180 до 875	»
Теплоизоляционные изделия из пенополистирола	30 50 100	0,033 + 0,00018 t_m 0,036 + 0,00018 t_m 0,041 + 0,00018 t_m	0,032-0,024 0,035-0,026 0,04-0,03	От минус 180 до 70	Горючие
Теплоизоляционные изделия из пенополиуретана	40 50 70	0,030 + 0,00015 t_m 0,032 + 0,00015 t_m 0,037 + 0,00015 t_m	0,029-0,024 0,031-0,025 0,036-0,027	От минус 180 до 130	«
Теплоизоляционные изделия «Кайманфлекс (K-flex)» марок: EC ST ECO	 60-80 60-80 60-95	 0,036 0,036 0,040	 0,034 0,034 0,036	 От минус 40 до 105 От минус 70 до 130	 Слабогорючие
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^{0}С	Максимальная температура вещества, ^{0}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 $К_2$, учитывающий увеличение теплопроводности от увлажнения, теплоизоляционного материала и типа грунта.

Материал теплоизоляционного слоя	Коэффициент увлажнения K_2		
	Тип грунта по ГОСТ 25100		
	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

Приложение 13. 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 техничес-ких под-польях	Независимо от температуры теплоносителя	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
	300	Металлизационное алюминиевое	0,25-0,3	ГОСТ 7871-75
2. Подзем-ный в непроходных каналах (для воды и пара)	300	Стеклоэмалевые марок:		ТУ ВНИИСТ
		105Т в три слоя по одному слою грунта 117	0,5-0,6	
		64/64 в три слоя по грунтовочному подслою из смеси грунтов 70% №2015 и 30% №3132	0,5-0,6	
		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	0,25-0,3	ТУ84-725-83
		с термообработкой при температуре 200°С или в четыре слоя с отвердителем естественной сушки	0,45	
	150	Изол в два слоя по холодной изольной мастике марки МРБ-Х-Т15	5-6	ГОСТ 10296-79 ТУ21-27-37-74 МПСМ
		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	025-0,3	ГОСТ 7871-75
3. Бесканальный (для воды и пара)	300	Стеклоэмалевые - по п. 2 приложения		
	180 150	Защитные —по п. 2 приложения, кроме изола по изольной мастике		

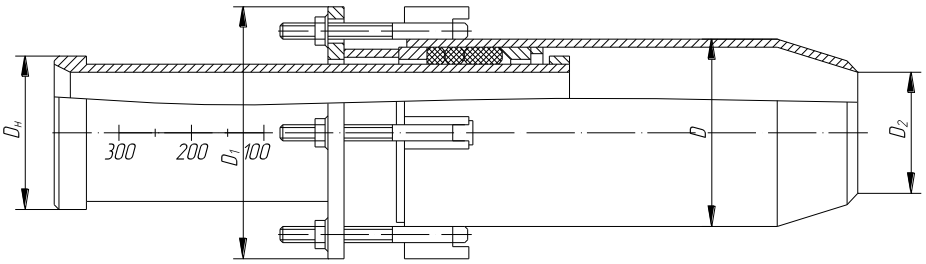
Примечания: 1. Если заводы-изготовители выпускают покрытия с лучшими технико-экономическими показателями, удовлетворяющие требованиям работы в тепловых сетях, то эти покрытия должны применяться взамен указанных в данном приложении.

2. При применении теплоизоляционных материалов или конструкций, исключающих возможность коррозии поверхности труб, защитное покрытие от коррозии предусматривать не требуется.

3. Металлизационное алюминиевое покрытие следует применять для сред с pH от 4,5 до 9,5.

Приложение 14. Компенсаторы в тепловых сетях.

а)



б)

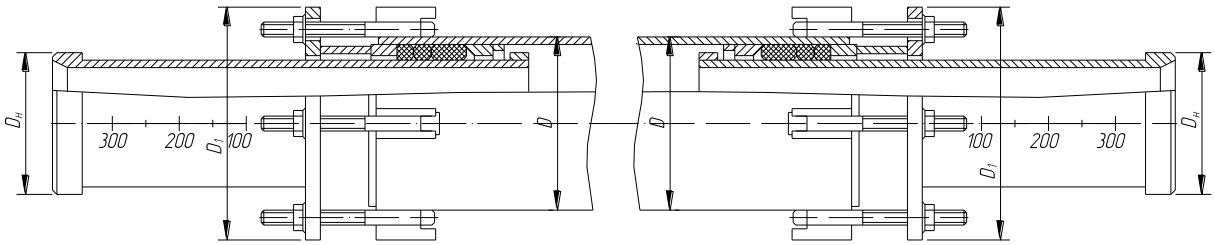


Рис. 1 приложения 14. Сальниковые компенсаторы. а)-односторонний; б)-двухсторонний.

Таблица 1 приложения 14. Характеристики сальниковых компенсаторов.

$D_у$, мм	$D_н$, мм	Длина сальниковой набивки, $l_с$, мм	Компенсирующая способность односторонних ком-ров, ΔК, мм	Компенсирующая способность двухсторонних ком-ров, ΔК, мм
100	108	65	250	2х250
125	133	65		
150	159	75		
175	194	85		
200	219	120	200и400	2х200 и 2х400
250	273	120		
300	325	120		
350	377	120		
400	426	120	300и500	2х300 и 2х500
450		120		
500	530	130	300 и 500	2х300 и 2х500
600	630	130		
700	720	130		
800	820	130		
900	920	130	350 и 600	2х300 и 2х500
1000	1020	130		
1200	1220	150		
1400	1420	150		

Сильфонные компенсаторы.

а) б)

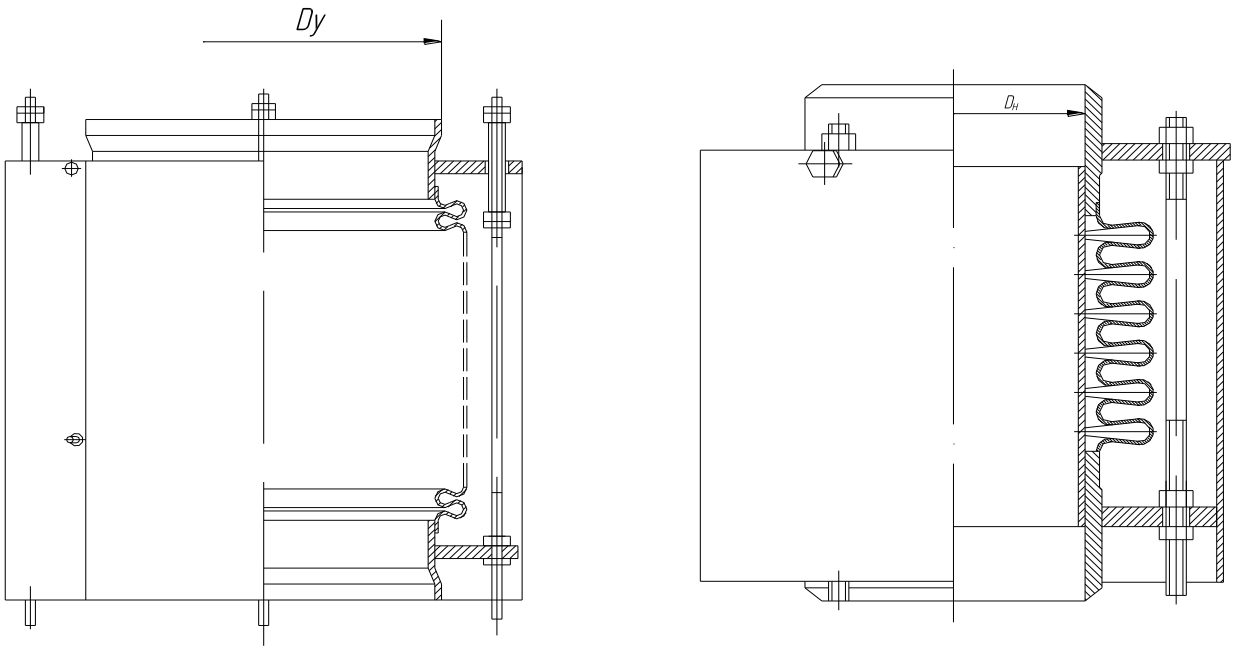


Рис. 2 приложения 14. Осевые неразграженные сильфонные компенсаторы.

