Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Клочков Юрий Сергеевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 15.10.2026 14:55:22
Уникальный программный ключ:
3beb265d5d589e7ff4c954946f3ad99a1e70ac12

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

О. А. Степанов, Е. О. Антонова, Н. В. Рыдалина

ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ПРИМЕРАХ И ЗАДАЧАХ

Учебное пособие

Тюмень
ТИУ
2021

УДК 621.438 (075.8)
ББК 39.15я73
С 794

Рецензент:
доктор физико-математических наук, профессор
Б. Г. Аксенов

Степанов, О. А. Источники и системы теплоснабжения в примерах и задачах: учебное пособие / О. А. Степанов, Е. О. Антонова, Н. В. Рыдалина. – Тюмень: ТИУ, 2020. – 89 с. – Текст: непосредственный.

С 794

ISBN 978-5-9961-2422-0

Учебное пособие содержит необходимые теоретические, методические и практические сведения, являющиеся основой для проведения лекционных, практических занятий, решения курсовой работы (проекта), для организации самостоятельной работы обучающихся, а также для написания выпускной квалификационной работы бакалавра и магистра.

В учебном пособии приводятся схемы систем теплоснабжения. Представлена методика расчета тепловых нагрузок, а также гидравлического расчета систем теплоснабжения. Рассмотрены примеры расчета тепловых нагрузок, а также гидравлический расчет системы теплоснабжения. Приведена методика и пример механического расчета системы теплоснабжения. С целью систематизации знаний в конце каждой главы приводятся вопросы для проверки усвоенного материала. Пособие содержит задание на выполнение курсовой работы (проекта).

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника». Может быть полезен аспирантам, магистрам, а также инженерно-техническим работникам.

УДК 621.438 (075.8)
ББК 39.15я73

ISBN 978-5-9961-2422-0

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ 7

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК РАЙОНА ГОРОДА. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ РАСХОДА ТЕПЛОТЫ 7
2.1 Пример определения расчетных тепловых потоков на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение 4 кварталов района города 12
2.2 Пример расчета и построения графиков часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, а также годовых графиков теплопотребления по продолжительности тепловой нагрузки и по месяцам 14

3. РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ В ЗАКРЫТЫХ И ОТКРЫТЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ 20
3.1 Регулирование отпуска теплоты в закрытых системах теплоснабжения 20
3.2 Пример расчета и построения графика центрального качественного регулирования отпуска теплоты в закрытых системах теплоснабжения по отопительной нагрузке (отопительно-бытовой график) 23
3.3 Пример расчета и построения графика центрального качественного регулирования отпуска теплоты в закрытых системах теплоснабжения по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (повышенный температурный график) 27
3.4 Регулирование отпуска теплоты в открытых системах теплоснабжения 30
3.5 Пример расчета и построения графика центрального качественного регулирования отпуска теплоты в открытых системах теплоснабжения по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (скорректированный температурный график) 32

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ 38
4.1 Закрытые системы теплоснабжения 38
4.2 Пример расчета расходов теплоносителей для закрытой системы теплоснабжения 39
4.3 Открытые системы теплоснабжения 41
4.4 Пример расчета расходов теплоносителей для открытой системы теплоснабжения 42

5. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ 45
5.1 Пример составления расчетной схемы для проведения гидравлического расчета 47

6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ 48
6.1 Пример гидравлического расчета закрытой системы теплоснабжения 52
6.2 Пример подбора сетевых и подпиточных насосов для закрытой системы теплоснабжения 60

7. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ 64
7.1 Пример расчета сальниковых компенсаторов 65
7.2 Пример расчета сильфонного компенсатора 68

8. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ... 71
8.1 Пример теплового расчета для бесканального способа прокладки теплопроводов. Определение эффективности тепловой изоляции 77
8.2 Пример теплового расчета для бесканального способа прокладки теплопроводов. Определение толщины слоя изоляции 82

9. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ (ПРОЕКТ) 86
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 88

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие предназначено для самостоятельного изучения дисциплины «Источники систем теплоснабжения» и выполнения курсового проекта (курсовой работы) по дисциплине «Источники и системы теплоснабжения» обучающимися направления подготовки 13.03.01 «Теплотехника и теплоэнергетика» профиля «Промышленная теплоэнергетика» всех форм подготовки.

При изучении основ теории и выполнении расчета у учащихся формируются следующие компетенции, в соответствии с рабочей программой дисциплины:

ПКС-4 - способность выполнять прочностной и гидравлический расчет тепловых сетей с учетом компенсации и самокомпенсации , а также выполнять планы и профили тепловых сетей;

ПКС-9 - способность к разработке схем размещения ОПД в соответствии с технологией производства

При изучении курса и выполнении курсового проекта (работы) решаются следующие задачи:

- определение теплопотребления района города;
- расчет и построение графиков часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение района города в зависимости от температуры наружного воздуха, а также графика годового расхода теплоты по продолжительности стояния температур наружного воздуха для жилого района города;
- расчет и построение графика годового графика теплопотребления по месяцам;
- расчет и построение графиков центрального качественного регулирования отпуска теплоты;
- определение расходов сетевой воды и гидравлический расчет сетей;
- построения пьезометрического графика;
- подбор основного оборудования источники теплоты и ЦТП;
- тепловой расчет изоляционной конструкции;
- расчет компенсации тепловых удлинений трубопроводов, механический расчет компенсаторов.

Курсовой проект (работа) состоит из расчетно-пояснительной записки объемом 40-50 страниц и графической части, включающей два листа формата А1.

Пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

1. исходные данные, описание системы теплоснабжения;
2. определение тепловых нагрузок города;
3. регулирование отпуска теплоты;
4. определение расчетных расходов теплоносителей в тепловых сетях;
5. гидравлический расчет водяных тепловых сетей;

6. построение пьезометрического графика;
7. подбор сетевых и подпиточных насосов источника теплоснабжения;
8. тепловой расчет изоляционной конструкции;
9. расчет компенсации тепловых удлинений теплопроводов;
10. механический расчет компенсаторов.

В записке должен быть представлен следующий графический материал:

1. график часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение в зависимости от температуры наружного воздуха;
2. график годового расхода теплоты по продолжительности стояния температур наружного воздуха;
3. график годового теплопотребления по месяцам;
4. график центрального регулирования отпуска теплоты:
5. расчетная схема тепловой сети;
6. пьезометрический график;
7. конструкция тепловой изоляции и прокладка тепловой сети.

Для выполнения курсового проекта (работы) исходными данными являются:

1. генплан района города;
2. географическое положение города;
3. расчетные температуры теплоносителя в прямом и обратном теплопроводах;
4. вид системы теплоснабжения (открытая, закрытая);
5. тип прокладки тепловых сетей (канальная, бесканальная);
6. конструкция тепловой изоляции;
7. характеристика грунта (сухой, маловлажный, влажный);
8. этажность застройки.

Для заданного города по [5] принимаем следующие климатологические данные:

- расчетную температуру наружного воздуха для проектирования отопления (средняя наиболее холодной пятидневки) t_0, ^{0}C;
- продолжительность стояния температур наружного воздуха с интервалом в 5^0C в течение отопительного периода n_0; среднемесячные температуры наружного воздуха;
- среднегодовую температуру грунта на глубине вероятной прокладки теплопроводов.

Для закрепления изученного материала в конце каждого раздела приводятся контрольные вопросы, которые могут быть использованы для подготовки к защите курсового проекта (работы).

1. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

При описании системы теплоснабжения необходимо охарактеризовать основные ее элементы - источник теплоты, тепловую сеть, потребителей теплоты. Кроме того, необходимо отметить преимущества и недостатки воды в качестве теплоносителя, а также сделать описание закрытых и открытых систем теплоснабжения. Привести принципиальную схему приготовления воды для горячего водоснабжения. При описании закрытых и открытых систем теплоснабжения следует пользоваться учебным и справочным материалом, приведенным в [1, 2, 3, 5].

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК РАЙОНА ГОРОДА. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКОВ РАСХОДА ТЕПЛОТЫ.

Расчетные тепловые потоки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение (ГВС) определяют для каждого квартала города по укрупненным показателям согласно [4].Предварительно определяется число жителей квартала по формуле:

$$m = P \cdot F_{KB}\,, \tag{2.1}$$

где P – плотность населения чел/га, $F_{КВ}$ – площадь квартала, га.

Плотность населения определяется по таблице 2.1

Таблица 2.1

Допустимые показатели плотности застройки с учетом ее размещения в различных планировочных зонах поселений

Тип городских поселений	Зоны поселений					
	Центральная		Срединная		Периферийная	
	Плотность населения, чел/га.	Плотность жилищного фонда, м^2/га	Плотность населения, чел/га.	Плотность жилищного фонда, м^2/га	Плотность населения, чел/га.	Плотность жилищного фонда, м^2/га
Крупнейшие	св. 350 до 400 включ.	7000 – 8000 / 8750-10000	180-350	3600-7000 / 4500-8750	180	3600 / 4500
Крупные и большие	св. 300 до 350 включ.	6000 – 7000 / 7500-8750	150-300	3000-6000 / 3750-7500	150	3000 / 3750
Средние и малые	от 200 до 300 включ.	4000 – 6000 / 5000-7500	100-200	2000-4000 / 2500-5000	100	2000 / 2500

Примечание. В числителе плотность жилищного фонда приводится при обеспеченности жильем 20м^2 общей площади/чел., в знаменателе – 25 м^2 общей площади/чел.

Далее необходимо определить общую площадь жилых зданий кварталов по формуле:

$$A = f_{ОБЩ} \cdot m, \qquad (2.2)$$

где $f_{общ}$ – норма жилой площади м^2/чел., m – количество жителей кварталов.

Максимальный тепловой поток, Вт, на отопление жилых и общественных зданий, определяется по формуле:

$$Q_{0\max} = q_0 \cdot A \cdot (1 + K_1), \qquad (2.3)$$

где q_o – укрупненный показатель максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1м^2 жилой площади; А – общая площадь жилых зданий, м^2; $К_1$ – коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий; при отсутствии данных следует принимать $К_1$ = 0,25.

Укрупненный показатель максимального теплового потока на отопление жилых зданий определяется из таблицы 2.2.

Максимальный тепловой поток на вентиляцию общественных зданий, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{V\max} = K_1 \cdot K_2 \cdot A \cdot q_0, \qquad (2.4)$$

где $К_2$ – коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию общественных зданий; при отсутствии данных следует принимать: для общественных зданий, построенных до 1985 г., $К_1$=0,4; после 1985 г. $К_2$ = 0,6.

Средний тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий, определяется по формуле:

$$Q_{hm} = q_h \cdot m \quad , \qquad (2.5)$$

где q_h – укрупненный показатель среднего теплового потока на горячее водоснабжение на одного человека, принимаемый по таблице 2.3.

Таблица 2.2

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

Этажность жилой застройки	Характеристика зданий	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, t_o, ^{0}C										
		-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

Окончание таблицы 2.2

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	90	95	100	102	108

Примечания:

1. Энергосберегающие мероприятия обеспечиваются проведением работ по утеплению зданий при капитальных и текущих ремонтах, направленных на снижение тепловых потерь.

2. Укрупненные показатели зданий по новым типовым проектам приведены с учетом внедрения архитектурно-планировочных решений и применения строительных конструкций с улучшенными теплофизическими свойствами, обеспечивающими снижение тепловых потерь.

Таблица 2.3

Укрупненные показатели среднего теплового потока q_h, Вт, на горячее водоснабжение

Средняя за отопительный период норма расхода воды при температуре 55^0С на горячее водоснабжение в сутки на 1 чел., проживающего в здании с горячим водоснабжением, л	На одного человека, проживающего в здании		
	с горячим водоснабжением	С горячим водоснабжением с учетом потребления в общественных зданиях	Без горячего водоснабжения с учетом потребления в общественных зданиях
85	247	320	73
90	259	332	73
105	305	376	73
115	334	407	73

Максимальный тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий определяется по формуле:

$$Q_{h\max} = 2{,}4 \cdot Q_{hm} \ , \qquad (2.6)$$

После определения расчетного теплопотребления приступают к построению графиков часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. По оси абсцисс графика откладываем температуру наружного воздуха от температуры проектирования системы отопления t_0 до температуры начала отопительного периода $t_H = +8^0$С, а по оси

ординат - часовые расходы теплоты. Расход теплоты на отопление и вентиляцию линейно зависят от температуры наружного воздуха. Поэтому графики $Q_0 = f(t_H)$ и $Q_v = f(t_H)$ строят по двум точкам: при температуре наружного воздуха начала отопительного сезона $+8^0$С, и при температуре проектирования системы отопления t_o. Для этого используют формулы пересчета:

$$Q_o^{t_H} = \frac{Q_{o\max} \cdot (t_i - t_H)}{t_i - t_o}; \qquad Q_v^{t_H} = \frac{Q_{v\max} \cdot (t_i - t_H)}{t_i - t_o} \ , \tag{2.7}$$

где t_i – средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий (для жилых и общественных зданий равно 18^0С); t_H – температура наружного воздуха; при расчете принимают значения: $t_H = +8^0$С; $t_H = t_o$.

Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение является круглогодичной, не зависящей от температуры наружного воздуха. Поэтому график часового расхода теплоты на горячее водоснабжение представляет собой прямую, параллельную оси абсцисс, но с разными значениями ординат для отопительного и неотопительного периодов. Для отопительного периода ордината графика представляет собой расчетную величину Q_{hm}. Затем по формуле пересчета определим среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение для неотопительного периода, Вт

$$Q_{hm}^s = Q_{hm} \cdot \beta \cdot \frac{55 - t_c^s}{55 - t_c} \ , \tag{2.8}$$

где 55 – температура горячей воды в системе горячего водоснабжения потребителей,^{0}С; t_c –температура холодной воды в отопительный период (в «зимнее время»), принимается равной 5^0С; t_c^s -температура холодной воды в неотопительный период (в «летнее время»),принимается равной 15^0С; β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода горячей воды летом по сравнению с зимним периодом; для жилищно-коммунального сектора β = 0,8; для курортных и южных городов β = 1,5; для промышленных предприятий β = 1,0.

Суммарный график расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение $Q_\Sigma = f(t_H)$ строится путем сложения соответствующих ординат при $t_H = +8^0$С, затем при $t_H = t_o$.

На основании расчета строится график, часть А. (рис.2.1, А).

Далее строится график годового расхода теплоты по продолжительности стояния температур наружного воздуха (рис. 2.1, Б). График по продолжительности стояния температур строится на основании суммарного часового графика $Q_\Sigma = f(t_H)$. Для этого из точек на оси температур (+8; 0; -10; …t_o) 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 полученные точки плавной кривой, получим график по продолжительности тепловой нагрузки за отопительный период n_o. Затем построим график по продолжительности тепловой нагрузки за неотопительный период. Для этого необходимо провести прямую, параллельную оси абсцисс с ординатой, равной тепловой нагрузке на горячее водоснабжение в неотопительный период Q_{hm}^{s} до расчетной продолжительности работы системы теплоснабжения в году, равной 8400 часов.

Для построения годового графика теплового потребления по месяцам по [5] находим среднемесячные температуры воздуха. Затем, с помощью формул пересчета, определяем часовые расходы теплоты на отопление и вентиляцию для каждого месяца со среднемесячной температурой ниже +8°С.

Приведем формулы пересчета:

$$Q_o^{t_H} = Q_{o\max}\left(\frac{t_i - t_H}{t_i - t_o}\right) \tag{2.9}$$

$$Q_V^{t_H} = Q_{V\max}\cdot\left(\frac{t_i - t_H}{t_i - t_o}\right) \tag{2.10}$$

После выполнения расчетов расхода теплоты по месяцам строим график (рис.2.2)

2.1 Пример определения расчетных тепловых потоков на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение 4 кварталов района города

Определить для условий города Тюмени расчетные тепловые потоки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение 4 кварталов района города.

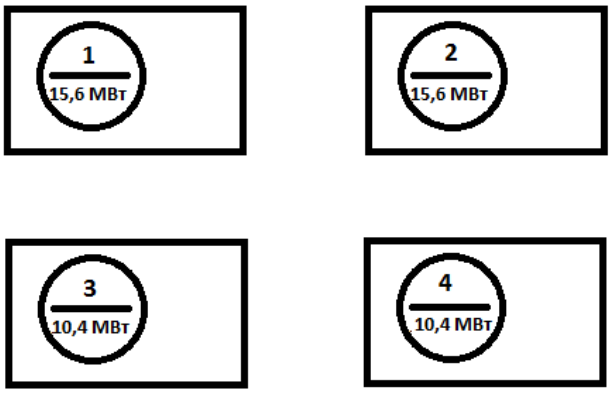


Рис. 2.1. План района города

Исходные данные:

Расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления t_0 = - 35^0С [6] при коэффициенте обеспеченности 0,92. Плотность населения, согласно таблице 2.1 составляет 400 чел/га при норме жилой площади 18 м^2/чел. Средняя за отопительный период норма расхода горячей воды на одного человека а = 115 л/сут.