Таблица 2 приложения 14. Технические характеристики сильфонных компенсаторов СК –МК (СК-160.000.00 ТУ)

Диаметр трубы, dт, мм	Амплитуда осевого хода, λ, мм	Жесткость компенсатора, C_λ, кг/см	Эффективная площадь, $S_{эф}$, см^2	Масса, кг	Диаметр сильфона, $Д_с$, мм
57х3,5	20	357	34	1,4	75
76х4	40	245	64	2,9	104
89х4	45	227	87	3,4	122
108х5	60	278	130	6,6	149
133х5	65	358	199	10,9	185
159х5	75	305	282	14	214
219х6	80	408	483	25	277
273х7	90	429	731	29	337
325х7	90	445	1001	39	389
377х7	90	428	1272	44	428
426х7	90	555	1573	73	469
530х8	90	608	2419	100	580
630х8	90	632	3416	118	689
720х8	90	593	4507	123	795
820х8	90	637	5822	166	902
920х10	90	577	8075	169	1008
1000х10	90	680	9017	210	1123

1220х12	90	740	12718	270	1325

П-образные компенсаторы.

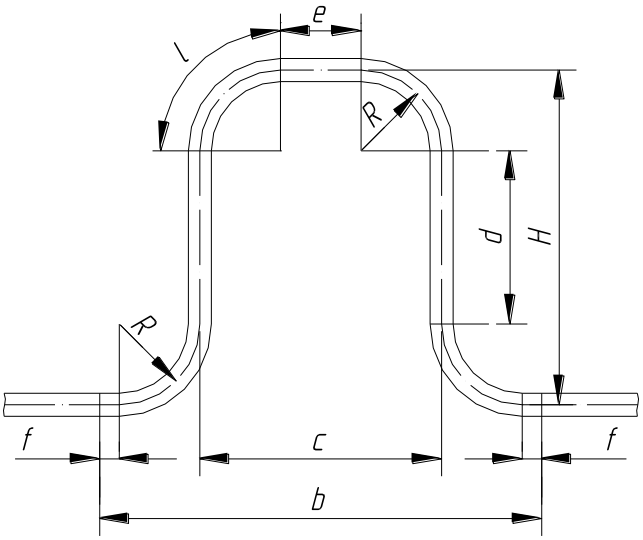


Рис. 4 приложения 14. Схема П-образного компенсатора.

Таблица 3 приложения 14. Типоразмеры П-образных компенсаторов.

Диаметр		H, м	b, мм	c, мм	d, мм	e, мм	f , мм	R, мм	l, мм	L, м	$\Delta l_к$, мм
$D_у$, мм	$D_н$, 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

Продолжение таблицы 3 приложения 14.

Диаметр		H, м	b, мм	c, мм	d, мм	e, мм	f , мм	R, мм	l, мм	L, м	$\Delta l_к$, мм
$D_у$, мм	$D_н$, 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. $l_к$ – компенсирующая способность, при условии предварительной растяжки при монтаже на $\Delta l_к/2$.

Таблица 4 приложения 14. Осевые силы P_k, кН, для П-образных компенсаторов с гнутыми отводами при $\Delta l_к$=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 $P_к$ следует умножить на расчетную величину удлинения трубопровода Δl_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	

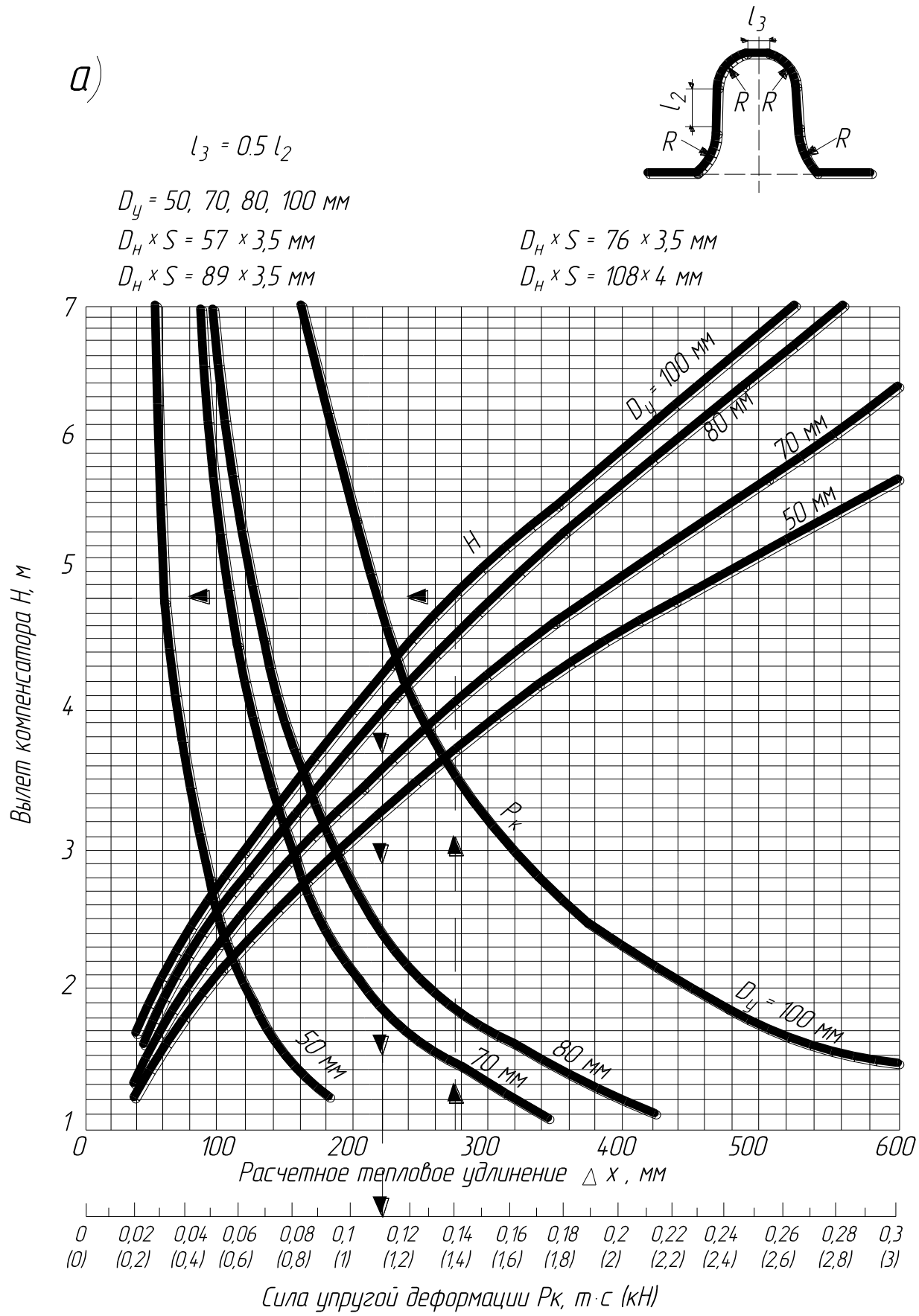


Рис1 приложения 14. Номограммы для подбора п-образных компенсаторов.

для Dy = 50, 70, 80, 100мм

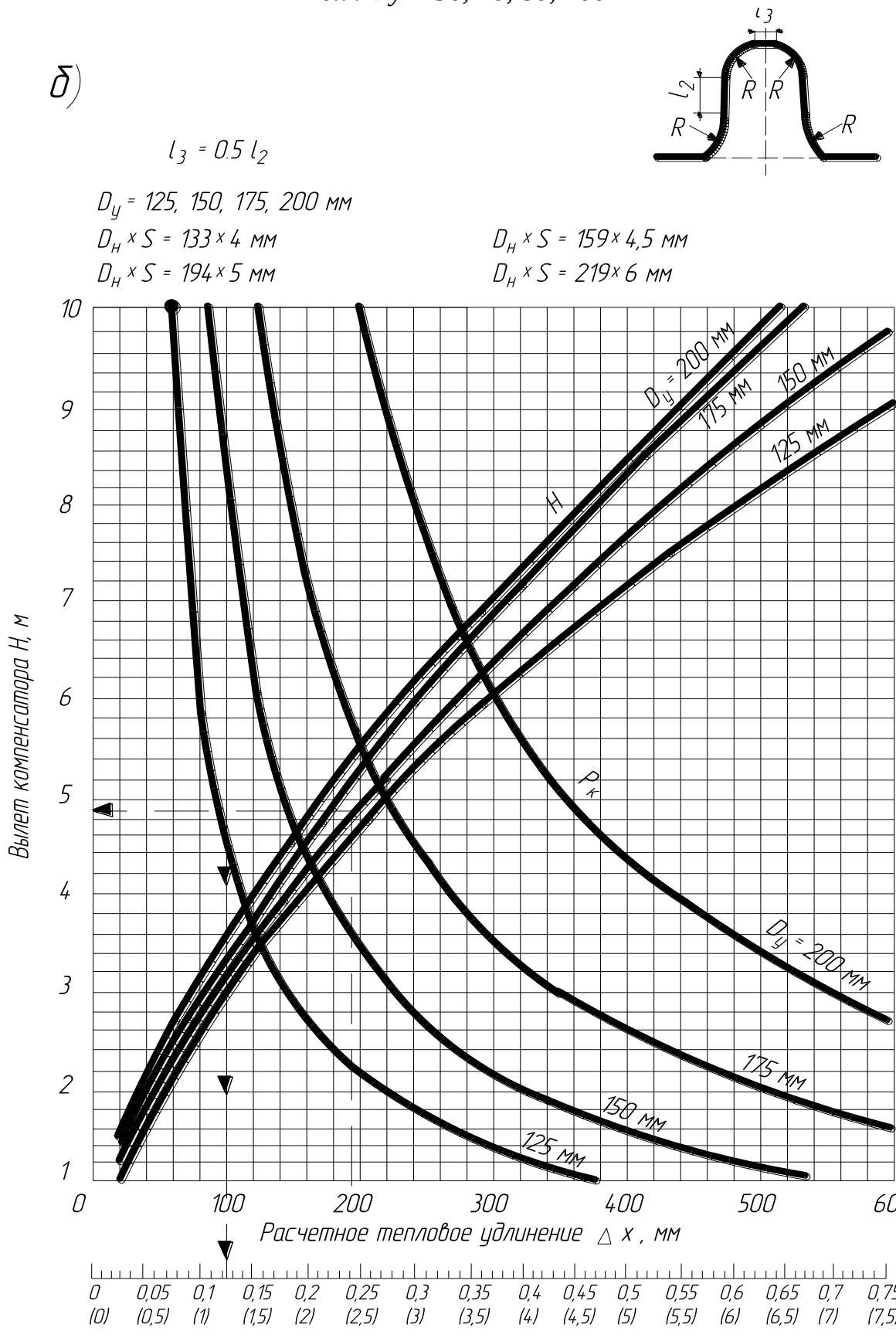


Рис 2 приложения 14. Номограммы для подбора п-образных компенсаторов.

для Dy = 125, 150, 175, 200м

Приложение 15. Технические характеристики труб и отводов

Условный диаметр труб D_y, мм	Наружный диаметр труб D_y, мм	Внутренний диаметр труб $D_{вн}$, мм	Толщина стенки трубы, мм	Площадь сечения стенки, см^2	Момент инерции I, см^4	Момент сопротивления W, см^3	Радиус гнутья гладких отводов R, мм	Условный радиус сварных отводов R, мм	$h=\frac{\delta R}{r_{ср}^2}$		Коэффициент Кармана k		Коэффициент концентрации напряжений m_1	
									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	08	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	1400	12	531	1316000	18540	-	1450	-	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

Приложение 16. Опоры в тепловых сетях.

16.1. Неподвижные опоры трубопроводов тепловых сетей.

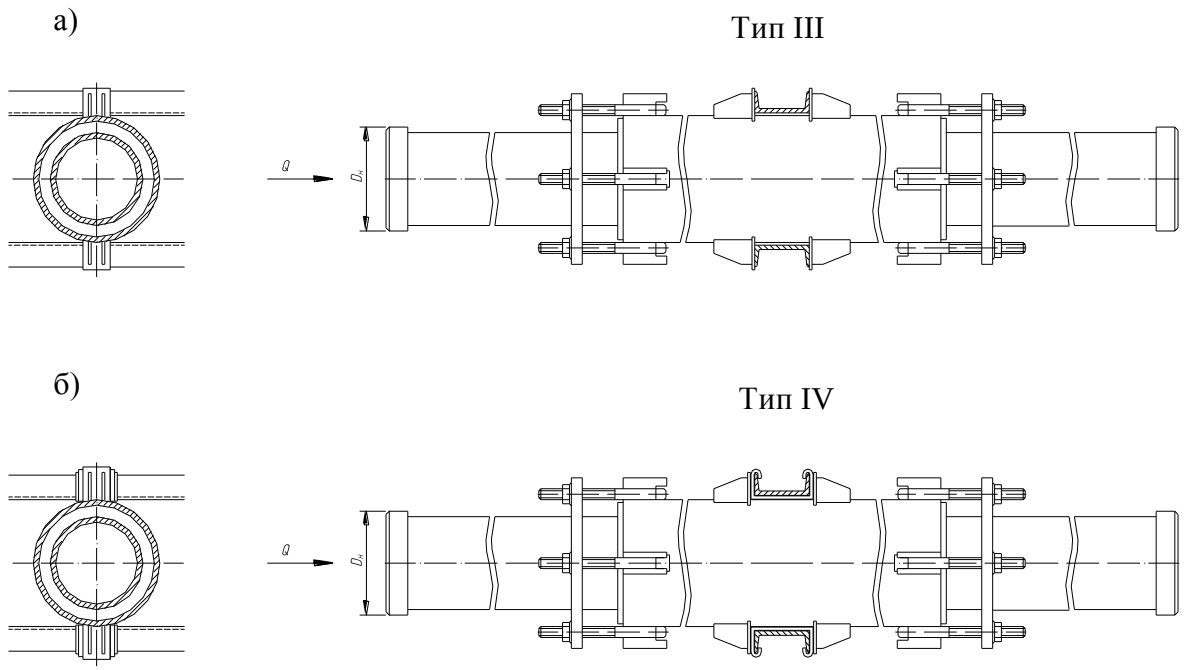


Рис. 1 приложения 16. Опоры неподвижные лобовые для сальниковых компенсаторов $D_н$ 530÷820: а) обыкновенные, б) с защитой от электрокоррозии