Решение:

Расчет тепловых потоков сводим в таблицу 2.4. В графы 1,2,3 заносим номера кварталов, их площадь в гектарах, плотность населения.

Количество жителей в кварталах, m, определим по формуле (2.1):

$$m = P \cdot F_{КВ}$$

Для 1 квартала

$$m = 400 \cdot 15 = 6000 чел$$

для 2 квартала

$$m = 400 \cdot 15 = 6000 чел$$

для 3 квартала

$$m = 400 \cdot 10 = 4000 чел$$

Для 4 квартала

$$m = 400 \cdot 10 = 4000 чел$$

Результаты расчета заносим в графу 4 таблицы 2.4

Общая площадь жилы зданий кварталов определяем по формуле (2.2)

$$A = f_{ОБЩ} \cdot m$$

для квартала 1

$$A = 18 \cdot 6000 = 108000 м^2$$

для квартала 2

$$A = 18 \cdot 6000 = 108000 м^2$$

для квартала 3

$$A = 18 \cdot 4000 = 72000 м^2$$

для квартала 4

$$A = 18 \cdot 4000 = 72000 м^2$$

Результаты расчета заносим в графу 5 таблицы 2.4

Для зданий постройки после 1985г. примем по таблице 2.2 величину удельного показателя теплового потока на отопление жилых зданий при t_0 = - 35^0С равной q_0 = 87 Вт/м^2.

Найдем расчетные тепловые потоки на отопление жилых и общественных зданий кварталов по формуле (2.3), где $К_1$ = 1,25:

$$Q_{0\max} = q_0 \cdot A \cdot (1 + K_1)$$

для квартала 1

$$Q_{O\max} = 87 \cdot 108000 \cdot (1 + 0{,}25) = 11745000 Вт = 11{,}75 МВт$$

для квартала 2

$$Q_{O\max} = 87 \cdot 108000 \cdot (1 + 0{,}25) = 11745000 Bm = 11{,}75 MBm$$

для квартала 3

$$Q_{O\max} = 87 \cdot 72000 \cdot 1{,}25 = 7{,}830 MBm$$

для квартала 4

$$Q_{O\max} = 87 \cdot 72000 \cdot 1{,}25 = 7{,}830 MBm$$

Результаты расчета заносим в графу 6 таблицы 2.4

Максимальные тепловые потоки на вентиляцию общественных зданий кварталов определяем по формуле (2.4). Для расчета примем $К_2$ = 0,6:

$$Q_{V\max} = K_1 \cdot K_2 \cdot A \cdot q_0$$

для квартала 1

$$Q_{V\max} = 0{,}25 \cdot 0{,}6 \cdot 87 \cdot 108000 = 1{,}41 MBm$$

для квартала 2

$$Q_{V\max} = 0{,}25 \cdot 0{,}6 \cdot 87 \cdot 108000 = 1{,}41 MBm$$

для квартала 3

$$Q_{V\max} = 0{,}25 \cdot 0{,}6 \cdot 87 \cdot 72000 = 0{,}940 MBm$$

для квартала 4

$$Q_{V\max} = 0{,}25 \cdot 0{,}6 \cdot 87 \cdot 72000 = 0{,}940 MBm$$

Результаты расчета заносим в графу 7 таблицы 2.4

Принимая норму расхода воды на горячее водоснабжение в сутки на человека а=115 л/сут, по таблице 2.3 находим укрупненный показатель среднего теплового потока на горячее водоснабжение q_h = 407 Вт/чел.

Затем определим средние тепловые потоки на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий кварталов по формуле (2.5).

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

для квартала 1

$$Q_{hm} = 407 \cdot 6000 = 2{,}442 MBm$$

для квартала 2

$$Q_{hm} = 407 \cdot 6000 = 2{,}442 MBm$$

для квартала 3

$$Q_{hm} = 407 \cdot 4000 = 1{,}628 MBm$$

для квартала 4

$$Q_{hm} = 407 \cdot 4000 = 1{,}628 MBm$$

Максимальный тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий кварталов определим по формуле:

$$Q_{h\max} = 2{,}4 \cdot Q_{hm} = 2{,}4 \cdot 8{,}14 = 19{,}54 MBm$$

Результаты расчета заносим в графу 8 таблицы 2.4

Суммарное теплопотребление кварталов складывается из расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение (графа таблицы 2.4).

Приведем таблицу 2.4.

Таблица 2.4

Расчет тепловых потоков

№ квартала	Площадь квартала $F_{КВ}$, га	Плотность населения P, чел/га	Количество жителей m,чел.	Общая площадь A, м^2	Тепловой поток, МВт			
					Q_{Omax}, МВт	Q_{Vmax}, МВт	Q_{hm}, МВт	Q_{Σ}, МВт
1	15	400	6000	108000	11,75	1,410	2,442	15,602
2	15	400	6000	108000	11,75	1,410	2,442	15,602
3	10	400	4000	72000	7,830	0,940	1,628	10,398
4	10	400	4000	72000	7,830	0,940	1,628	10,398
Итого:					39,16	4,7	8,14	52

2.2 Пример расчета и построения графиков часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, а также годовых графиков теплопотребления по продолжительности тепловой нагрузки и по месяцам

Для климатических условий г. Тюмени 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.

Исходные данные:

Расчетные тепловые потоки района города, состоящего из 4 кварталов:

- на отопление Q_{omax}= 39,16 МВт
- на вентиляцию Q_{vmax} = 4,7МВт
- на горячее водоснабжение Q_{hm} = 8,14 МВт

Решение:

Определим, используя формулу пересчета (2.7), тепловые потоки на отопление и вентиляцию при температуре +8^{0}С.

$$Q_o^{t_H} = \frac{Q_{o\max} \cdot (t_i - t_H)}{t_i - t_o} = 39.16 \cdot \left(\frac{18-8}{18+35}\right) = 7{,}389 MBm$$

$$Q_v^{t_H} = \frac{Q_{v\max} \cdot (t_i - t_H)}{t_i - t_o} = 4{,}7 \cdot \frac{(18-8)}{(18+35)} = 0{,}9 MBm$$

Определим далее тепловые потоки на отопление и вентиляцию при температуре наружного воздуха для проектирования систем отопления. Для г. Тюмени t_o = - 35 ^{0}C.

Тогда при t_H = -35^{0}C получаем:

$$Q_o^{t_H} = \frac{Q_{o\max} \cdot (t_i - t_H)}{t_i - t_o} = 39{,}16 \cdot \left(\frac{18+35}{18+35}\right) = 39{,}16 MBm$$

$$Q_v^{t_H} = \frac{Q_{v\max} \cdot (t_i - t_H)}{t_i - t_o} = 4{,}7 \cdot \frac{(18+35)}{(18+35)} = 4{,}7 MBm$$

Отложим на графике (рис.2.2,А) значения Q_o, Q_v при температуре t_H = +8^{o}C, а также значения Q_{omax} и Q_{vmax} при t_H = t_o=-35^{o}C. Соединим полученные точки прямой и получим графики $Q_0 = f(t_H)$ и $Q_v = f(t_H)$.

Для построения часового графика расхода теплоты на горячее водоснабжение определим, используя формулу пересчета (2.8), среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение для неотопительного периода Q_{hm}^s.

$$Q_{hm}^s = Q_{hm} \cdot \beta \cdot \frac{55 - t_c^s}{55 - t_c} = 8{,}14 \cdot 0{,}8 \cdot \frac{55-15}{55-5} = 5{,}21 MBm$$

График среднечасового расхода теплоты на горячее водоснабжение не зависит от температуры наружного воздуха и представляет собой прямую, параллельную оси абсцисс с ординатой 8,14 МВт для отопительного периода и с ординатой 5,21 МВт для неотопительного периода.

Просуммируем ординаты часовых графиков на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение для температур наружного воздуха t_H = +8; -35^{o}C.

При +8^{0}C: 7,389+0,9+5,21 = 13,5 МВт

При -35^{0}C: 39,16+4,7+8,14= 52 МВт.

Полученные значения наносим на график рис. 2.1, часть А.

Для построения годового графика теплоты по продолжительности тепловой нагрузки по справочнику [4] находим продолжительности стояния температур наружного воздуха в часах с интервалом 5^0 и продолжительность отопительного периода для г. Тюмени. Данные сводим в таблицу 2.5

Таблица 2.5

Продолжительность стояния температур наружного воздуха

Продолжительность стояния температур n, ч	Температура наружного воздуха, ^{0}C									
	-40 -35	-35 -30	-30 -25	-25 -20	-20 -15	-15 -10	-10 -5	-5 0	0 +5	+5 +8
	24	90	170	369	580	832	910	860	908	537
Температуры, ^{0}C	-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
Σn, ч	24	114	284	653	1233	2065	2975	3835	4743	5280

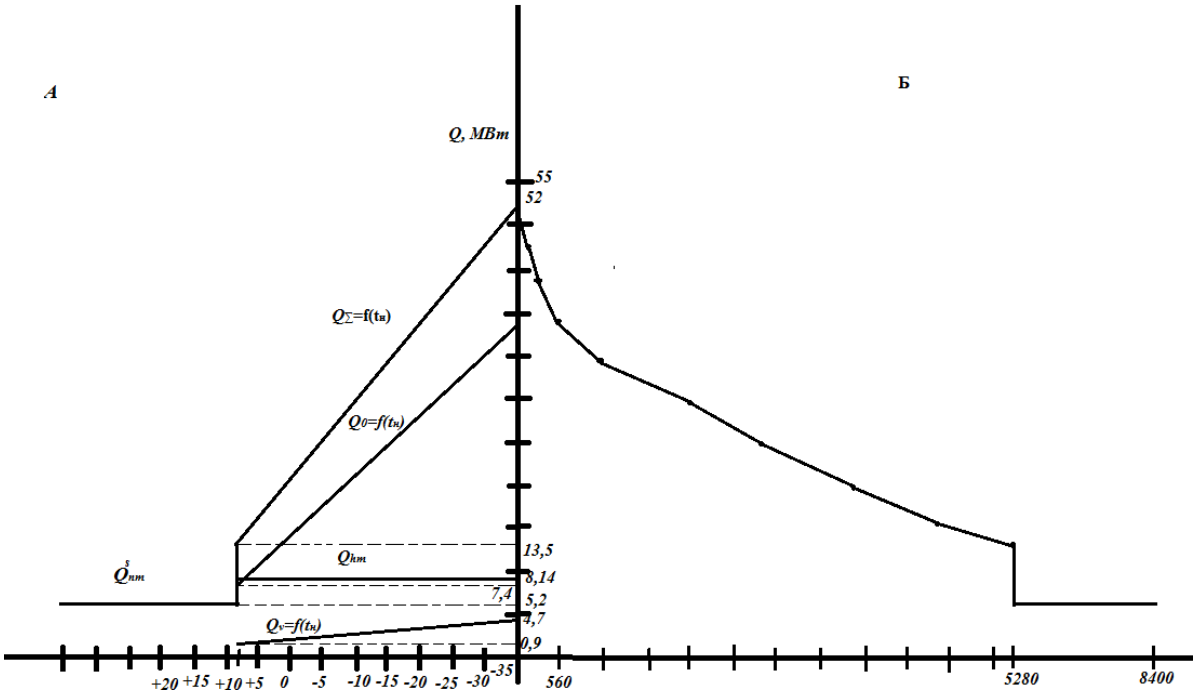


Рис. 2.2. График часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение (А); график продолжительности тепловой нагрузки (Б)

Из табицы 2.5 определяем продолжительность отопительного периода для г. Тюмени, равный n_o = 5280 часов или 220 суток. График по продолжительности стояния температур (рис.2.2,Б) строится на основании суммарного часового графика $Q_\Sigma = f(t_H)$,который приведен на рис.2.2, А.. Для этого из точек на оси температур (+8;0; -10;…t_o) 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 полученные точки плавной кривой, получим график по продолжительности тепловой нагрузки за отопительный период n_o. Затем построим график по продолжительности тепловой нагрузки за неотопительный период. Для этого необходимо провести прямую, параллельную оси абсцисс с ординатой, равной тепловой нагрузке на горячее водоснабжение в неотопительный период Q_{hm}^{s} до расчетной продолжительности работы системы теплоснабжения в году, равной 8400 часов.

Для постороения годового графика теплового потребления по месяцам по [6] находим среденемесячные температуры воздуха. Затем, используя формулы пересчета (2.9) и (2.10), определим часовые расходы теплоты на отопление и вентиляцию для месяцев отопительного периода со среднемесячной температурой ниже +10^{o}C. Определим суммарные

расходы теплоты для месяцев отопительного периода как сумму часовых расходов на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Для месяцев неотопительного периода, для которых средняя температурв выше + 10°С суммарный расход теплоты будет равен среднечасовому расходу теплоты на горячее водоснабжение

Выполним расчет для января

$$Q_O^{Я} = Q_{O\max} \cdot \frac{t_i - t_{cp}^{Я}}{t_i - t_o} = 39{,}16 \cdot \frac{18 + 16{,}2}{18 + 35} = 25{,}27 MBm$$

$$Q_V^{Я} = Q_{V\max} \cdot \frac{t_i - t_{Cp}^{Я}}{t_i - t_o} = 4{,}7 \cdot \frac{18 + 16{,}2}{53} = 3{,}03 MBm$$

$$Q_\Sigma^{Я} = Q_0^{Я} + Q_V^{Я} + Q_{hm}^{Я} = 25{,}27 + 3{,}03 + 8{,}14 = 36{,}44 MBm$$

При определении суммарного теплового потока учитываем, что в отопительный период расход теплоты на горячее водоснабжение составляет

Q_{hm} = 8,14 МВт, в неотопительный - Q^s_{hm} = 5,21 МВт.

Выполняем расчеты для других месяцев и результаты расчетов сведем в таблицу 2.6

Февраль

$$Q_o^{\phi} = 39{,}16 \cdot \frac{18 + 14{,}3}{53} = 23{,}87 MBm$$

$$Q_V^{\phi} = 4{,}7 \cdot \frac{18 + 14{,}3}{53} = 2{,}86 MBб$$

$$Q_\Sigma^{\phi} = 23{,}87 + 2{,}86 + 8{,}14 = 34{,}87 MBm$$

Март

$$Q_o^{M} = 39{,}16 \cdot \frac{18 + 5{,}7}{53} = 17{,}51 MBm$$

$$Q_V^{M}\ 4{,}7 \cdot \frac{18 + 5{,}7}{53} = 2{,}1 MBm$$

$$Q_\Sigma^{M} = 17{,}51 + 2{,}1 + 8{,}14 = 27{,}75 MBm$$

Апрель

$$Q_o^{A} = 39{,}16 \cdot \frac{18 - 3{,}7}{53} = 10{,}57 MBm$$

$$Q_V^{A} = 4{,}7 \cdot \frac{18 - 3{,}7}{53} = 1{,}27 MBm$$

$$Q_\Sigma^{A} = 10{,}57 + 1{,}27 + 8{,}14 = 19{,}98 MBm$$

Май, июнь,июль, август

Q_Σ =5,21МВт, так как средняя температура наружного воздуха выше +10°С

Сентябрь

$$Q_o^c = 39{,}16 \cdot \frac{18-9{,}6}{53} = 6{,}21 MBm$$

$$Q_V^c = 4{,}7 \cdot \frac{18-9{,}6}{53} = 0{,}76 MBm$$

$$Q_\Sigma^c = 12{,}18 MBm$$

Октябрь

$$Q_o^O = 39{,}16 \cdot \frac{18-2{,}2}{53} = 11{,}67 MBm$$

$$Q_V^O = 4{,}7 \cdot \frac{18-2{,}2}{53} = 1{,}4 MBm$$

$$Q_\Sigma^O = 11{,}67 + 1{,}4 + 8{,}14 = 21{,}21 MBm$$

Ноябрь

$$Q_O^H = 39{,}16 \cdot \frac{18+6{,}8}{53} = 18{,}32 MBm$$

$$Q_V^H = 4{,}7 \cdot \frac{18+6{,}8}{53} = 2{,}2 MBm$$

$$Q_\Sigma^H = 18{,}32 + 2{,}2 + 8{,}14 = 28{,}66 MBm$$

Декабрь

$$Q_o^Д = 39.16 \cdot \frac{18+13{,}5}{53} = 23{,}27 MBm$$

$$Q_V^Д = 4{,}7 \cdot \frac{18+13{,}5}{53} = 2{,}79 MBm$$

$$Q_\Sigma^Д = 23{,}27 + 2{,}79 + 8{,}14 = 34{,}2 MBm$$

Таблица 2.6

Среднечасовые расходы теплоты по месяцам

Среднечасовые расходы теплоты по месяцам, МВт	Среднемесячные температуры воздуха											
	ян	фев	март	апр	май	июнь	июль	авг	сен	окт	ноя	дек
	-16,2	-14,3	-5,7	3,7	11,0	16,3	18,6	15,4	9,6	2,2	-6,8	-13,5
Q_o	25,27	23,87	17,51	10,57	-	-	-	-	6,21	11,67	18,32	23,27
Q_v	3,03	2,86	2,1	1,27	-	-	-	-	0.76	1,4	2,2	2,79
Q_{hm} (Q^s_{hm})	8,14	8,14	8,14	8,14	5,21	5.21	5,21	5,21	8,14	8,14	8,14	8,14
Q_Σ	36,44	34,87	27,75	19,98	5,21	5,21	5,21	5,21	12,18	21,21	28,66	34,2

По полученным данным строим годовой график теплового потребления по месяцам (рис. 2.3).

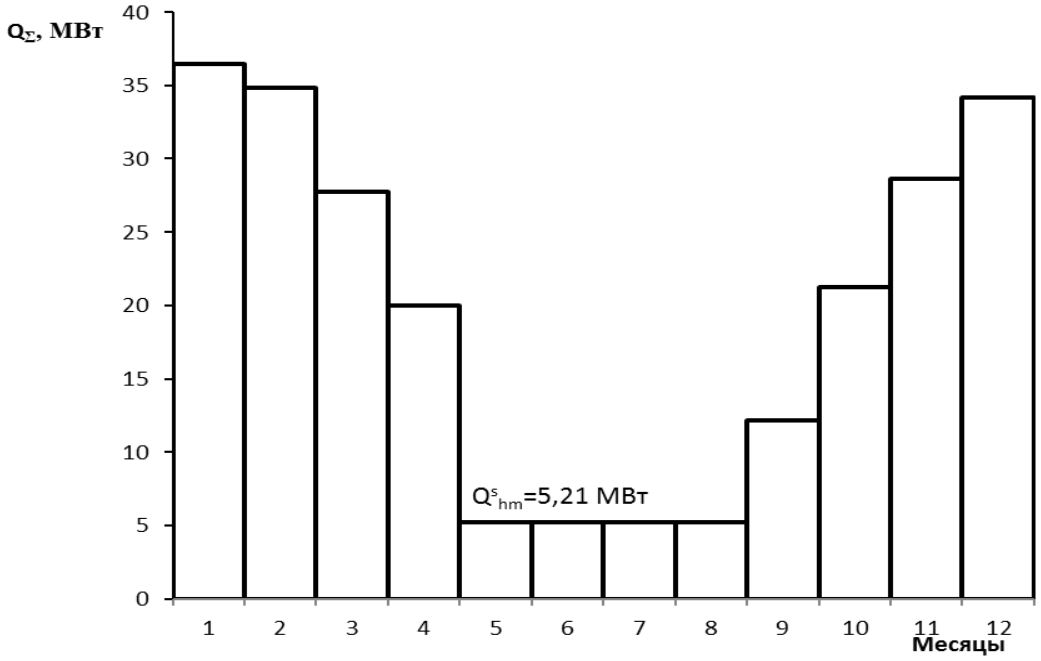


Рисунок 2.3. Годовой график теплового потребления по месяцам

Контрольные вопросы к разделам 1 и 2

1. Назовите элементы системы теплоснабжения.
2. Как произвести выбор теплоносителя.
3. Назовите преимущества и недостатки открытых систем теплоснабжения.
4. Назовите преимущества и недостатки закрытых систем теплоснабжения.
5. Приведите уравнение определения максимального теплового потока на отопление.
6. Приведите уравнение максимального теплового потока на вентиляцию.
7. Приведите уравнения определения среднего и максимального теплового потока на горячее водоснабжение.
8. Приведите порядок построения графиков часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение.
9. Приведите порядок построения графика годового расхода теплоты по продолжительности стояния температур наружного воздуха.
10. Как определить продолжительность отопительного периода?
11. Назовите продолжительность работы системы теплоснабжения в году.

3. РЕГУЛИРОВАНИЕ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ В ЗАКРЫТЫХ И ОТКРЫТЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Тепловая нагрузка потребителей системы теплоснабжения отличается разнообразием, но в большинстве случаев основная доля потребляемой теплоты расходуется на отопление. При этом величина отопительной нагрузки зависит от температуры наружного воздуха и в течение отопительного сезона может изменяться несколько раз. Поэтому необходимо осуществлять регулирование расхода теплоты в системе теплоснабжения.

В системах теплоснабжения с разнородными тепловыми нагрузками применяют многоступенчатую систему регулирования отпуска теплоты, имеющую принцип постоения:

- центральное регулирование, которое осуществляется на ТЭЦ или котельной по основной тепловой нагрузке района;
- групповое (или местное) регулирование, которое осуществляется в тепловых пунктах;
- индивидуальное регулирование, осуществляемое непосредственно на теплопотребляющих установках.

Применение такого регулирования приводит к снижению расхода теплоты на отопление за счет отсутствия «перетопов» зданий в интервале температур от $+8^{o}C$ до температуры наружного воздуха, соответствующей точке излома графика температур воды, а также к снижению расхода теплоносителя на единицу мощности отпущенной теплоты. Согласно [5], в водяных тепловых сетях следует применять центральное качественное регулирование отпуска теплоты путем изменения температуры теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха.

3.1 Регулирование отпуска теплоты в закрытых системах теплоснабжения

В водяных тепловых сетях принимают центральное качественное регулирование отпуска теплоты по нагрузке отопления или по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. Если тепловая нагрузка на жилищно-коммунальные нужды составляет менее 65% от суммарной тепловой нагрузки, а также при отношении $Q_{hm}/Q_{omax}<0,15$, регулирование отпуска теплоты принимают по нагрузке отопления. При этом в тепловой сети поддерживается отпительно-бытовой температурный график.

Построение графика центрального качественного регулирования отпуска теплоты по отопительной нагрузке основано на определении зависимости температуры сетевой воды в подающей и обратной

магистрали от температуры наружного воздуха. Для зависимых схем присоединения отпительных установок к тепловым сетям температуру воды в подающей магистрали τ_1, и обратной магистрали τ_2 в течение отопительного периода, а также температуру воды в системе отопления τ_3 рассчитывают по уравнениям:

$$\tau_1 = t_i + \Delta t \cdot \left(\frac{t_i - t_H}{t_i - t_o}\right)^{0,8} + (\Delta\tau - 0,5 \cdot \Theta) \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_o};$$

$$\tau_2 = t_i + \Delta t \cdot \left(\frac{t_i - t_H}{t_i - t_o}\right)^{0,8} - 0,5 \cdot \Theta \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_o}; \qquad (3.1)$$

$$\tau_3 = t_i + \Delta t \cdot \left(\frac{t_i - t_H}{t_i - t_o}\right)^{0,8} + 0,5 \cdot \Theta \cdot \left(\frac{t_i - t_H}{t_i - t_o}\right),$$

где Δt – температурный напор нагревательного прибора, определяется по формуле:

$$\Delta t = \frac{\tau_3 + \tau_2}{2} - t_i, \qquad (3.2)$$

где τ_3 – расчетная температура наружного воздуха после элеватора, ^oC;
τ_2 – расчетная температура воды в обратном теплопроводе, ^oC;
$\Delta\tau$ – расчетный перепад температур сетевой воды в тепловой сети, определяется по формуле:

$$\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2;$$

Θ – расчетный перепад температур сетевой воды в местной системе отопления, также определяется по формуле:

$$\Theta = \tau_3 - \tau_2$$

Задаваясь несколькими значениями температур наружного воздуха t_H в интервале от $+8^oC$ до расчетной температуры проектирования систем отопления t_o, определяют значения τ_1, τ_2 и τ_3, и затем строят график центрального качественного регулирования (рис. 3.1)

Так как по тепловым сетям одновременно подается теплота на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, то для удовлетворения тепловой нагрузки горячего водоснабжения необходимо корректировать отопительный график. Это связано с тем, что температура нагреваемой воды на выходе из водоподогревателя горячего водоснабжения должна быть 60-65^oC. Поэтому минимальная температура сетевой воды в подающей магистрали принимается равной 70^oC для закрытых систем теплоснабжения. Для этого отопительный график срезается на уровне 70^oC, и полученный график называется отопительно-бытовым. Тогда температура наружного воздуха, соответствующая точке излома графика, обозначается t'_H. Точка излома делит график на две части: в диапазоне температур от $+8^oC$ до t'_H осуществляется местное регулирование; от t'_H до t_o – центральное качественное регулирование отпуска теплоты.

При регулировании по отопительной нагрузке водоподогреватели горячего водоснабжения присоединяются к тепловым сетям в зависимости от отношения максимальной тепловой нагрузки горячего водоснабжения к расчетной отопительной нагрузке $\frac{Q_{h\max}}{Q_{o\max}} = \rho$ по следующим схемам:

- при ρ = 0,2-1,0 – по двухступенчатым схемам;
- при остальных соотношениях – по параллельной схеме.

В системах теплоснабжения с жилищно-коммунальной нагрузкой более 65% от суммарной тепловой нагрузки и при значении ρ > 0,15 принимают центральное качественное регулирование отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. Тогда появляется возможность рассчитывать магистральные теплопроводы по суммарному расходу сетевой воды, не учитывая расход воды на горячее водоснабжение. При этом температура воды в прямом теплопроводе принимается выше, чем по отопительному графику, для удовлетворения нагрузки горячего водоснабжения. В этом случае большинство потребителей системы горячего водоснабжения и отопления должны присоединяться к тепловой сети по принципу связанной подачи теплоты. Для выравнивания неравномерности суточного графика совмещенной тепловой нагрузки в качестве аккумуляторов теплоты принимают строительные конструкции зданий (без установки специальных аккумуляторов).

В этом случае водоподогреватели горячего водоснабжения присоединяются к тепловым сетям в зависимости от отношения максимальной нагрузки горячего водоснабжения к расчетной отопительной нагрузке $\frac{Q_{h\max}}{Q_{o\max}} = \rho$ и типа регуляторов по следующим схемам:

- при ρ = 0,2-1,0 - с установкой регулятора расхода по двухступенчатой последовательной схеме; или с электронным регулятором расхода теплоты – по двухступенчатой смешанной схеме с ограничением максимального расхода воды на ввод;
- при других значениях ρ – по параллельной схеме.

При таком способе регулирования отпуска теплоты в тепловой сети поддерживается повышенный температурный график, который строится на основании отопительно-бытового температурного графика.

Расчет повышенного температурного графика заключается в определении перепада температур сетевой воды в подогревателях верхней ступени δ_1 и нижней ступени δ_2 при различных температурах наружного воздуха и балансовой нагрузке горячего водоснабжения.

$$Q_{hm}^{\delta} = \chi \cdot Q_{hm} \qquad (3.3)$$

где χ – балансовый коэффициент, учитывающий неравномерность расхода теплоты на горячее водоснабжение в течение суток; для закрытых систем χ = 1,2.

Суммарный перепад температур сетевой воды в подогревателях верхней и нижней ступенях δ в течение всего отопительного сезона постоянен и определяется по формуле:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{Q_{hm}^{\delta}}{Q_{o\max}} \cdot (\tau_1 - \tau_2) \qquad (3.4)$$

Задаваясь величиной недогрева водопроводной воды до температуры греющей воды в нижней ступени водоподогревателя Δt_H = 5-10°С, определяют температуру нагреваемой водопроводной воды после нижней (первой) ступени подогревателя:

$$t' = \tau_2' - t_H' \qquad (3.5)$$

где верхний индекс «штрих» означает, что значения взяты при температуре наружного воздуха излома отопительного графика t_H'.

Перепад температур сетевой воды в нижней ступени подогревателя δ_2 при различных температурах наружного воздуха, определяют по выражениям:

при t_H'

$$\delta_2' = \delta \cdot \frac{t' - t_C}{t_h - t_C}; \qquad (3.6)$$

при t_o

$$\delta_2 = \delta_2' \cdot \frac{\tau_2 - t_c}{\tau_2' - t_c}, \qquad (3.7)$$

где t_h –температура воды, поступающей в систему горячего водоснабжения,°С; t_c –температура водопроводной воды в отопительный период, принимается равной 5°С.

Зная δ_2 и δ_2', находят температуру сетевой воды в обратной магистрали по повышенному температурному графику:

$$\begin{aligned} \tau_{2П} &= \tau_2 - \delta_2, \\ \tau_{2П}' &= \tau_2' - \delta_2'. \end{aligned} \qquad (3.8)$$

Перепад температур сетевой воды в верхней (второй) ступени подогревателя при t_0 и t_H':

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \delta - \delta_2 \\ \delta_1' &= \delta - \delta_2' \end{aligned} \qquad (3.9)$$

Температура сетевой воды в подающей магистрали тепловой сети для повышенного температурного графика:

$$\begin{aligned} \tau_{1П} &= \tau_1 + \delta_1 \\ \tau_{1П}' &= \tau_1' + \delta_1' \end{aligned} \qquad (3.10)$$

Определив значения температур воды в подающей и обратной магистралях тепловой сети, строят повышенный температурный график (рис.3.2)

3.2 Пример расчета и построения графика центрального качественного регулирования отпуска теплоты в закрытых системах теплоснабжения по отопительной нагрузке (отопительно-бытовой график)

Построить для закрытой системы теплоснабжения график центрального качественного регулирования отпуска теплоты по отопительной нагрузке (отопительно - бытовой график) по следующим исходным данным:

1. расчетная температура сетевой воды в подающей магистрали $\tau_1 = 130^0$C;
2. в обратной магистрали $\tau_2 = 70^0$C;
3. после элеватора $\tau_3 = 95^0$C;
4. расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления $t_o = -35^0$C;
5. расчетная температура воздуха внутри помещения $t_i = 18^0$C;

Решение:

Для построения графиков зависимости температуры сетевой воды от температуры наружного воздуха в подающем и обратном трубопроводах, а также в системе отопления

$\tau_{1o} = f(t_H)$

$\tau_{2o} = f(t_H)$, где индекс «о» означает, что регулирование проводится

$\tau_{3o} = f(t_H)$

по нагрузке отопления, проведем расчеты по формулам (3.1).

Составим расчетные уравнения, определив численные коэффициенты уравнения (3.2)

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

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

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

где Δt – расчетный температурный перепад нагревательного прибора, определяемый по формуле (3.2):

$$\Delta t = \frac{\tau_3 + \tau_2}{2} - t_i = \frac{95 + 70}{2} - 18 = 64,5,$$

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

$$\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2 = 130\text{-}70 = 60$$

Θ - расчетный перепад температур сетевой воды в местной системе отопления

$$\Theta = \tau_3 - \tau_2 = 95 - 70 = 25$$

Тогда для определения температур сетевой воды в прямом трубопроводе получим формулу:

$$\tau_{1o} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{18 - t_H}{18 + 35}\right)^{0{,}8} + 47{,}5 \cdot \left(\frac{18 - t_H}{53}\right)$$

Затем задаемся значениями температур наружного воздуха t_H = +8; 0; -10; -20; -35°С и определяем температуру сетевой воды в прямом теплопроводе. По полученным данным строим график центрального качественного регулирования $\tau_{1o} = f(t_H)$ (рис.3.1).

1. При t_H = +8°С

$$\tau_{1O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{18 - 8}{53}\right)^{0{,}8} + 47{,}5 \cdot \left(\frac{18 - 8}{53}\right) = 44{,}0^0\,C$$

2. При t_H = 0°С

$$\tau_{1O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{18}{53}\right)^{0{,}8} + 47{,}5 \cdot \left(\frac{18}{53}\right) = 61{,}3^0\,C$$

3. При t_H = - 10°С

$$\tau_{1O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{28}{53}\right)^{0{,}8} + 47{,}5 \cdot \left(\frac{28}{53}\right) = 81{,}8^0\,C$$

4. При t_H = -20°С

$$\tau_{1O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{38}{53}\right)^{0{,}8} + 47{,}5 \cdot \left(\frac{38}{53}\right) = 101{,}5^0\,C$$

5. При t_H = - 35°С

$$\tau_{1o} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{53}{53}\right)^{0{,}8} + 47{,}5 \cdot \left(\frac{53}{53}\right) = 130^o\,C$$

Проведем расчет графика температур сетевой воды в системе отопления $\tau_{3o} = f(t_H)$ согласно расчетной формуле, задаваясь аналогично значениями температур наружного воздуха

Расчетная формула имеет вид:

$$\tau_{3O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{18 - t_H}{53}\right)^{0{,}8} + 12{,}5 \cdot \left(\frac{18 - t_H}{53}\right)$$

Проведем расчет графика

1. При t_H = +8°C

$$\tau_{3O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{18-8}{53}\right)^{0,8} + 12{,}5 \cdot \left(\frac{18-8}{53}\right) = 37{,}5^{o}C$$

2. При t_H = 0°C

$$\tau_{3O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{18}{53}\right)^{0,8} + 12{,}5 \cdot \left(\frac{18}{53}\right) = 49{,}4^{0}C$$

3. При t_H = - 10°C

$$\tau_{3O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{28}{53}\right)^{0,8} + 12{,}5 \cdot \left(\frac{28}{53}\right) = 63{,}3^{o}C$$

4. При t_H = - 20°C

$$\tau_{3O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{38}{53}\right)^{0,8} + 12{,}5 \cdot \left(\frac{38}{53}\right) = 76{,}4^{o}C$$

5. При t_H = - 35°C

$$\tau_{3O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{53}{53}\right)^{0,8} + 12{,}5 \cdot \left(\frac{53}{53}\right) = 95^{o}C$$

По полученным данным строим график $\tau_{3o} = f(t_H)$ центрального качественного регулирования (рис.3.1).