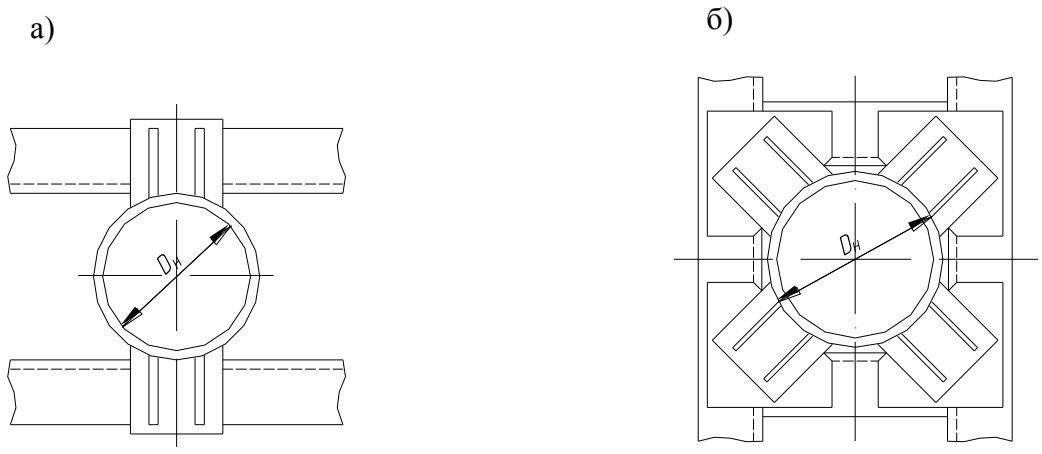


Рис. 2 приложения 16. Опоры неподвижные лобовые: а) двухупорные для трубопроводов $D_н$ 108-1420 мм; б) четырехупорные для трубопроводов $D_н$ 133-1420 мм.

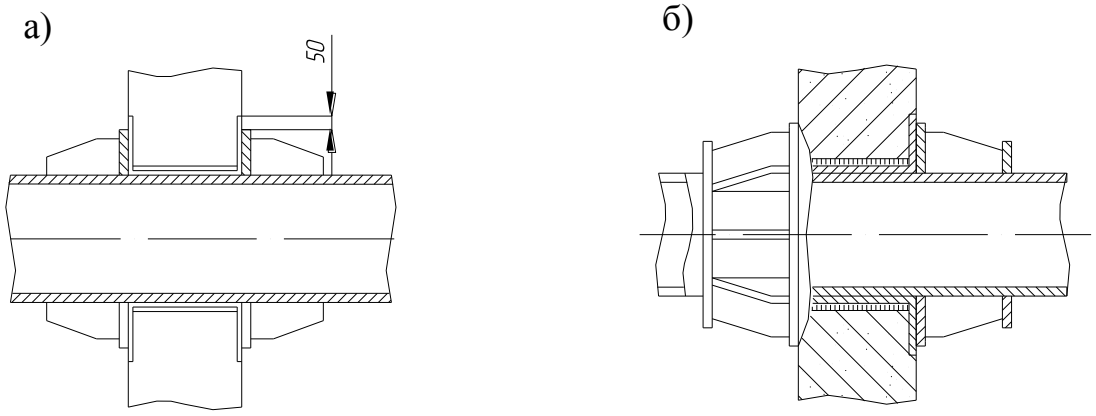


Рис. 3 приложения 16. Опоры неподвижные щитовые для трубопроводов $D_н$ 108-1420 мм тип III с защитой от электрокоррозии: а) обыкновенные; б) усиленные

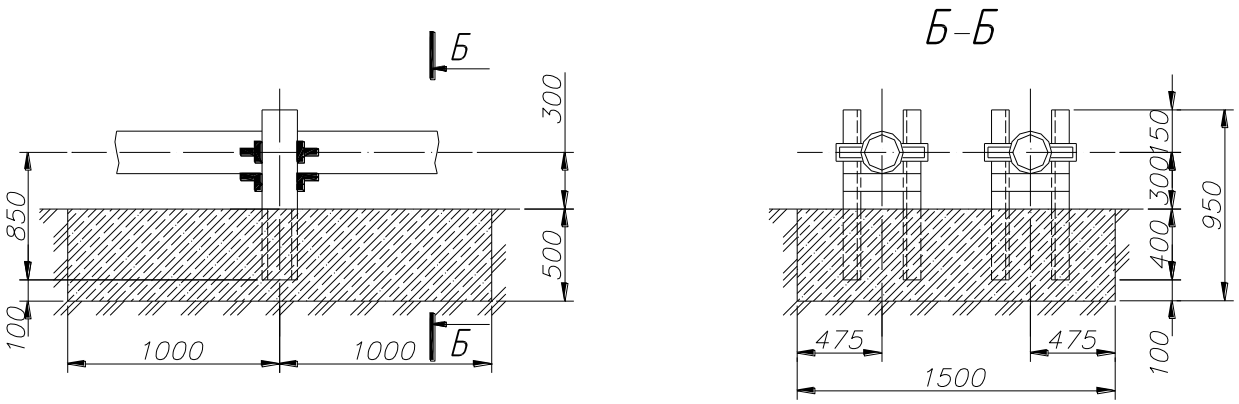
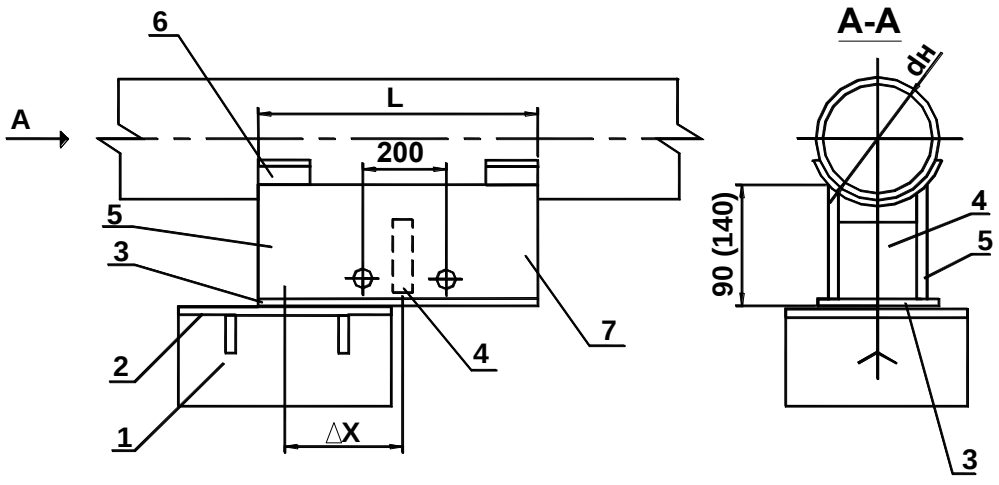