Проведем расчет графика зависимости температур сетевой воды в обратном теплопроводе $\tau_{2o} = f(t_H)$ от температуры наружного воздуха. Для этого составим расчетную формулу и задаваясь аналогичными значениями температур наружного воздуха, определим температуру сетевой воды в обратном теплопроводе.

$$\tau_{2O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{18-t_H}{53}\right)^{0,8} - 12{,}5 \cdot \left(\frac{18-t_H}{53}\right)$$

1. При t_H = +8°C

$$\tau_{2O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{18-8}{53}\right)^{0,8} - 12{,}5 \cdot \left(\frac{18-8}{53}\right) = 32{,}6^{o}C$$

2. При t_H= 0°C

$$\tau_{2O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{18}{53}\right)^{0,8} - 12{,}5 \cdot \left(\frac{18}{53}\right) = 40{,}9^{o}C$$

3. При t_H = - 10°C

$$\tau_{2O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{28}{53}\right)^{0,8} - 12{,}5 \cdot \left(\frac{28}{53}\right) = 50{,}1^{O}C$$

4. При t_H = -20°C

$$\tau_{2O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{38}{53}\right)^{0,8} - 12{,}5 \cdot \left(\frac{38}{53}\right) = 58{,}5^{o}C$$

5. При t_H = - 35°C

$$\tau_{2O} = 18 + 64{,}5 \cdot \left(\frac{53}{53}\right)^{0{,}8} - 12{,}5 \cdot \left(\frac{53}{53}\right) = 70^{o}\,C$$

Полученные результаты сводим в табл. 3.1

Таблица 3.1

Температура сетевой воды в прямом, обратном теплопроводах и в местной системе отопления

t_H / τ	Температура наружного воздуха, °C				
	+8	0	-10	-20	-35
τ_{1o}	44,0	61,3	81,8	101,5	130
τ_{2o}	32,6	40,9	50,1	58,5	70
τ_{3o}	37,5	49,4	63,3	76,4	95

По полученным данным строим график зависимости температур сетевой воды в обратном теплопроводе $\tau_{2o} = f(t_H)$ от температуры наружного воздуха изображенный на рисунке 3.1.

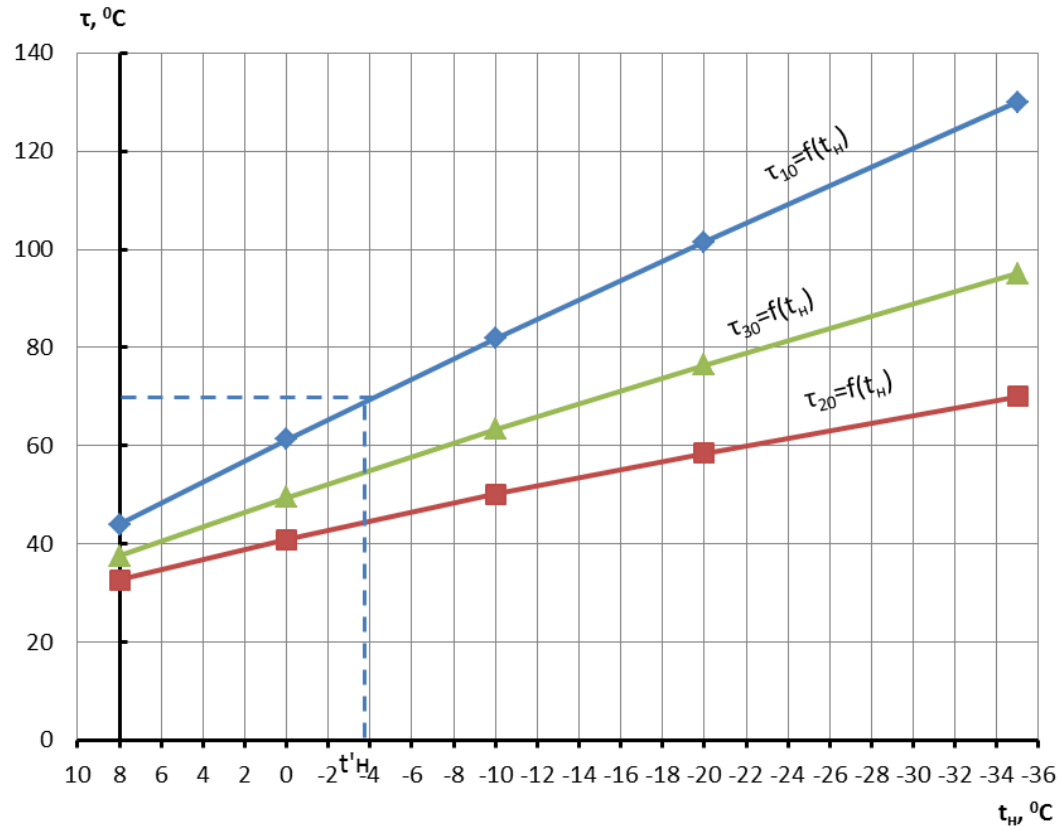


Рисунок 3.1 График центрального качественного регулирования по отопительной нагрузке для закрытых систем теплоснабжения

Затем проведем срез графика. Для обеспечения требуемой температуры воды в системе горячего водоснабжения минимальную температуру сетевой воды в подающей магистрали принимаем равной 70°С (температура в обратном трубопроводе). Поэтому из точки, соответствующей 70°С на оси ординат, проводим горизонтальную прямую до пересечения с температурной кривой для прямого теплопровода. Температура наружного воздуха, соответствующая точке излома графика, обозначается $t'_н$. Из графика (рис.3.1) видно, что $t'_н = -3{,}8^{O}C$.

3.3 Пример расчета и построения графика центрального качественного регулирования отпуска теплоты в закрытых системах теплоснабжения по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (повышенный температурный график)

Построить для закрытой системы теплоснабжения график центрального качественного регулирования отпуска теплоты по совмещенной нагрузке на отопление и горячего водоснабжения (повышенный температурный график) по следующим исходным данным:

1. расчетная температура сетевой воды в подающей магистрали τ_1 = 130° С;
2. в обратной магистрали τ_2 =70° С;
3. после элеватора τ_3 = 95° С;
4. расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления to = - 35° С;
5. расчетная температура воздуха внутри помещения t_i = 18° С;
6. температура горячей воды в системе горячего водоснабжения t_h = 55°С;
7. температура холодной воды t_c = 5°С.

Решение:

Определим балансовую тепловую нагрузку горячего водоснабжения по формуле (3.3)

$$Q^{\delta}_{hm} = 1{,}2 \cdot 8{,}14 = 9{,}77 MBm$$

Суммарный перепад температур сетевой воды в подогревателях нижней и верхней ступенях определяем по формуле (3.4).

$$\delta = \frac{9{,}77}{39{,}16} \cdot (130 - 70) = 14{,}97^{o} C$$

По вычисленным значениям τ_1 и τ_2 (по примеру 3.2) строим отопительно-бытовой график (рис.3.2), по которому устанавливаем температуру точку излома графика и соответствующие температуры сетевой воды в прямом и обратном теплопроводах: $t'_н = -2{,}5^{O}C$, $\tau'_1 = 70^{o}C, \tau'_2 = 42^{o}C$.

Примем недогрев водопроводной воды до температуры греющей воды в подогревателе нижней ступени равным 10^{O}C, вычислим температуру нагреваемой водопроводной воды после нижней (первой) ступени подогревателя:

$$t' = 42 - 10 = 32^{o}C$$

Далее по формулам (3.6) и (3.7) определяем перепад температур сетевой воды δ_2 в нижней ступени подогревателя:

При t'_H

$$\delta'_2 = \delta \cdot \frac{t' - t_C}{t_h - t_C} = 14{,}97 \cdot \frac{32-5}{55-5} = 8{,}1^{O}C$$

При t_o

$$\delta_2 = \delta'_2 \cdot \frac{\tau_2 - t_c}{\tau'_2 - t_c} = 8{,}1 \cdot \frac{70-5}{42-5} = 14{,}2^{O}C .$$

Температуру сетевой воды в обратной магистрали для повышенного температурного графика находим по формуле (3.8):

$$\tau_{2П} = \tau_2 - \delta_2 = 70 - 14{,}2 = 55{,}8^{o}C$$
$$\tau'_{2П} = \tau'_2 - \delta'_2. = 42 - 8{,}1 = 33{,}9^{o}C$$

Температура $\tau_{2п}$ соответствует значению t_o; температура $\tau'_{2п}$ соответствует значению температуре излома графика t'_H.

По рассчитанным значениям перепада температур строим график $\tau_{2П} = f(t_H)$ (рис.3.2).

По формуле (3.9) определим перепад температур сетевой воды в верхней ступени подогревателя при t_o и при t'_H.

При t_o

$\delta_1 = \delta - \delta_2$

$\delta'_1 = \delta - \delta'_2$

$$\delta_1 = \delta - \delta_2 = 14{,}97 - 14{,}2 = 0{,}77^{o}C$$

При t'_H

$$\delta'_1 = \delta - \delta'_2 = 14{,}97 - 8{,}1 = 6{,}87^{O}C$$

Температуру сетевой воды в подающей магистрали тепловой сети для повышенного температурного графика определим по формуле (3.10)

$$\tau_{1П} = \tau_1 + \delta_1 = 130 + 0{,}77 = 130{,}77^{o}C$$
$$\tau'_{1П} = \tau'_1 + \delta'_1 = 70 + 6{,}87 = 76{,}87^{o}C$$

По полученным данным строим график $\tau_{1п} = f(t_H)$ (рис.3.2).

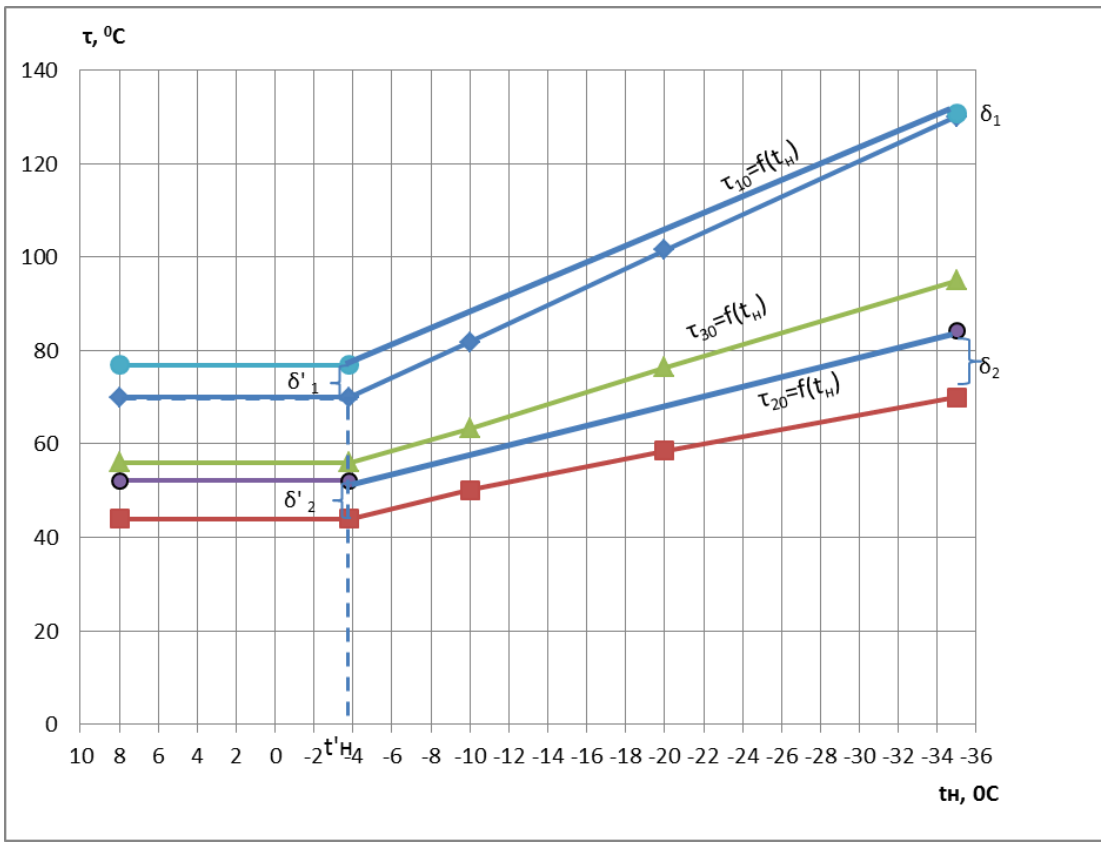


Рисунок 3.2. Повышенный график регулирования температуры сетевой воды для закрытой системы теплоснабжения

3.4 Регулирование отпуска теплоты в открытых системах теплоснабжения

В двухтрубных водяных тепловых сетях открытых систем теплоснабжения центральное качественное регулирование отпуска теплоты осуществляют либо по нагрузке отопления, либо по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения, так же, как и в закрытых системах. Регулирование по нагрузке отопления принимается, если тепловая нагрузка жилищно-коммунального сектора составляет менее 65% от суммарной тепловой нагрузки района и $\rho = Q_{hm}/Q_{omax}<0,15$.

При центральном качественном регулировании отпуска теплоты по отопительной нагрузке в тепловой сети поддерживается отопительно-бытовой температурный график. Системы отопления и горячего водоснабжения абонентов присоединяются к тепловым сетям по принципу несвязанной подачи теплоты. В этом случае расход сетевой воды на отопление поддерживается неизменным при помощи регулятора расхода РР, который устанавливается перед элеватором системы отопления и не зависит от переменного расхода сетевой воды на горячее водоснабжение. Тога температура воды в подающей и обратной магистрали при за-

висимой схеме присоединения систем отопления рассчитывают по уравнениям (3.1) и (3.2):

$$\tau_1 = t_i + \Delta t \cdot \left(\frac{t_i - t_H}{t_i - t_o}\right)^{0,8} + (\Delta\tau - 0,5 \cdot \Theta) \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_o};$$

$$\tau_2 = t_i + \Delta t \cdot \left(\frac{t_i - t_H}{t_i - t_o}\right)^{0,8} - 0,5 \cdot \Theta \cdot \frac{t_i - t_H}{t_i - t_o};$$

$$\tau_3 = t_i + \Delta t \cdot \left(\frac{t_i - t_H}{t_i - t_o}\right)^{0,8} + 0,5 \cdot \Theta \cdot \left(\frac{t_i - t_H}{t_i - t_o}\right),$$

$$\Delta t = \frac{\tau_3 + \tau_2}{2} - t_i$$

Минимальная температура сетевой воды в прямой и обратной магистралях в открытых системах теплоснабжения принимается равной 60°С. Для этого отопительный график срезается на уровне 60°С. Полученный в результате график называется отопительно-бытовым.

Если тепловая нагрузка жилищно-коммунального сектора составляет 65% и более от суммарной тепловой нагрузки района, то регулирование отпуска теплоты производят по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

При регулировании отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения потребители теплоты присоединяются к тепловым сетям по принципу связанной подачи теплоты. Поэтому регулятор расхода РР устанавливают на прямом теплопроводе абонентского ввода перед отбором воды на горячее водоснабжение. Тогда регулятор расхода РР поддерживает постоянный расход воды на ввод, равный расчетному на отопление, без учета нагрузки на горячее водоснабжение.

Водоразбор из подающей линии уменьшает поступление сетевой воды в систему отопления. Тогда нехватка теплоты на отопление компенсируется некоторым повышением температуры воды в подающем трубопроводе по сравнению с отопительным графиком. В этом случае строительные конструкции здания используются в качестве аккумуляторов теплоты для выравнивания суточного графика теплопотребления.

В периоды высокого водоразбора на горячее водоснабжение создается гидравлическая разрегулировка отопительных приборов, которая устраняется установкой на перемычке элеватора центробежного насоса, который включается в работу для компенсации такого режима.

При таком методе регулирования в тепловой сети поддерживается температурный режим по скорректированному (повышенному) температурному графику, который строится на основе отопительно-бытового.

Расчет скорректированного температурного графика заключается в определении температуры воды в прямом и обратном теплопроводах в

диапазоне температур наружного воздуха от +8°С до температуры наружного воздуха, обозначенной как t_H^*. Это такая температура наружного воздуха, при которой температура воды в обратном теплопроводе равна 60°С.

При температурах наружного воздуха от + 8°С до t_H^*, когда водоразбор на горячее водоснабжение осуществляется как из прямого, так и из обратного теплопроводов, поступление воды в систему отопления меньше расчетного расхода. Тогда температура воды в прямом теплопроводе должна быть выше, чем требуется по отопительно-бытовому графику. Температура сетевой воды в прямом теплопроводе $\tau_{1п}$ и в обратном $\tau_{2п}$ для скорректированного графика определяют по уравнениям:

$$\begin{aligned} \tau_{1n} &= t_i + \frac{\overline{Q}_0}{\overline{G}_0} \cdot (\Delta\tau + \Delta t \cdot \frac{\overline{G}_0}{\overline{Q}_0^{0,2}} - 0{,}5\Theta); \\ \tau_{2n} &= t_i + \frac{\overline{Q}_0}{\overline{G}_0} \cdot (\Delta t \cdot \frac{\overline{G}_0}{\overline{Q}_0^{0,2}} - 0{,}5\Theta), \end{aligned} \qquad (3.11)$$

где $\overline{Q}_0$ - относительный расход теплоты на отопление, представляющий собой отношение теплового потока на отопление при нерасчетных условиях к максимальному тепловому потоку; в свою очередь определяется по уравнению:

$$\overline{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q_{0\max}} = \frac{t_i - t_H}{t_i - t_o},$$

где $\overline{G}_0$ - относительный расход сетевой воды, представляющий собой отношение расхода сетевой воды на отопление при нерасчетных условиях к максимальному расходу воды; также определяется по уравнению:

$$\overline{G}_0 = \frac{G_0}{G_{0\max}} = \frac{1 - 0{,}5 \cdot \rho^{\delta} \cdot \dfrac{\Theta}{t_h - t_c}}{1 + \dfrac{t_h - t_i}{t_h - t_c} \cdot \dfrac{\rho^{\delta}}{\overline{Q}_0} - \dfrac{\Delta t}{t_h - t_c} \cdot \dfrac{\rho^{\delta}}{\overline{Q}_0^{0,2}}}, \qquad (3.12)$$

где $\rho^{\delta} = \dfrac{Q_{hm}^{\delta}}{Q_{0\max}}$, а $Q_{hm}^{\delta} = \chi \cdot Q_{hm}$, χ – балансовый коэффициент, для открытых систем $\chi = 1{,}1$.

При температуре воды в обратном теплопроводе больше 60°С водоразбор на горячее водоснабжение осуществляется только из обратной линии тепловой сети, и тогда в местную отопительную систему поступает расчетный расход сетевой воды G_{0max}. Это позволяет оставить регулирование отпуска теплоты в интервале температур наружного воздуха от t_H^* до температуры наружного для проектирования системы отопления t_o соответственно отопительно-бытовому графику.

3.5 Пример расчета и построения графика центрального качественного регулирования отпуска теплоты в открытых системах теплоснабжения по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (скорректированный температурный график)

Построить для открытой системы теплоснабжения график центрального качественного регулирования отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения (скорректированный температурный график) по следующим исходным данным:

1. Расчетный расход теплоты на отопление Q_{omax} = 39,16 МВт;
2. Расчетный расход теплоты на горячее водоснабжение Q_{hm} = 8,14 МВт:
3. Температура горячей воды в системе горячего водоснабжения t_h = 60°С;
4. Температура холодной воды t_c = 5°С;
5. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления t_o = - 35°С;
6. Температура воздуха в отапливаемых помещениях t_i = 18°С;
7. Расчетная температура сетевой воды в прямом теплопроводе τ_1 = 130°С;
8. Расчетная температура воды в обратном теплопроводе τ_2 = 70°С.

Местные системы отопления присоединяются по зависимым схемам.

Решение:

Предварительно определим коэффициент $\rho = Q_{hm}/Q_{omax}$.

$$\rho = \frac{8,14}{39,16} = 0,21$$

Следовательно, регулирование отпуска теплоты необходимо осуществлять по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. При таком методе регулирования в тепловой сети поддерживается температурный режим по скорректированному (повышенному) температурному графику. График строится на основе отопительно-бытового, расчет которого проведен в примере 3.2.

Учтем, что в связи с непосредственным водоразбором на горячее водоснабжение, график имеет срезку на 60°С. Проводим от оси температур теплоносителей прямую, параллельную оси абсцисс, на уровне 60°С до пересечения с графиком $\tau_{2o} = f(t_H)$, и, проектируя точку пересечения на ось температур наружного воздуха, определим точку излома графика: t_H^* = - 21°С. Таким образом, в интервале температур наружного воздуха от – 21 до – 35°С, когда температура сетевой воды в обратном теплопроводе выше 60°С, водоразбор на горячее теплоснабжение осуществляется только из обратного теплопровода. Тогда регулирование отпуска теплоты соответствует отопительному графику. В интервале температур от +8°С до – 21°С регулирование отпуска теплоты должно осуществляться согласно скорректи-

рованному температурному графику. При этом относительный расход сетевой воды на отопление определяется по (3.12).

$$\overline{G}_0 = \frac{G_0}{G_{0\max}} = \frac{1 - 0{,}5 \cdot \rho^{\delta} \cdot \dfrac{\Theta}{t_h - t_c}}{1 + \dfrac{t_h - t_i}{t_h - t_c} \cdot \dfrac{\rho^{\delta}}{\overline{Q}_0} - \dfrac{\Delta t}{t_h - t_c} \cdot \dfrac{\rho^{\delta}}{\overline{Q}_0^{0,2}}}$$

В этом уравнении найдем составляющие:

$$\rho^{\delta} = \frac{Q_{hm}^{\delta}}{Q_{o\max}} = \frac{\chi \cdot Q_{hm}}{Q_{o\max}} = \frac{1{,}1 \cdot 8{,}14}{39{,}16} = 0{,}23;$$

$$\Theta = 95 - 79 = 25^{o}\text{C};$$

$$\Delta t = \frac{\tau_3 + \tau_2}{2} - t_i = \frac{95 + 70}{2} - 18 = 64{,}5^{o}\,C$$

$$\overline{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q_{0\max}} = \frac{t_i - t_H}{t_i - t_o},$$

Тогда определим значения относительного расхода теплоты на отопление для температуры наружного воздуха $t_H = +8^{o}$C.

$$\overline{Q}_0 = \frac{18 - 8}{18 + 35} = 0{,}19$$

Затем определим величину относительного расхода сетевой воды:

$$\overline{G}_o = \frac{1 - 0{,}5 \cdot 0{,}23 \cdot \dfrac{25}{60 - 5}}{1 + \dfrac{60 - 18}{60 - 5} \cdot \dfrac{0{,}23}{0{,}19} - \dfrac{64{,}5}{60 - 5} \cdot \dfrac{0{,}23}{0{,}19^{0,2}}} = 0{,}41$$

Далее аналогично определяем относительные расходы теплоты на отопление и относительные расходы сетевой воды ($\overline{Q}_o, \overline{G}_o$) при температурах наружного воздуха от $+8^{O}$C до -21^{o}C. Задаемся значениями температур наружного воздуха t_H : + 5,0, -5, -10, -15; -21^{O}C.

Составим расчетную формулу:

$$\overline{G}_0 = \frac{0{,}948}{1 + \dfrac{0{,}18}{\overline{Q}_0} - \dfrac{0{,}2691}{\overline{Q}_0^{0,2}}}$$

При $t_H = +5^{o}$C

$$\overline{Q}_0 = \frac{18 - 5}{53} = 0{,}25$$

$$\overline{G}_0 = \frac{0{,}948}{1 + \dfrac{0{,}18}{0{,}25} - \dfrac{0{,}2691}{0{,}25^{0,2}}} = 0{,}69$$

При $t_H = 0^oC$

$$\overline{Q_0} = \frac{18}{53} = 0{,}34$$

$$\overline{G_0} = \frac{0{,}948}{1 + \frac{0{,}18}{0{,}34} - \frac{0{,}2691}{0{,}34^{0{,}2}}} = 0{,}79$$

При $t_H = -\ 5^oC$

$$\overline{Q_0} = \frac{18 + 5}{53} = 0{,}43$$

$$\overline{G_0} = \frac{0{,}948}{1 + \frac{0{,}18}{0{,}43} - \frac{0{,}2691}{0{,}43^{0{,}2}}} = 0{,}86$$

При $t_H = -\ 10^0C$

$$\overline{Q_0} = \frac{18 + 10}{53} = 0{,}53$$

$$\overline{G_0} = \frac{0{,}948}{1 + \frac{0{,}18}{0{,}53} - \frac{0{,}2691}{0{,}53^{0{,}2}}} = 0{,}92$$

При $t_H = -15^oC$

$$\overline{Q_0} = \frac{18 + 15}{53} = 0{,}62$$

$$\overline{G_0} = \frac{0{,}948}{1 + \frac{0{,}18}{0{,}62} - \frac{0{,}2691}{0{,}62^{0{,}2}}} = 0{,}95$$

При $t_H = -\ 21^oC$

$$\overline{Q_0} = \frac{18 + 21}{53} = 0{,}74$$

$$\overline{G_0} = \frac{0{,}948}{1 + \frac{0{,}18}{0{,}74} - \frac{0{,}2691}{0{,}74^{0{,}2}}} = 0{,}99 \approx 1$$

Полученные результаты сводим в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Результаты расчета скорректированного температурного графика

Параметр	Температура наружного воздуха, ^oC						
	+8	+5	0	- 5	-10	-15	- 21
$\overline{Q_0}$	0,19	0,25	034	0,43	0,53	0,62	0,74
$\overline{G_0}$	0,41	0,69	0,79	0,86	0,92	0,95	1,0
$\tau_{1п}$	57,5	56,5	65,7	74,6	84,2	93,0	103,8
$\tau_{2п}$	29,7	37,4	39,8	44,6	49,6	53,8	59,4

Температуру воды в прямом и обратном теплопроводах определяем по уравнениям (3.11).

$$\tau_{1n} = t_i + \frac{\overline{Q_0}}{\overline{G_0}} \cdot (\Delta\tau + \Delta t \cdot \frac{\overline{G_0}}{\overline{Q_0}^{0,2}} - 0{,}5\Theta);$$

$$\tau_{2n} = t_i + \frac{\overline{Q_0}}{\overline{G_0}} \cdot (\Delta t \cdot \frac{\overline{G_0}}{\overline{Q_0}^{0,2}} - 0{,}5\Theta),$$

Причем уже определены величины $\Delta t = 64{,}5^oC$; $\theta = 25^oC$; $\Delta\tau = 60^oC$

Задаемся значениями температур: + 5; 0; - 5; - 10; - 15; - 21^oC, определяем температуры сетевой воды.

При $t_H = +8^oC$;

$$\tau_{1n} = 18 + \frac{0{,}19}{0{,}41} \cdot \left(60 + 64{,}5 \cdot \frac{0{,}42}{0{,}19^{0,2}} - 0{,}5 \cdot 25\right) = 57{,}5^0\, C$$

$$\tau_{2n} = 18 + \frac{0{,}19}{0{,}41} \cdot (64{,}5 \cdot \frac{0{,}42}{0{,}19^{0,2}} - 12{,}5) = 29{,}7^o\, C$$

При $t_H = +5^oC$;

$$\tau_{1n} = 18 + \frac{0{,}25}{0{,}69} \cdot (60 + 64{,}5 \cdot \frac{0{,}69}{0{,}25^{0,2}} - 12{,}5) = 56{,}5^o\, C$$

$$\tau_{2n} = 18 + \frac{0{,}25}{0{,}69} \cdot (64{,}5 \cdot \frac{0{,}69}{0{,}25^{0,2}} - 12{,}5) = 37{,}4^o\, C$$

При $t_H = 0^oC$

$$\tau_{1n} = 18 + \frac{0{,}34}{0{,}79} \cdot (60 + 64{,}5 \cdot \frac{0{,}79}{0{,}34^{0,2}} - 12{,}5) = 65{,}7^o\, C$$

$$\tau_{2n} = 18 + \frac{0{,}34}{0{,}79} \cdot (64{,}5 \cdot \frac{0{,}79}{0{,}34^{0,2}} - 12{,}5) = 39{,}8^o\, C$$

При $t_H = -5^oC$

$$\tau_{1n} = 18 + \frac{0{,}43}{0{,}86} \cdot (60 + 64{,}5 \cdot \frac{0{,}86}{0{,}43^{0,2}} - 12{,}5) = 74{,}6^o\, C$$

$$\tau_{2n} = 18 + \frac{0{,}43}{0{,}86} (64{,}5 \cdot \frac{0{,}86}{0{,}43^{0,2}} - 12{,}5) = 44{,}6^o\, C$$

При $t_H = -10^oC$

$$\tau_{1n} = 18 + \frac{0{,}53}{0{,}92} \cdot (60 + 64{,}5 \cdot \frac{0{,}92}{0{,}53^{0,2}} - 12{,}5) = 84{,}2^o\, C$$

$$\tau_{2n} = 18 + \frac{0{,}53}{0{,}92} \cdot (64{,}5 \cdot \frac{0{,}92}{0{,}53^{0,2}} - 12{,}5) = 49{,}6^0$$

При t_H = - 15°С

$$\tau_{1n} = 18 + \frac{0,62}{0,95} \cdot (60 + 64,5 \cdot \frac{0,95}{0,62^{0,2}} - 12,5) = 93,0^{o}\,C$$

$$\tau_{2n} = 18 + \frac{0,62}{0,95} \cdot (64,5 \cdot \frac{0,95}{0,62^{0,2}} - 12,5) = 53,8^{o}\,C$$

При t_H = -21°С

$$\tau_{1n} = 18 + \frac{0,74}{1,0} \cdot (60 + 645 \cdot \frac{1}{0,74^{0,2}} - 12,5) = 103,8^{o}\,C$$

$$\tau_{2n} - 18 + \frac{0,74}{1,0} \cdot (64,5 \cdot \frac{1}{0,74^{0,2}} - 12,5) = 59,4^{o}\,C$$

Полученные значения температур сетевой воды также сводим в таблицу 3.2.

Затем по полученным значениям температур сетевой воды в прямом и обратном теплопроводах строим скорректированный график центрального качественного регулирования (рис.3.3).

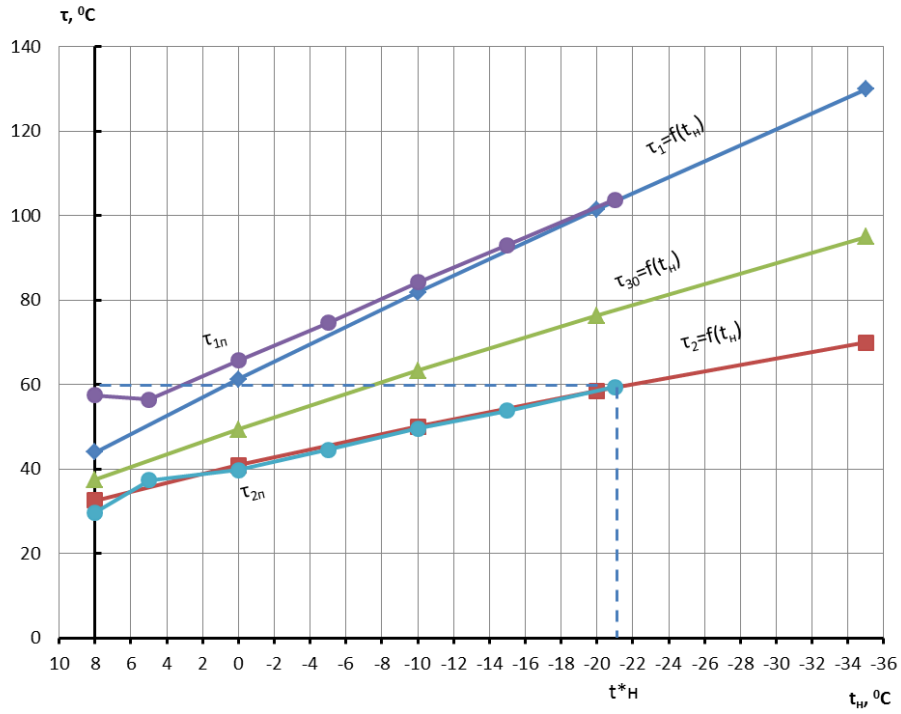


Рисунок 3.3. Скорректированный график центрального качественного регулирования для открытых систем теплоснабжения

Контрольные вопросы к разделу 3

1. Почему возникает необходимость регулирования тепловой нагрузки?