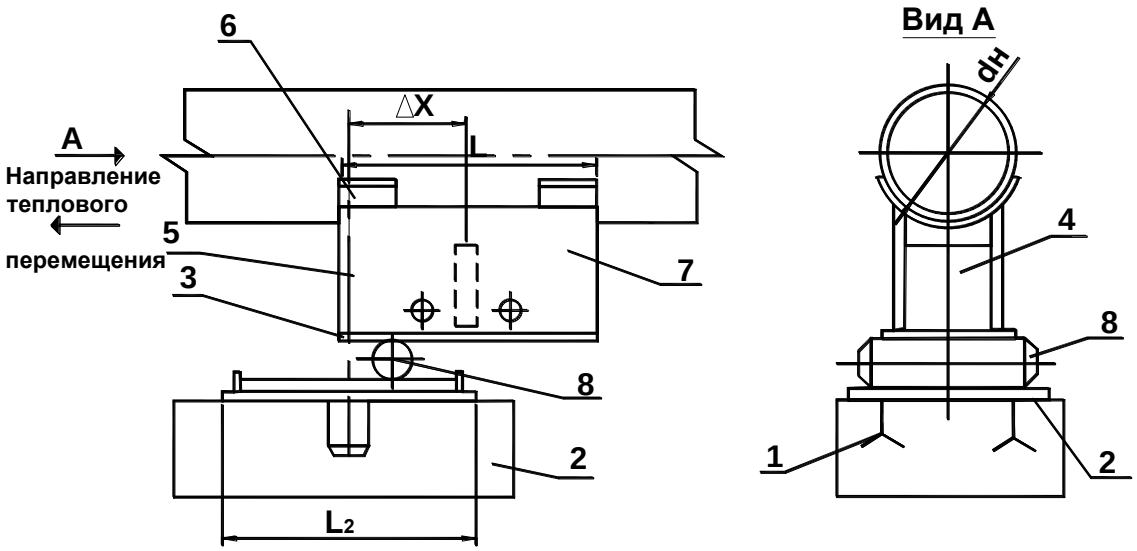
Рис. 4 приложения 16. Неподвижная отдельно стоящая опора для труб $D_у$ 80-200 мм. (подвальная).

16.2. Подвижные опоры трубопроводов тепловых сетей.

а)



б)



в)

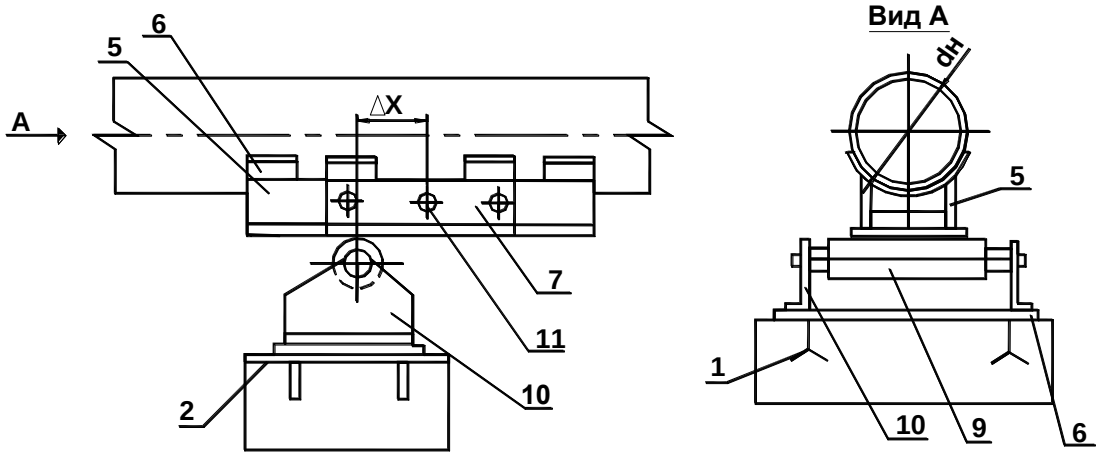


Рис. 5. Опоры подвижные:
а - скользящая подвижная опора; б – катковая; в – роликовая;
1 – лапа; 2 – опорная плита; 3 – основание; 4 – ребро; 5 – ребро боковое;
6 – подушка; 7 – монтажное положение опоры; 8 – каток; 9 – ролик;
10 – кронштейн; 11 – отверстия.

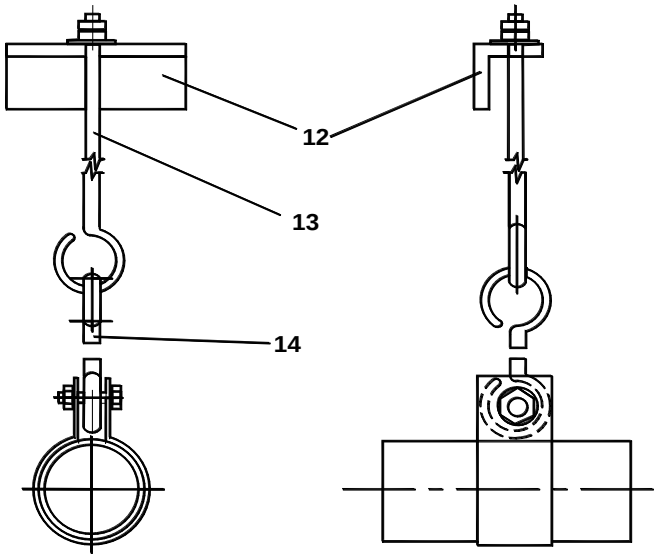


Рис. 6. Подвесная опора:
12 – кронштейн; 13 – подвесной болт; 14 – тяга.

Приложение 17. Коэффициенты трения в подвижных опорах

Тип опор	Коэффициент трения (сталь по стали)	
	μ_x	μ_y
Скользящая	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.

а) б)

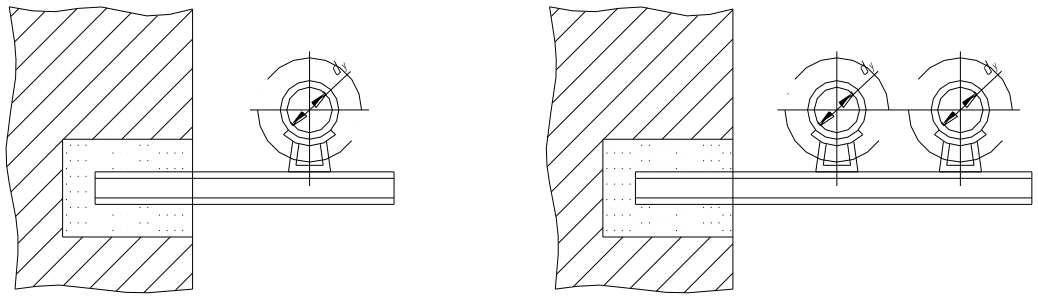


Рис. 1 приложения 18. Прокладка трубопроводов на кронштейнах: а) для одной трубы; б) для двух труб.

Бесканальная прокладка

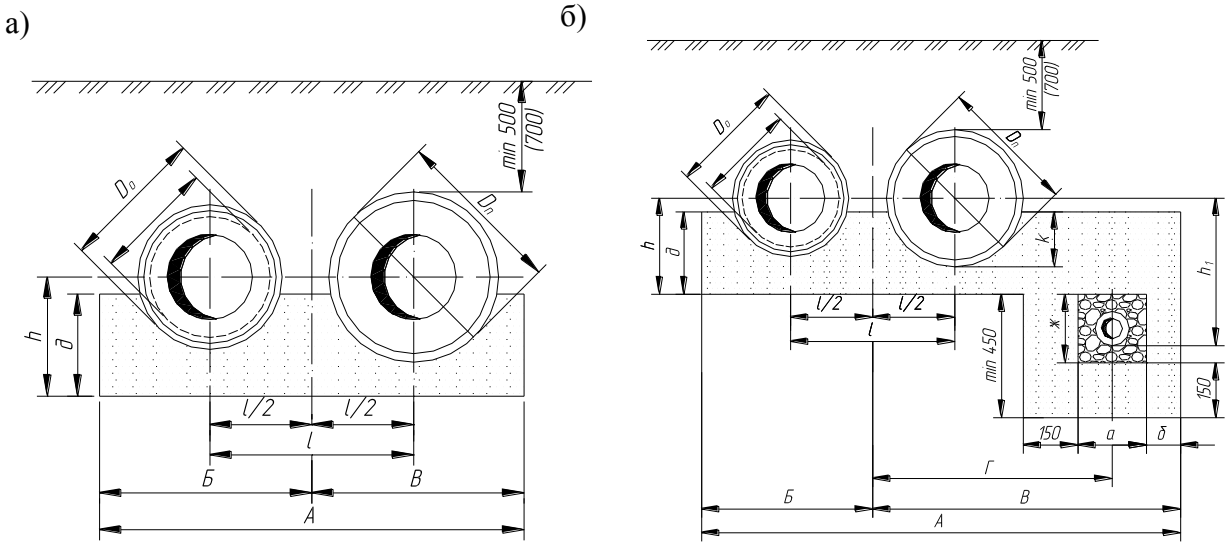


Рис. 2 приложения 18. Бесканальная прокладка тепловых сетей: а) в сухих грунтах; б) в мокрых грунтах с попутным дренажем.

Таблица 1 приложения 18. Конструктивные размеры бесканальной прокладки теплосетей в армопенобетонной изоляции в сухих грунтах (без дренажа).

$D_у$, мм	$D_н$, (с покров-ным слоем)		Размеры по альбому серии 903-0-1												
	$D_п$	$D_о$	*А*	*Б*	*В*	*l*	*k*	*Г*	*h*	h_1, не менее	*д*	*а*	*б*	*Л*, не менее	*ж*
50 65	255	255	1150	650 550	600	350	100		280		250				
80 100 125	307 307 359	255 307 307	1150 1250 1350	550 600 650	600 650 700	350 400 500	150		310 310 330		300				
150 200 250	359 456 510	359 409 456	1350 1500 1600	650 700 750	700 800 850	500 550 600		-	380 430 460	-	350	-	-	-	-
300 350	570 620	520 570	1800 2000	900 1000	900 1000	650 700	200		480 510		400				
400 450 500	670 720 760	620 670 720	2100 2300 2400	1050 1150 1200	1050 1150 1200	800 900 1000	250		530 560 580		450				

Таблица 2 приложения 18. Конструктивные размеры бесканальной прокладки теплосетей в армопенобетонной изоляции в мокрых грунтах (с дренажем)

$D_у$, мм	$D_н$, (с покровным слоем)		Размеры по альбому серии 903-0-1												
	$D_п$	$D_о$	*А*	*Б*	*В*	*l*	*k*	*Г*	*h*	h_1, не менее	*д*	*а*	*б*	*Л,* не менее	*ж*
50	255	255	1600	550	1050	350	150	700	330	530	350	300	200	450	300
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		750	360	550					
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					
300	570	520	2400	900	1500	650	200	1050	580	780	500	500		500	550
350	620	570	2550	1000	1550	700		1100	610	810					
400	670	620	2650	1050	1600	800	250	1150	630	830	550				
450	720	670	2850	1150	1700	900		1250	660	860					
500	760	720	2950	1200	1750	1000		1300	680	880					

Канальная прокладка.

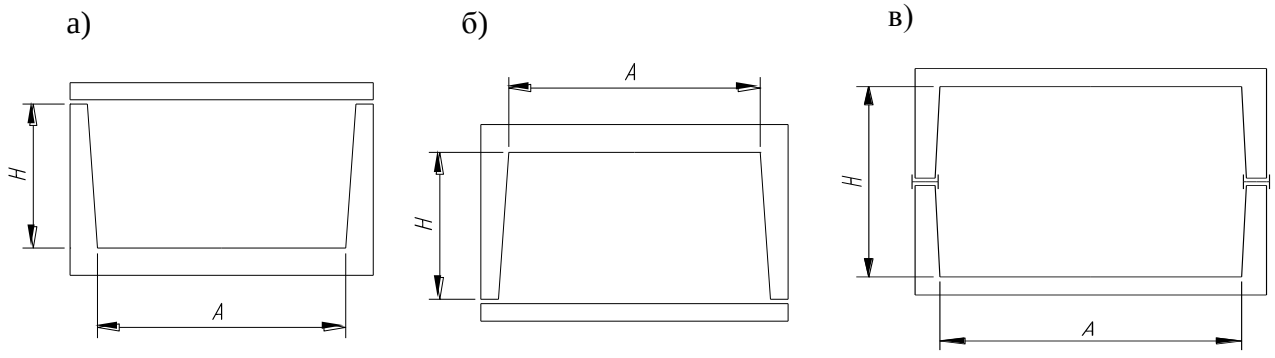


Рис. 2 приложения 18. Сборные каналы для тепловых сетей: а) тип КЛ; б) тип КЛп; в) тип КЛс.

Таблица 3 приложения 18. Основные типы сборных железобетонных каналов для тепловых сетей.

<table>
<tr><td rowspan="3">Условный диаметр трубопровода D_y, мм</td><td rowspan="3">Обозначение (марка) канала</td><td colspan="4">Размеры канала, мм</td></tr>
<tr><td colspan="2">Внутренние номинальные</td><td colspan="2">Наружные</td></tr>
<tr><td>Ширина A</td><td>Высота H</td><td>Ширина A</td><td>Высота H</td></tr>
<tr><td>25-50
70-80</td><td>КЛ(КЛп)60-30
КЛ(КЛп)60-45</td><td rowspan="2">600</td><td>300
450</td><td rowspan="2">850</td><td>440
600</td></tr>
<tr><td>100-150</td><td>КЛ(КЛп)90-45
КЛ(КЛп)60-60</td><td>900
600</td><td>450
600</td><td>1150
850</td><td>630
750</td></tr>
<tr><td>175-200
250-300</td><td>КЛ(КЛп)90-60
КЛ(КЛп)120-60</td><td>900
1200</td><td rowspan="2">600</td><td>1150
1450</td><td rowspan="2">780</td></tr>
<tr><td>350-400</td><td>КЛ(КЛп)150-60
КЛ(КЛп)210-60</td><td>900
1200</td><td>1800
2400</td></tr>
<tr><td>450-500</td><td>КЛс90-90
КЛс120-90
КЛс150-90</td><td>900
1200
1500</td><td>900
900</td><td>1060
1400
1740</td><td>1070
1070</td></tr>
<tr><td>600-700</td><td>КЛс120-120
КЛс150-120
КЛс210-120</td><td>1200
1500
2100</td><td>12000</td><td>1400
1740
2380</td><td>1370
1470
1470</td></tr>
</table>

Приложение 19. Насосы в системах теплоснабжения.