2. Назовите виды регулирования.

3. Какой вид регулирования применяется в водяных тепловых сетях?

4. Когда принимают регулирование по нагрузке отопления?

5. Какой график поддерживается в тепловой сети, когда производится регулирование по нагрузке отопления?

6. Приведите принцип построения графика центрального качественного регулирования.

7. В каком случае возникает необходимость корректировать отопительный график?

8. Объясните построение точки излома отопительно-бытового графика и ее физический смысл.

9. Как присоединяют водоподогреватели горячего водоснабжения к тепловым водяным сетям?

10. В каком случае принимают центральное качественное регулирование отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

11. При каком способе регулирования отпуска теплоты в тепловой сети поддерживается повышенный температурный график?

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

4.1 Закрытые системы теплоснабжения

При качественном регулировании отпуска теплоты расчетные расходы сетевой воды на отопление и вентиляцию, т/ч, определяются по формулам:

$$G_{o\max} = \frac{Q_{o\max}}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)}, \qquad G_{V\max} = \frac{Q_{V\max}}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)} \tag{4.1}$$

где τ_1, τ_2 – расчетные температуры сетевой воды соответственно в прямом и обратном теплопроводах при температуре t_o, ^oC; Q_{omax}, Q_{Vmax} – соответственно максимальные тепловые потоки на отопление и вентиляцию при t_o, Вт; с – удельная массовая теплоемкость воды, кДж/(кг ^oC).

Расчетные расходы сетевой воды на горячее водоснабжение зависят от схемы присоединения водоподогревателей и определяются по следующим формулам в зависимости от схемы присоединения водоподогревателей:

а) при параллельной схеме присоединения:

- среднечасовой

$$G_{2hm} = \frac{Q_{hm}}{c \cdot (\tau_1' - \tau_2')}; \tag{4.2}$$

- максимальный

$$G_{2h\max} = \frac{Q_{h\max}}{c \cdot (\tau_1' - \tau_3')}; \quad (4.3)$$

б) при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей:

- среднечасовой

$$G_{3hm} = \frac{Q_{hm}}{c \cdot (\tau_1' - \tau_2')} \cdot \left(\frac{55 - t'}{55 - t_c} + 0{,}2 \right); \quad (4.4)$$

- максимальный

$$G_{3h\max} = \frac{0{,}55 \cdot Q_{h\max}}{c \cdot (\tau_1' - \tau_2')}, \quad (4.5)$$

где τ_1', τ_2' - температура воды в прямом и обратном теплопроводах в точке излома графика температур воды, ^{o}C; τ_3' - температура воды после параллельно включенного водоподогревателя при $t_{H,}'$ Рекомендуется принимать при τ_3' = 30^{o}C.

Затем определяется суммарный расчетный расход сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях при качественном регулировании по отопительной нагрузке

$$G_d = G_{o\max} + G_{v\max} + k_3 \cdot G_{ihm}, \quad (4.6)$$

где $К_З$ – коэффициент, учитывающий долю среднего расхода воды на горячее водоснабжение. Принимается в зависимости от мощности системы теплоснабжения: для систем с тепловым потоком $Q_\Sigma \geq 100 MBm$ $К_З$ = 1,0; для систем с $Q_\Sigma \prec 100 MBm$ при отсутствии баков-аккумуляторов $К_З$ =1,2; при наличии баков-аккумуляторов $К_З$ =1,0.

Для потребителей при отношении расходов теплоты $Q_{hm}/Q_{omax} \geq 1$ при отсутствии баков-аккумуляторов, а также с тепловым потоком 10 МВт и менее, суммарный расчетный расход воды определяется по формуле:

$$G_d = G_{o\max} + G_{v\max} + G_{h\max} \ . \quad (4.7)$$

При центральном качественном регулирования отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения определяется как сумма расходов воды на отопление и вентиляцию без учета нагрузки горячего водоснабжения ($К_З$ = 0).

$$G_d = G_{O\max} + G_{V\max} \quad (4.8)$$

Расчетный расход воды в неотопительный период определяют по формуле:

$$G_d^s = \beta \cdot G_{2h\max}, \quad (4.9)$$

- где $G_{2h\ max}$ – максимальный расход сетевой воды на горячее водоснабжение, при всех схемах присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения, определяется по формуле (4.3), в которой тепловую нагрузку на горячее водоснабжение определяют с учетом повышения температуры холодной воды до 15°С;
- β – коэффициент, учитывающий изменение расхода воды на горячее водоснабжение в неотопительный период по отношению к отопительному; принимается для жилищно-коммунального сектора равным 0,8; для курортных и южных городов β = 1,5; для промышленных предприятий β = 1,0.

4.2 Пример расчета расходов теплоносителей для закрытой системы теплоснабжения

Определить расчетные расходы сетевой воды в закрытой тепловой сети системы теплоснабжения г. Тюмени при качественном регулировании отпуска теплоты, необходимые для определения диаметров труб и гидравлического расчета по следующим исходным данным:

1. Расход теплоты на отопление: $Q_{o\ max}$ = 39,16 МВт;
2. Расход теплоты на вентиляцию: $Q_{v\ max}$ = 4,7 МВт.
3. Расход теплоты на горячее водоснабжение:

среднечасовой Q_{hm} = 8,14 МВт
максимальный Q_{hmax} = 19,54 Мвт

Решение:

Для определения расхода сетевой воды примем уравнение (4.1).

$$G_{o\max} = \frac{Q_{o\max}}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)},$$

$$G_{V\max} = \frac{Q_{V\max}}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)}$$

При этом температуры сетевой воды в прямом и обратном трубопроводах составляют: τ_1 = 130°С, в обратном τ_2 = 70°С, теплоемкость сетевой воды с = 4,198 $\frac{кДж}{кг \cdot К}$

Определим расход сетевой воды на отопление:

$$G_{O\max} = \frac{39{,}16 \cdot 10^6}{4{,}198 \cdot 10^3 \cdot (130 - 70)} = 155{,}5 кг/с = 559{,}8 т/ч$$

Определим расход сетевой воды на вентиляцию:

$$G_{V\max} = \frac{4{,}7 \cdot 10^6}{4{,}198 \cdot 10^6 \cdot (130 - 70)} = 18{,}66 кг/с = 67{,}17 т/ч$$

Расчетные расхода сетевой воды на горячее водоснабжение зависят от схемы присоединения водоподогревателей. Определим вид схемы подключения водоподогревателей по соотношению тепловых нагрузок:

$$\frac{Q_{h\max}}{Q_{o\max}} = \frac{19{,}54}{39{,}16} = 0{,}49$$

Следовательно, водоподогреватели подключаются по двухступенчатой схеме.

Тогда для определения расхода сетевой воды принимаем уравнения (4.4) и (4.5).

- среднечасовой

$$G_{3hm} = \frac{Q_{hm}}{c \cdot (\tau_1' - \tau_2')} \cdot \left(\frac{55 - t'}{55 - t_c} + 0{,}2 \right) = \frac{8{,}14 \cdot 10^6}{4{,}198 \cdot 10^3 \cdot (70 - 42)} \cdot \left(\frac{55 - 15}{55 - 5} \right) = 55{,}4 кг/с = 199{,}4 т/ч$$

- максимальный

$$G_{3h\max} = \frac{0{,}55 \cdot Q_{h\max}}{c \cdot (\tau_1' - \tau_2')} = \frac{0{,}55 \cdot 19{,}54 \cdot 10^6}{4{,}198 \cdot 10^3 (72 - 42)} = 85{,}33 кг/с = 307{,}2 т/ч,$$

Суммарный расчетный расход сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях при качественном регулировании по отопительной нагрузке

$$G_d = G_{o\max} + G_{v\max} + k_3 \cdot G_{ihm},$$

Так как для приведенного примера расчета системы теплоснабжения г. Тюмени соотношение нагрузок $Q_{hm}/Q_{omax} \geq 0{,}15$ (8,14 МВт/39,16 МВт = 0,2), то проводится центральное качественное регулирование отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

Тогда расчетный расход сетевой воды в двухтрубных водяных тепловых сетях определяется как сумма расходов воды на отопление и вентиляцию без учета нагрузки горячего водоснабжения ($К_3$=0).

$$G_d = G_{o\max} + G_{v\max} = 155{,}5 + 18{,}66 = 174{,}2 кг/с = 559{,}8 + 67{,}17 = 626{,}97 т/ч$$

Расчетный расход воды в неотопительный период определим по формуле (4.9):

$$G_d^s = \beta \cdot G_{3h\max} = 0{,}8 \cdot 85{,}33 = 68{,}26 кг/с = 245{,}8 т/ч$$

4.3 Открытые системы теплоснабжения

Расчетные расходы сетевой воды на отопление, вентиляцию определяют по формулам (4.1)

$$G_{o\max} = \frac{Q_{o\max}}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)},$$

$$G_{V\max} = \frac{Q_{V\max}}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)}$$

На горячее водоснабжение – по следующим уравнениям:

Среднечасовой -

$$G_{1hm} = \frac{Q_{hm}}{c \cdot (t_h - t_c)}; \qquad (4.10)$$

максимальный –

$$G_{1hm} = \frac{Q_{h\max}}{c \cdot (t_h - t_c)}; \qquad (4.11)$$

Суммарный расчетный расход сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях при качественном регулировании отпуска теплоты по отопительной нагрузке определятся по формуле (4.7):

$G_d = G_{o\max} + G_{v\max} + k_3 \cdot G_{ihm}$,

где коэффициент $К_3$ принимается равным:

для систем с тепловым потоком $Q_\Sigma \geq 100$МВт $К_3 = 0{,}6$: для систем с $Q_\Sigma < 100$ МВт $К_3 = 0{,}8$;

для потребителей с $Q_{hmax}/Q_{omax} \geq 1$ при отсутствии баков-аккумуляторов, а также с тепловым потоком 10 МВт и менее, суммарный расчетный расход воды определяют по формуле (4.7):

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

При центральном качественном регулировании отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения расчетный расход воды в двухтрубных сетях определяют без учета нагрузки на горячее водоснабжение по формуле (4.8):

$$G_d = G_{O\max} + G_{V\max}$$

В неотопительный период расчетные расходы воды в подающем и обратном теплопроводах не одинаковы, как в закрытых системах. При этом расход сетевой воды в подающем трубопроводе G_d^s определяют по формуле:

$$G_d^s = \beta \cdot G_{1h\max},$$

в которой максимальный расход воды на горячее водоснабжение G_{1hmax} находят по формуле

$$G_{1hm} = \frac{Q_{h\max}}{c \cdot (t_h - t_c)};$$

Следует учитывать, что максимальный расход воды на горячее водоснабжение находят при условии, что температура холодной воды принимается равной $t_c^s = 15^0$С.

Расход сетевой воды в обратном трубопроводе принимают в размере 10% от расчетного расхода воды в подающем трубопроводе.

4.4 Пример расчета расходов теплоносителей для открытой системы теплоснабжения

Определить расчетные расходы сетевой воды в открытой тепловой сети системы теплоснабжения г. Тюмени при качественном регулировании отпуска теплоты, необходимые для определения диаметров труб и гидравлического расчета по следующим исходным данным:

1. Расход теплоты на отопление: $Q_{o\ max}$ = 39,16 МВт;
2. Расход теплоты на вентиляцию: $Q_{v\ max}$ = 4,7 МВт.
3. Расход теплоты на горячее водоснабжение:

среднечасовой Q_{hm} = 8,14 МВт

максимальный Q_{hmax} = 19,54 МВт.

Решение:

Расчетные расходы сетевой воды на отопление, вентиляцию определяют по формулам (4.1)

$$G_{o\max} = \frac{Q_{o\max}}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)},$$

$$G_{V\max} = \frac{Q_{V\max}}{c \cdot (\tau_1 - \tau_2)}$$

При этом температуры сетевой воды в прямом и обратном трубопроводах составляют: τ_1 = 130° С, в обратном τ_2 = 70° С, теплоемкость сетевой воды с = 4,198 кДж/кг К.

Определим расход сетевой воды на отопление:

$$G_{O\max} = \frac{39{,}16 \cdot 10^6}{4{,}198 \cdot 10^3 \cdot (130 - 70)} = 155{,}5 кг/с = 559{,}8 т/ч$$

Определим расход сетевой воды на вентиляцию:

$$G_{V\max} = \frac{4{,}7 \cdot 10^6}{4{,}198 \cdot 10^6 \cdot (130 - 70)} = 18{,}66 кг/с = 67{,}17 т/ч$$

При центральном качественном регулировании отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения расчетный расход воды в двухтрубных сетях определяют без учета нагрузки на горячее водоснабжение по формуле (4.8):

$$G_d = G_{O\max} + G_{V\max} = 155{,}5 + 18{,}66 = 174{,}16 кг/с = 559{,}8 + 67{,}17 = 626{,}97 т/ч$$

Расчетный расход воды на горячее водоснабжение определим по уравнениям (4.10), (4.11):

- среднечасовой:

$$G_{1hm} = \frac{Q_{hm}}{c \cdot (t_h - t_c)} = \frac{8{,}14 \cdot 10^6}{4{,}198 \cdot 10^3 \cdot (55 - 5)} = 38{,}78 кг/с = 139{,}6 т/ч$$

-максимальный:

$$G_{1hm} = \frac{Q_{hm}}{c \cdot (t_h - t_c)} = \frac{19{,}54 \cdot 10^6}{4{,}198 \cdot 10^3 \cdot (55 - 5)} = 93{,}09 кг/с = 335{,}1 т/ч$$

В неотопительный период расчетные расходы сетевой воды в подающем и обратном трубопроводе определим отдельно для подающего и обратного теплопроводов. Расход сетевой воды в подающем трубопроводе G_d^s определяют по формуле:

$$G_d^s = \beta \cdot G_{1h\max}.$$

При этом максимальный расход воды на горячее водоснабжение G_{1hmax} находят при условии, что температура холодной воды в летний период $t_c^s=15^0$С.

$$G_{1hm} = \frac{Q_{h\max}}{c \cdot (t_h - t_c)} = \frac{19{,}54 \cdot 10^6}{4{,}198 \cdot 10^3 \cdot (55-15)} = 116{,}4кг/ч = 419{,}04т/ч;$$

Тогда в неотопительный период для условий г. Тюмени расход воды открытой системы теплоснабжения будет равен:

$$G_d^s = \beta \cdot G_{1h\max} = 0{,}8 \cdot 419{,}04 = 93{,}12кг/с = 335{,}2т/ч$$

Расход воды в обратном теплопроводе принимают равным 10% от расчетного расхода воды в подающем теплопроводе, т.е.

G_d^s = 9,312 кг/с = 33,52 т/ч.

Контрольные вопросы к разделу 4

1. По каким формулам определяются расчетные расходы сетевой воды на отопление и вентиляцию при качественном регулировании отпуска теплоты в закрытых системах?
2. Как определить вид схемы подключения водоподогревателей в закрытой системе?
3. По какой формуле определяют расчетный расход воды в неотопительный период в закрытых системах теплоснабжения?
4. Чему равен суммарный расчетный расход сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях при качественном регулировании по отопительной нагрузке в закрытых системах теплоснабжения?
5. По какой формуле определяют расчетный расход воды в неотопительный период в закрытых системах теплоснабжения?
6. Какие численные значения принимает коэффициент, учитывающий изменение расхода воды на горячее водоснабжение в неотопительный период по отношению к отопительному для жилищно-коммунального сектора, для курортных и южных городов , для промышленных предприятий ?
7. В открытых системах теплоснабжения расчетные расходы сетевой воды на отопление, вентиляцию определяют по каким формулам?
8. В открытых системах теплоснабжения расход воды на горячее водоснабжение определяют с помощью какой формулы?
9. По какой формуле определится суммарный расчетный расход сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях при качественном регулировании отпуска теплоты по отопительной нагрузке в открытых системах?

10. В формуле суммарного расчетного расхода сетевой воды принимается равным коэффициент К3?

11. Как определить в неотопительный период расчетные расходы сетевой воды в подающем и обратном трубопроводе для открытой системы теплоснабжения?

12. Как соотносятся между собой расчетные расходы воды в подающем и обратном теплопроводах в неотопительный период для открытых систем (одинаковы или нет)?

13. При какой температуре холодной воды определяют максимальный расход воды на горячее водоснабжение в открытых системах теплоснабжения?

14. Как связаны между собой расходы сетевой воды в обратном и подающем трубопроводах открытых систем теплоснабжения?

5. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Проектирование тепловых сетей начинается с выбора трассы и способа прокладки теплопроводов. В городах и прочих населенных пунктах трасса должна проходить в отведенных для инженерных сетей технических полосах, параллельных красным линиям улиц, дорог и проездов, вне проезжей части и полосы зеленых насаждений. А внутри микрорайонов и кварталов – вне проезжей части дорог. При выборе трассы теплопроводов необходимо учитывать экономичность и надежность работы тепловых сетей. Наиболее экономичной является тупиковая схема.

Выбор способа прокладки теплопроводов – надземный или подземный – принимается с учетом местных условий и технико-экономического обоснования. В жилых районах из архитектурных соображений обычно применяют подземную прокладку. Практикой установлено, что надземные теплопроводы долговечнее и более ремонтопригодны по сравнению с подземными. Поэтому желательно хотя бы частичного применения в городах надземных теплопроводов на низких, отдельно стоящих опорах. В первую очередь – на окраинах городов, в промышленных зонах, а также в районах, не подлежащих застройке.

При выборе трассы теплосети необходимо выдерживать нормативные расстояния от их строительных конструкций до зданий, сооружений и инженерных коммуникаций. Допускается пересечение распределительными теплопроводами диаметром до 300 мм жилых и общественных зданий при условии прокладки труб в технических коридорах с устройством дренирующего колодца в нижней точке на выходе из здания.

При выборе трассы предусматривается один ввод тепловых сетей в каждый квартал. В крупные кварталы допускается устраивать по два ввода.

Также допускается подключать рядом расположенные квартала из одной тепловой камеры.

В курсовом проекте необходимо применять унифицированные типовые конструкции сборных железобетонных каналов, размеры которых соответствуют диаметрам теплопроводов (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Основные типы сборных железобетонных каналов для тепловых сетей

Условный диаметр труб, D_y., мм	Марка канала	Размеры канала, мм		Расстояния ,мм		
		внутренние	наружные	От стенки канала до изоляции	между изоляционными поверхностями	От изоляции до дна канала
50	КЛ 60-40	600×450	850×630	70	100	100
80	КЛ 90-60	900×600	1150×780	70	100	100
100	КЛ 90-60	900×600	1150×780	80	140	150
150	КЛ 90-60	900×600	1150×780	80	140	150
200	КЛ 120-60	1200×600	1450×780	80	140	150
250	$КЛ_с$ 150-90	1500×900	1740×1070	80	140	150
300	$КЛ_с$ 150-90	1500×900	1740×1070	80	160	150
400	$КЛ_с$ 210-120	2100×1200	2380×1470	100	200	180
500	$КЛ_с$ 210-120	2100×1200	2380×1470	100	200	180
600	$КЛ_с$210-120	2100×1200	2380×1470	110	200	180
700	$КЛ_с$210-120	2100×1200	2380×1470	110	200	180
700	ТЛ 240-180	2400×1800	2780×2140	110	200	180
800	ТЛ 240-180	2400×1800	2780×2140	120	250	200
1000	ТЛ240-180	2400×1800	3380×2180	120	250	300

Примечание. Расстояние от перекрытия канала до изоляции следует принимать:
Для труб $Д_у$ = 25-250 мм не менее 50 мм,
$Д_у$ = 200-400 мм не менее 70 мм,
$Д_у$ = 500 мм и более-100 мм

Выбор труб и арматуры при проектировании тепловых сетей осуществляется по рабочему давлению и температуре теплоносителя. Надежность и экономичность теплоснабжения повышается при использованию предизолированных труб. Подземные бесканальные предизолированные трубопроводы являются механической конструкцией, состоящей из стальной трубы, пенополиуретановой теплоизоляции и наружной полиэтиленовой трубы-оболочки, которые жестко связаны между собой и вместе с окружающим теплопроводом грунтом образуют единую систему. При этом при использовании предизолированных труб вместо задвижек применяются запорные клапаны, что позволяет заменить железобетонные теплофикационные камеры на сборные клапанные камеры.

После выбора трассы и способа прокладки тепловых сетей выполняется гидравлический расчет, в ходе которого определяют диаметры теплопро-

водов. Для проведения гидравлического расчета составляется расчетная схема. Расчетная схема вычерчивается в две линии, причем прямой (или подающий) теплопровод располагается с правой стороны по ходу движения теплоносителя от источника теплоты. На схеме проставляют номера участков (сначала по главной магистрали, а потом по ответвлениям), расходы теплоносителя (кг/с или т/ч), длины участков в метрах. В качестве главной магистрали принимается наиболее протяженная и нагруженная ветвь сети от источника теплоты (ИТ), до наиболее удаленного потребителя. В местах ответвлений к кварталам или зданиям предусматриваются тепловые камеры.

Составление схемы заключается в расстановке на трассе тепловых сетей неподвижных опор, компенсаторов и запорно-регулирующей арматуры. На узлах ответвлений размещают узловые камеры. В каждой узловой камере устанавливают неподвижную опору. На участке между двумя неподвижными опорами предусматривают компенсатор. Повороты трассы теплосети под углом 90-130^{o} используют для самокомпенсации температурных удлинений, а в местах поворотов под углом более 130^{o} устанавливают неподвижные опоры.

5.1 Пример составления расчетной схемы для проведения гидравлического расчета

В соответствии с исходными данными плана 4 кварталов города (рис.2.1) составим расчетную схему (рис.5.1). Выделим главную магистраль, которую составляют участки 1 и 2; покажем ответвления, которые составляют участки 3 и 4, а также 5 и 6.

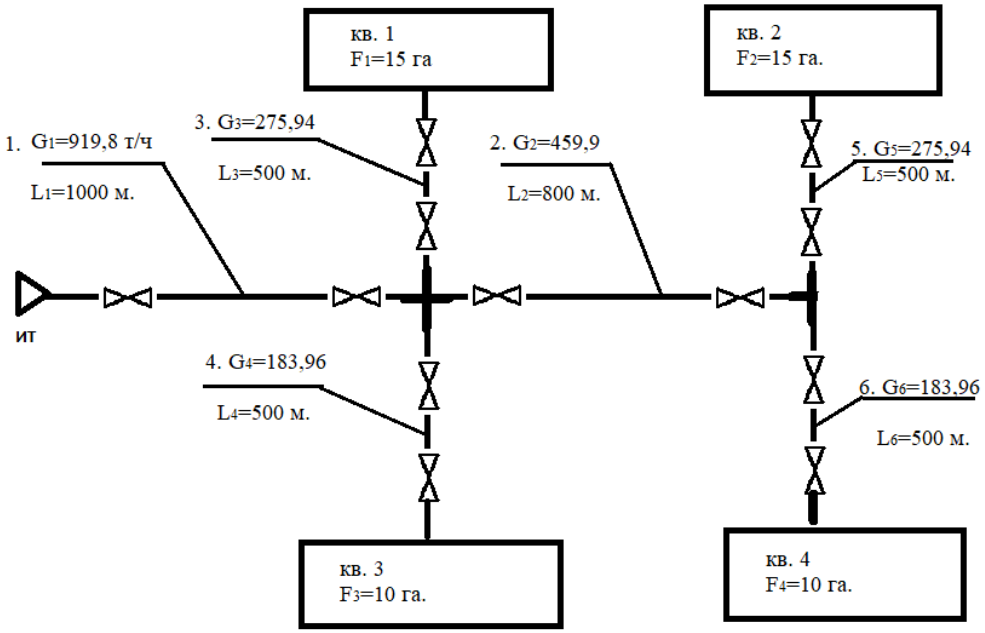


Рисунок 5.1. Расчетная схема для гидравлического расчета

На схеме рис.5.1. показано положение источника теплоты (ИТ), на каждом участке проставлены расходы воды (т/ч), и длина участка в метрах. (В числителе соответственно расход сетевой воды, в знаменателе длина участка).

Контрольные вопросы к разделу 5

1. С чего начинается проектирование тепловых сетей?
2. Как должна проходить трасса в городах и прочих населенных пунктах?
3. Как должна проходить трасса тепловых сетей внутри жилых микрорайонах и кварталах?
4. Какая схема трассы тепловых сетей наиболее экономична?
5. Как проводится выбор способа прокладки теплопроводов?
6. Какой способ прокладки применяют в жилых районах из архитектурных соображений?
7. Когда необходимо применять унифицированные типовые конструкции сборных железобетонных каналов?
8. Как осуществляется выбор труб и арматуры при проектировании тепловых сетей ?
9. Что представляют собой подземные бесканальные предизолированные трубопроводы?
10. Какой вид расчета выполняется после выбора трассы и способа прокладки тепловых сетей?
11. Как составляется расчетная схема для проведения гидравлического расчета?
12. Как расположен на расчетной схеме прямой (или подающий) теплопровод?
13. Какая информация должна находиться на расчетной схеме?
14. Какая ветвь сети принимается в качестве главной магистрали?
15. Что предусматривают в местах ответвлений к кварталам или зданиям?
16. В чем заключается составление монтажной схемы?

6. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В задачу гидравлического расчета входит определение диаметров теплопроводов, давления в различных точках сети и потерь давления на участках.

Потери давления состоят из потерь давления на трение по длине трубопровода (линейные потери) и в местных сопротивлениях и определяются по формуле:

$$\Delta p = \Delta p_{тр} + \Delta p_{м}$$

Потери давления на трение, Па, определяются по формуле:

$$\Delta p_{тр} = \frac{\lambda}{d} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot l = R \cdot l,$$

где λ- коэффициент гидравлического сопротивления, безразмерная величина; d,l – соответственно внутренний диаметр и длина участка трубопровода,м; v – скорость движения теплоносителя, м/с; ρ – плотность теплоносителя, кг/м^3; R – удельное падение давления в трубопроводе, Па/м.

Удельные потери давления на трение в курсовом проекте (работе) должны приниматься для магистральных теплопроводов в пределах 30 -80 Па/м, для ответвлений – до 295 Па/м.

При заданном перепаде давления по всей сети Δp, средние удельные давления определяются по формуле:

$$R = \frac{\Delta p}{(1+\alpha) \cdot \Sigma l},$$

где α – отношение эквивалентной и фактической длин участка. Значения коэффициента местных потерь давления α, определяющее долю потерь давления в местных сопротивлениях от линейных потерь, определяется по таблице 6.1.

Таблица 6.1

Значения коэффициентов местных потерь давления

Типы компенсаторов	Условный проход труб, $Д_у$,мм	Значение коэффициента α	
		Для паропроводов	для водяных тепловых сетей и конденсатопроводов
Сальниковые	Транзитные магистрали		
	До 1000 мм	0,2	0,2
П-образные с гнутыми отводами	До 300 мм	0,5	0,3
П- образные со сварными отводами	200-350 мм	0,7	0,5
	400-500 мм	0,9	0,7
	600-1000 мм	1,2	1,0
Сальниковые	Разветвленные тепловые сети		
	До 400 мм	0,4	0,3
	450-1000 мм	0,5	0,4
П-образные с гнутыми отводами	До 150 мм	0,5	0,3
	175-200	0,6	0,4
	250-300	0,8	0,6
П-образные со сварными отводами	175-200	0,8	0,6
	300-350	1,0	0,8
	400-500	1,0	0,9
	600-1000	1,2	1,0

Потери давления в местных сопротивлениях определяют по формуле:

$$\Delta p_{м} = \Sigma\zeta \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho,$$

где $\Sigma\varsigma$ – суммарный коэффициент местных сопротивлений на участке трубопровода. Значения коэффициентов местных сопротивлений приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2

Значения коэффициентов местных сопротивлений

Коэффициенты местных сопротивлений			
Местное сопротивление	ς	Местное сопротивление	ς
Задвижка нормальная	0,5	30^{o}	0,2
Кран шаровый	,3	Отводы сварные двухшовные под углом 90^{0}	0,6
Вентиль с вертикальным шпинделем	6,0	Отводы сварные трехшовные под углом 90^{0}	0,5
Обратный клапан нормальный	7,0	Отводы гнутые под углом 90^{0} гладкие при при R/d:	
Обратный клапан «захлопка»	3,0	1	1,0
Компенсатор сильфонный	0,1	3	0,5
Компенсатор сальниковый	0,3	4	0,3
Компенсатор П-образный:		Тройник при слиянии потоков:	
С гладкими отводами	1.7	проход	1,5
С крутоизогнутыми отводами	2,4	ответвление	2,0
Со сварными отводами	2,8	Тройник при разделении потока: проход	1.0
Отводы гнутые под углом 90^{o} со складками при R/d:		ответвление	1,5
3	0,8	Тройник при потоке:	
4	0,5	расходящемся	2,0
Отводы сварные одношовные под углом, град:		встречном	3,0
$60^{o\varsigma}$	0,7	Грязевик	10,0
45^{o}	0,3		

При гидравлическом расчете потери давления в местных сопротивлениях можно заменить эквивалентными гидравлическими сопротивлениями по длине. Это такие сопротивления, при которых падение давления на трение численно равно потерям давления в местных сопротивлениях:

Тогда длина называется эквивалентной - $l_{экв}$

$$l_{ЭКВ} = \frac{\Sigma\zeta \cdot d}{\lambda},$$

а потери давления в местных сопротивлениях можно определить формулой:

$$\Delta p_{м} = R \cdot l_{"ЭКВ}$$

Значения эквивалентных длин местных сопротивлений для $\Sigma\zeta$ =1 приведены в таблице 5.3.

Общие потери давления на участке определятся по приведенной длине участка, которая определяется как сумма длины участка и эквивалентной длины: $l_{пр}= l_{ЭКВ}+l$.

$$\Delta p = R \cdot l_{пр}$$

Таблица 6.3

Значения эквивалентных длин местных сопротивлений для $\Sigma\zeta$=1

Размер трубы, мм		$l_Э$,при $к_Э$, м		
$D_у$,мм	$D_Н$×s,мм	0.0002	0,0005	0,001
32	38×2,5	1,08	0,85	0,72
40	45×2,5	1,37	1,09	0,91
50	57×3	1,85	1,47	1,24
70	76×3	2,75	2,19	1,84
80	89×4	3,3	2,63	2,21
100	108×4	4,3	3,42	2,87
125	133×4	5,68	4,52	3,8
150	159×4,5	7,1	5,7	4,8
175	194×5	9,2	7,3	6,2
200	219×6	10,7	8,5	7,1
250	273×7	14,1	11,2	9,4
300	325×8	17,6	14,0	11,8
350	377×9	21,2	16,9	14,2
400	426×9	24,9	19,8	16,7
400	426×6	25,4	20,2	17,0
450	480×7	29,4	23,4	19,7
500	530×8	33,3	26.5	22,2
600	630×9	41,4	32,9	27,7
700	720×10	48,9	38,9	32,7
800	820×10	57,8	46,0	38,7
900	920×11	66,8	53,1	44,7
1000	1020×12	76,1	60,5	50,9
1100	1120×12	85,7	68,2	57,3
1200	1220×14	95,2	95,2	63,7

Гидравлический расчет закрытой системы теплоснабжения выполняется для прямого теплопровода, принимая диаметр обратного и падения давления в нем такими же, как и в прямом. При этом расчет проводят для отопительного и неотопительного периодов.

Гидравлический расчет открытой системы теплоснабжения для отопительного периода выполняют для двух режимов:

1. При отсутствии водоразбора на горячее водоснабжение, когда расчетные расходы теплоносителя, а следовательно, и потери давления в прямом и обратном теплопроводах будут равными. Расчет проводят только для прямого теплопровода.

2. При максимальном водоразборе на горячее водоснабжение из обратного теплопровода. Тогда расчет проводят и для прямого, и для обратного теплопроводов.

6.1 Пример гидравлического расчета закрытой системы теплоснабжения

В соответствии с расчетной схемой, приведенной в п. 5.1, проведем гидравлический расчет закрытой системы теплоснабжения.

Цель гидравлического расчета – определение диаметров труб и потери давления на участках. На основе результатов гидравлического расчета строится пьезометрический график и проводится подбор сетевых и подпиточных насосов.

Определим диаметры труб для расчетной схемы закрытой системы теплоснабжения, а также потери давления на участках. Расчет проводим для прямого трубопровода, а полученные данные принимаем и для обратного трубопровода. Рассчитаем главную магистраль, а затем ответвления.

Главную магистраль составляют участки 1 и 2.

Проведем расчет в последовательности для участка 1:

1. По номограмме (рис.6.1) определим диаметр трубы и скорость течения воды, ориентируясь на удельные потери давления R = 30-80 Па/м.

В соответствии с расходом воды G_1 = 255,5 кг/с определяем внутренний диаметр трубы d = 0,462 м и удельные потери давления R = 43 Па/м; скорость течения воды при этом составит v = 1,5 м/с (разрешается скорость течения воды в теплопроводах от 0,5 до 3,5 м/с.

2. Принимаем к установке стандартную трубу $D_H \times s$ = 480×7мм (по таблице 6.3).