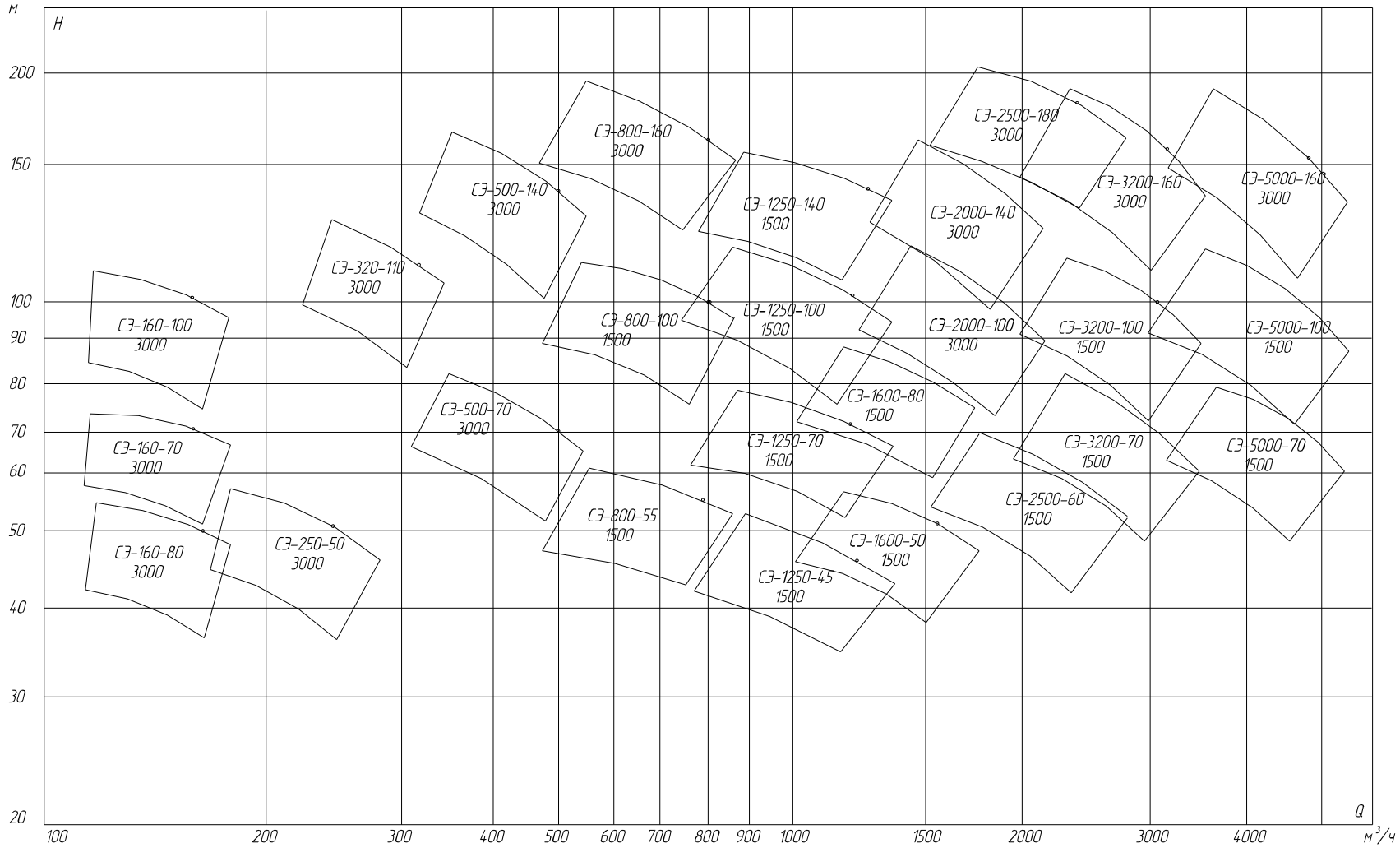


Рис. 1 приложения 19. Поле характеристик сетевых насосов.

Таблица 1 приложения 19. Основные технические характеристики сетевых насосов.

Тип насоса	Подача, $м^3/с$ ($м^3/ч$)	Напор, м	Допустимый кавитационный запас, м., не менее	Давление на входе в насос, МПа(кгс/$см^2$) не более	Частота вращения (синхронная), 1/с(1/мин)	Мощность, кВт	К. п. д., %, 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		-
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	(120)	-
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

Таблица 2 приложения 19. Центробежные насосы типа К.

Марка насоса	Производи-тельность, $м^3/ч$	Полный напор, м	Частота вращения колеса, об/мин	Рекомендуе-мая мощность электродвига-теля, 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

Приложение 20. Запорная арматура в системах теплоснабжения.

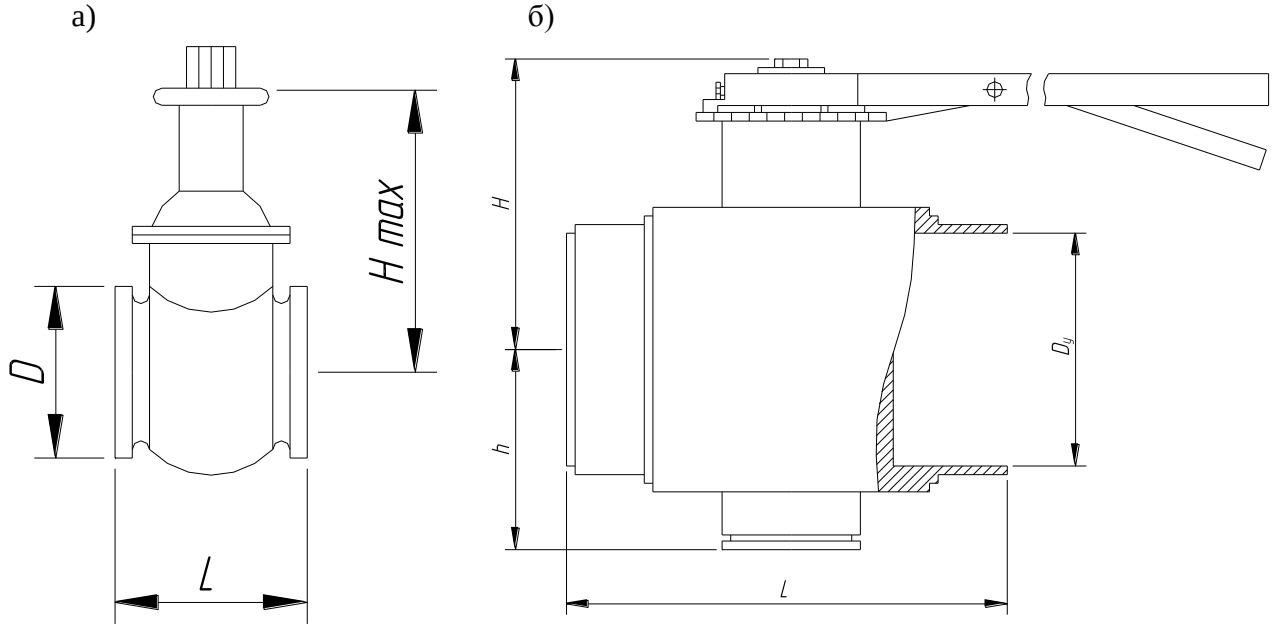


Рис. 1 приложения 20. Запорная арматура в тепловых сетях: а) задвижка; б) затвор.

Таблица 1приложения 20. Стальные поворотные дисковые затворы с ручным управлением D_y 200-400 мм на p_y=2,5 МПа, t≤200°С с концами под приварку.

Условный приход 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

Таблица 2 приложения 21.Стальные поворотные дисковые затворы с электроприводом D_y 500-1400 мм на p_y=2,5 МПа, t≤200°С с канцами под приварку.

Условный приход D_y, мм	Размеры, мм			Электродвигатель		Время открытия или закрытия затвора	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	1000	500	4АСТ005493 или АОЛС2-31-4УЗ	3,2 или 3	66	1480
1000	800	1200	640			86	1750
1200	850	1265	745	4АС13254 или АОС2-42-4УЗ	8,5	80	2580
1400	1000	1305	895		7,5	80	3500

Таблица 3 приложения 20. 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 с концами 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		
30с64нж (ПФ-11010-00)	100	2,5	225	2,5	225	Фланцевое и с концами под приварку	Сталь
30с76нж	50, 80, 100, 125, 150, 200, 250/200	6,4	300	6,4	300	Фланцевое	Сталь
30с97нж (ЗЛ11025Сп 1)	150, 200, 250	2,5	300	2,5	300	Фланцевое и с концами 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 с концами под приварку	Сталь
30с964нж	1000/800	2,5	300	2,5	300		

Таблица 4 приложения 20. Допускаемые задвижки

Обозначение задвижки	Условный приход 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	

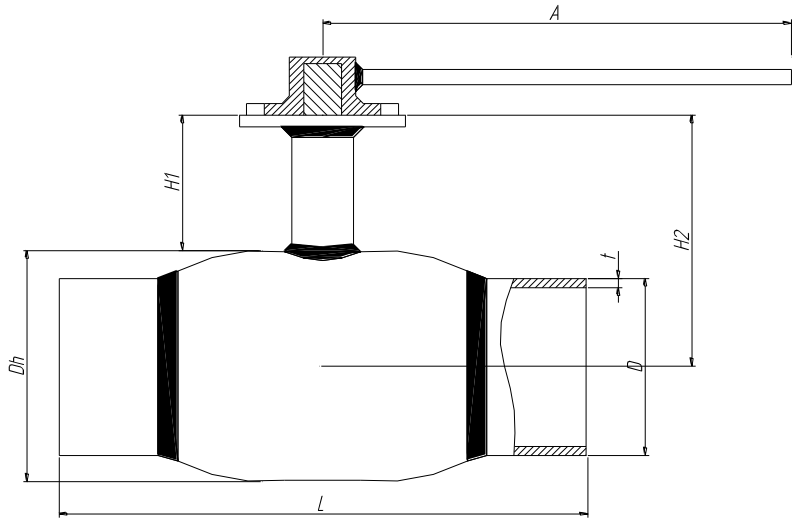


Рис. 2 приложения 20. Шаровые краны в системах теплоснабжения.

Таблица 5 приложения 20. Технические данные шаровых кранов.

Условный диаметр	Проходной условный диаметр	Dh, мм	d, мм	t, мм	L, мм	H1	H2	A	Масса в 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	63	970	166,5	522	-	610,0

Примечание: корпус крана – сталь Ст. 37. 0; шар – нержавеющая сталь; седло шара и сальник –тефлон +20 % углерода; уплотнительные кольца – тройной этилен-пропиленовый каучук и витон.

Приложение 21. Соотношение между некоторыми единицами физических величин, подлежащими замене, с единицами СИ.

Таблица 1 приложения 21.

Наименование величин	Единица				Соотношение с единицами СИ
	подлежащая замене		СИ		
	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	
количество теплоты	килокалория	ккал	килоджоуль	КДж	4.19 кДж
удельное количество теплоты	килокалория на килограмм	ккал/кг	килоджоуль на килограмм	КДж/кг	4.19кДж/кг
тепловой поток	килокалория в час	ккал/ч	ватт	Вт	1.163 Вт
(мощность)	гигакалория в час	Гкал/ч	мегаватт	МВт	1.163 МВт
поверхностная плотность теплового потока	килокалория в час на квадратный метр	ккал/(ч $м^2$)	ватт на квадратный метр	$Вт/м^2$	1.163 $Вт/м^2$
объемная плотность теплового потока	килокалория в час на кубический метр	ккал/(ч $м^3$)	ватт на кубический метр	$Вт/м^3$	1.163 $Вт/м^3$
теплоемкость	килокалория на градус Цельсия	ккал/°С	килоджоуль на градус Цельсия	КДж/°С	4.19 кДж
удельная теплоемкость	килокалория на килограмм градус Цельсия	ккал/(кг° С)	килоджоуль на килограмм градус Цельсия	КДж/(кг° С)	4.19кДж/(кг° С)
теплопроводность	килокалория на метр час градус Цельсия	ккал/(м ч°С)	ватт на метр градус Цельсия	Вт/(м °С)	1.163Вт/(м °С)

Таблица 2 Соотношения между единицами измерения системы МКГСС и международной системы единиц СИ.

Энергия	1 ккал = 4,187кДж
Сила	1 кгс = 9,81Н
Удельный вес	1 кгс/м^3 = 9,81Н/м^3
Плотность	1 кгс·с^2/м^4 = 9,81 кг/м^3
Теплоемкость	1 ккал/(кгс·^{o}С) = 4,187кДж/(кг·^{o}С)
Энтальпия	1 ккал/кгс = 4,187кДж/ кг
Тепловой поток	1 ккал/ч = 1,163Вт
Коэффициент излучения	1 ккал/(м^2·ч·К^4) = 1,163 Вт/(м^2·ч·К^4)

Таблица 3. Соотношение между единицами измерений

Единицы измерений	Па	бар	мм. рт. ст	мм. вод. ст	кгс/см^2	Lbf/in^2
Па	1	10^{-6}	$7{,}5024\cdot10^{-3}$	0,102	$1{,}02\cdot10^{-6}$	$1{,}45\cdot10^{-4}$
бар	10^5	1	$7{,}524\cdot10^2$	$1{,}02\cdot10^4$	1,02	14,5
мм рт ст	133,322	$1{,}33322\cdot10^{-3}$	1	13,6	$1{,}36\cdot10^{-3}$	$1{,}934\cdot10^{-2}$
мм вод ст	9,8067	$9{,}8067\cdot10^{-5}$	$7{,}35\cdot10^{-2}$	1	$\cdot10^{-4}$	$1{,}422\cdot10^{-3}$
кгс/см^2	$9{,}8067\cdot10^4$	0,98067	$7{,}35\cdot10^2$	10^4	1	14,223
Lbf/in^2	$6{,}8948\cdot10^3$	$6{,}8948\cdot10^{-2}$	52,2	$7{,}0307\cdot10^2$	$7{,}0307\cdot10^{-2}$	1

Литература

1. СНиП 23-01-99 Строительная климатология/Госстрой России.- М.: 2000.-66 с.
2. СНиП 41-02-2003. ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ. ГОССТРОЙ РОССИИ. МОСКВА. 2003
3. СНиП 2.04.01.85*. Внутренний водопровод и канализация зданий/Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1999.-60 с.
4. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. ГОССТРОЙ РОССИИ. МОСКВА 2003
5. СП 41-103-2000. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ. ГОССТРОЙ РОССИИ. МОСКВА 2001
6. Проектирование тепловых пунктов. СП 41-101-95. Минстрой России – М.: ГУП ЦПП, 1997 – 79 с.
7. ГОСТ 21.605-82. Сети тепловые. Рабочие чертежи. М.: 1982-10 с.
8. 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.
9. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей.: Справочник / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж и др. - изд., 3-е переработ. и доп.- М.: Стройиздат, 1988. - 432 с.
10. Справочник проектировщика под ред. А.А.Николаева. – Проектирование тепловых сетей.-М.: 1965-360с.
11. Малышенко В.В., Михайлов А.К..Энергетические насосы. Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1981.-200с.
12. Лямин А.А., Скворцов А.А.. Проектирование и расчет конструкций тепловых сетей -Изд. 2-е.- М.: Стройиздат, 1965. - 295 с
13. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. -Изд. 2-е.- М.: Энергоатомиздат, 1986.-320с.
14. Справочник строителя тепловых сетей. / Под ред. С.Е. Захаренко.- Изд. 2-е.- М.: Энергоатомиздат, 1984.-184с.