3. Определим виды местных сопротивлений и соответственно значения коэффициентов местных сопротивлений Значения коэффициентов местных сопротивлений принимаем по таблице 6.2. Примем к установке сальниковые компенсаторы.

На участке 1 местными сопротивлениями являются:

Задвижка – $\varsigma_{задв} = 0,5$; Тройник – $\varsigma_{тр} = 1,0$; Сальниковый компенсатор $\varsigma_{комп} = 0,3$.

По таблице 6.4 определим расстояние между компенсаторами.

Таблица 6.4

Максимальное расстояние между неподвижными опорами трубопроводов

Условный проход труб, мм	Компенсаторы П-образные	Компенсаторы сальниковые	самокомпенсация
	Расстояния между неподвижными опорами в м при параметрах теплоносителя: $p_р$ = 0,8-1,6 МПа, t = 100-150^{o}C		
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

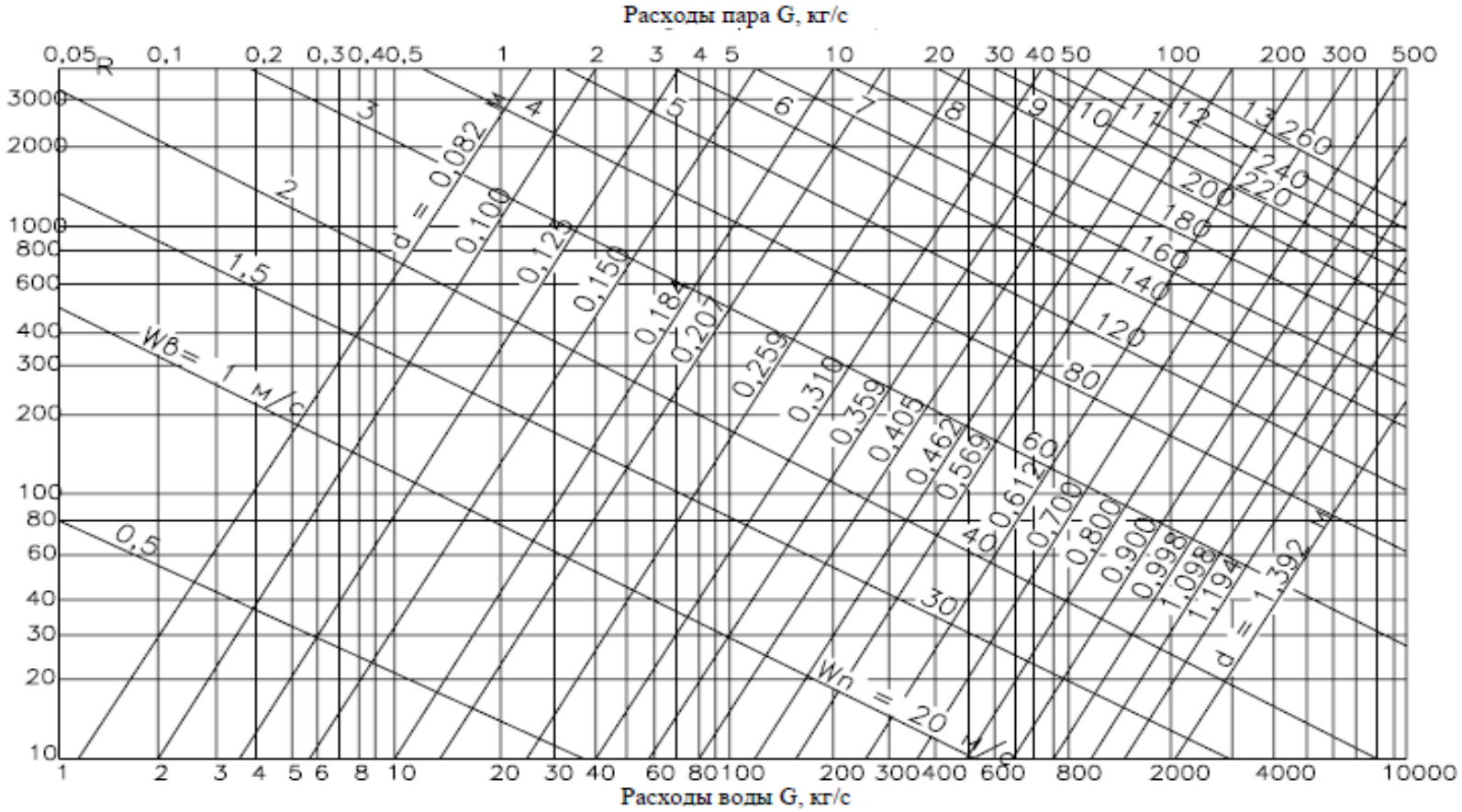


Рис. 6.1. Номограммы для гидравлического расчета трубопроводов. Удельные перепады давления R, Па/м, в стальных трубах при $к_э$=0,0005 мм

Из таблицы 6.4 расстояние между компенсаторами:
l_k = 140м; тогда число компенсаторов на участке составит:

$$n = \frac{L_{уч}}{l_k} = \frac{1000}{140} = 7{,}14$$

Примем к установке n =8 компенсаторов.

4. Определим сумму местных сопротивлений:

$$\Sigma\zeta = 2 \cdot \zeta_{зад} + \zeta_{тр} + n \cdot \zeta_{комп} = 2 \cdot 0{,}5 + 1{,}0 + 8 \cdot 0{,}3 = 4{,}4$$

5. По таблице 6.3 определим эквивалентную длину при ς =1.
$l_э$=23,4 м.
6. Эквивалентная длина участка 1

$$L_э = l_э \cdot \Sigma\zeta = 23{,}4 \cdot 4{,}4 = 102{,}96 м$$

7. Приведенная длина участка 1:

$$L_{пр} = L_{ех} + L_э = 1000 + 102{,}96 = 1102{,}96 м$$

8. Потери давления на участке:

$$\Delta p_1 = R_1 \cdot L_{пр} = 43 \cdot 1102{,}96 = 47427{,}28 Па$$

Проведем расчет в последовательности для участка 2:

1. При G = 127, 75 кг/с принимаем:
d = 0,359 м
R = 42 Па/м
v = 1,25 м/с
2. Принимаем стандартную трубу
$D_Н \times s$ = 377×9 мм
3. Местные сопротивления
задвижка – $\varsigma_{задв}$ = 0,5;
тройник – $\varsigma_{тр}$ = 1,0;
внезапное сужение $\varsigma_{суж}$ = 0,5
сальниковый компенсатор $\varsigma_{комп}$ = 0,3.
Число компенсаторов определяем в последовательности:
lk = 120м; тогда число компенсаторов на участке составит
$n = \frac{800}{120} = 6{,}67$; примем n =7
4. Определим сумму местных сопротивлений

$$\Sigma\zeta = 2 \cdot \zeta_{зад} + \zeta_{тр} + n \cdot \zeta_{rjv} + \zeta_{се;} = 2 \cdot 0{,}5 + 1{,}0 + 7 \cdot 0{,}3 + 0{,}5 = 6{,}1$$

5. По таблице 6.3 $l_э$ = 16,9 м
6. Эквивалентная длина участка

$$L_э = l_э \cdot \Sigma\zeta = 16{,}9 \cdot 6{,}1 = 103{,}09 м$$

7. Приведенная длина участка

$$L_{пр} = L_{уч} + L_э = 800 + 103{,}09 = 903{,}09 м$$

8. Потери давления

$$\Delta p_2 = R_2 \cdot L_{пр} = 42 \cdot 903{,}09 = 37929{,}78 Па$$

Приступаем к расчету ответвлений.

Расчет проводится по принципу увязки потерь давления Δp от точки деления потока до концевых точек для различных ветвей системы. Потери давления на ответвлениях должны быть равны между собой. На основании данного условия запишем уравнения увязки потерь давления для расчетной схемы.

$$\Delta p_1 = \Delta p_3 + \Delta p_4 , \quad \Delta p_3 = \Delta p_4 \qquad (1^*)$$

$$\Delta p_2 = \Delta p_5 + \Delta p_6 , \ \Delta p_5 + \Delta p_6 \qquad (2^*)$$

Проведем расчет участков 3 и 4.

Последовательность расчета ответвлений:

Участок 3:

1. Ориентировочно определяем величину удельного падения на ответвлении:

$$R_{(3,4)} = \frac{\Delta p_1}{L_{(3+4)} \cdot (1+\alpha)}$$

где α – коэффициент местных потерь давления, определяется по таблице 6.1.

Из таблицы принимаем α = 0,4. Тогда удельное падение давления

$$R_{(3,4)} = \frac{47427,28}{(500 + 5000 \cdot (1+0,4)} = 33,88 Па/м$$

2. Ориентируясь на полученную величину R = 33,88 Па/м и расходу G = 76,65 кг/с по номограмме определяем величины диаметра трубы, удельного падения давления и скорость течения воды:

d = 0,310 м;

R = 35 Па/м;

v = 1 м/с.

3. Принимаем стандартную трубу

$D_H \times s = 325 \times 8$ мм

4. Местные сопротивления

задвижка – $\varsigma_{задв} = 0,5$;

тройник на ответвление – $\varsigma_{тр} = 1,5$;

внезапное сужение $\varsigma_{суж} = 0,5$

сальниковый компенсатор $\varsigma_{комп} = 0,3$

$l_k = 100$ м, тогда число компенсаторов $n = \frac{500}{100} = 5,0$

5. Сумма местных сопротивлений

$$\Sigma\zeta = 2 \cdot \zeta_{зад} + \zeta_{тр} + n \cdot \zeta_{rjv} + \zeta_{се;} = 2 \cdot 0,5 + 1,5 + 5 \cdot 0,3 + 0,5 = 4,5$$

6. По таблице 6.3 $l_э = 14,0$ м

7. эквивалентная длина участка

$$L_э = l_э \cdot \Sigma\zeta = 14,0 \cdot 4,5 = 63 м$$

8. Приведенная длина участка

$L_{пр} = L_{уч} + L_э = 500 + 63 = 563м$

9. Потери давления

$\Delta p_3 = R_2 \cdot L_{пр} = 35 \cdot 563 = 19705Па$

Участок 4.

1. Ориентируясь на величину удельного падения давления $R_{(3,4)}$ = 33,88 Па/м, и по расходу G =51,1 кг/с определяем:

Диаметр трубопровода d = 0, 259 м

Удельное падение давление R = 38 Па/м

Скорость течения воды v = 0,9 м/с,

2. Принимаем стандартную трубу

$D_Н \times s$ = 273×7 мм

3. Местные сопротивления

задвижка – $\zeta_{задв}$ = 0,5;

тройник на ответвление – $\zeta_{тр}$ = 1,5;

внезапное сужение $\zeta_{суж}$ = 0,5

сальниковый компенсатор $\zeta_{комп}$ = 0,3

$l_к$ = 100 м, тогда число компенсаторов $n = \frac{500}{100} = 5,0$

4. Сумма местных сопротивлений

$\Sigma\zeta = 2 \cdot \zeta_{зад} + \zeta_{тр} + n \cdot \zeta_{rjv} + \zeta_{се;} = 2 \cdot 0,5 + 1,5 + 5 \cdot 0,3 + 0,5 = 4,5$

5. По таблице 6.3 lэ = 11,2 м

6. Эквивалентная длина участка

$L_э = l_э \cdot \Sigma\zeta = 11,2 \cdot 4,5 = 50,4м$

7. Приведенная длина участка

$L_{пр} = L_{уч} + L_э = 500 + 50,4 = 550,4м$

8. Потери давления

$\Delta p_4 = R_2 \cdot L_{пр} = 38 \cdot 550,4 = 20915,2Па$

9. Проверим выполнение условия (1*):

$\Delta p_1 = \Delta p_3 + \Delta p_4$, $\Delta p_3 = \Delta p_4$

47427,28 = 19705+20915, 2

47427,28 ≠ 40620,2, 19705 ≠20915,2

Так как условие увязки потерь давления ее выполняется, необходимо определить величину невязки потерь давления:

$$f = \frac{\Delta p_1 - (\Delta p_3 + \Delta p_4)}{\Delta p_1} = \frac{47427,28 - (19705 + 20915,2)}{47427,28} \cdot 100\% = 14.4\%$$

Допускается величина невязки потерь давления в пределах 5-10%. Если невозможно уравнять потери давления в рассчитываемых магистралях за счет изменения диаметров трубопроводов, избыточное давление гасится на абонентских вводах диафрагмами. Кроме того, излишний напор

на ответвлениях может быть погашен соплами элеваторов, дроссельными диафрагмами и авторегуляторами, установленными на абонентских вводах потребителей.

Следовательно, в данном примере расчета невязку потерь давления устраним при помощи диафрагмы, установленной на абонентском вводе.

Участок 5.

1. Ориентировочно определяем величину удельного падения на ответвлении, составляемом участками 5 м 6:

$$R_{(5,6)} = \frac{\Delta p_2}{L_{(5+6)} \cdot (1+\alpha)}$$

где α – коэффициент местных потерь давления, определяется по таблице 6.1.

Из таблицы принимаем α = 0,3. Тогда удельное падение давления

$$R_{(5,6)} = \frac{37929,78}{(500+5000 \cdot (1+0,3)} = 29,18 Па/м$$

2. Ориентируясь на полученную величину R = 29,18 Па/м и расходу G = 76,65 кг/с по номограмме определяем величины диаметра трубы, удельного падения давления и скорость течения воды:

d = 0,359 м;

R = 16 Па/м;

v = 0,75м/с.

3. Принимаем стандартную трубу

$D_Н \times s$ = 377×9 мм

4. Местные сопротивления

задвижка – $\zeta_{задв}$ = 0,5;

тройник на ответвление – $\zeta_{тр}$ = 1,5;

сальниковый компенсатор $\zeta_{комп}$ = 0,3

l_k = 120 м, тогда число компенсаторов $n = \frac{500}{120} = 4,17$, принимаем n =5 компенсаторов.

5. Сумма местных сопротивлений

$$\Sigma\zeta = 2 \cdot \zeta_{зад} + \zeta_{тр} + n \cdot \zeta_{rjv} + = 2 \cdot 0,5 + 1,5 + 5 \cdot 0,3 = 4,0$$

6. По таблице 6.3 $l_э$ = 16,9 м

7. Эквивалентная длина участка

$$L_э = l_э \cdot \Sigma\zeta = 16,9 \cdot 4,0 = 67,6 м$$

8. Приведенная длина участка

$$L_{пр} = L_{уч} + L_э = 500 + 67,6 = 567,6 м$$

9. Потери давления

$$\Delta p_5 = R_5 \cdot L_{пр} = 16 \cdot 567,6 = 9081,6 Па$$

Участок 6.

1. Ориентируясь на полученную величину R = 29,18 Па/м и расходу G = 51,1 кг/с по номограмме определяем величины диаметра трубы, удельного падения давления и скорость течения воды:

d = 0,310 м;

R = 17 Па/м;

v = 0,6 м/с.

2 Принимаем стандартную трубу

$D_Н \times s = 325 \times 8$ мм

3. Местные сопротивления

задвижка – $\zeta_{задв} = 0,5$;

внезапное сужение $\zeta_{суж} = 0,5$

тройник на ответвление – $\zeta_{тр} = 1,5$;

сальниковый компенсатор $\zeta_{комп} = 0,3$

l_k = 100 м, тогда число компенсаторов $n = \frac{500}{100} = 5,0$, принимаем n =5 компенсаторов.

4. Сумма местных сопротивлений

$$\Sigma\zeta = 2 \cdot \zeta_{зад} + \zeta_{тр} + n \cdot \zeta_{rjv} + \zeta_{се;} = 2 \cdot 0,5 + 1,5 + 5 \cdot 0,3 + 0,5 = 4,5$$

5. По таблице 6.3 $l_э$ = 14,0м

6. Эквивалентная длина участка

$$L_э = l_э \cdot \Sigma\zeta = 14,0 \cdot 4,5 = 63м$$

6. приведенная длина участка

$$L_{пр} = L_{уч} + L_э = 500 + 63,0 = 563м$$

7. потери давления

$$\Delta p_6 = R_5 \cdot L_{пр} = 17 \cdot 563 = 9571Па$$

8. Проверим выполнение условия (2*):

$$\Delta p_2 = \Delta p_5 + \Delta p_6 , \ \Delta p_5 + \Delta p_6$$

Подставим значения:37929,78 = 9081,6+9571

37929,78 ≠ 18652,6; 9081 ≠9571

В связи со значительной величиной невязки потерь давления проведем расчет, используя меньший диаметр трубы.

Возьмем по номограмме стандартную трубу:

$D_Н \times s = 277 \times 7$ мм

Тогда удельное падение давления R = 42 Па/м

Скорость течения воды v =1м/с.

Вносим изменения согласно последовательности расчета:

эквивалентная длина: $l_э$ = 11,2м

эквивалентная длина участка

$$L_э = l_э \cdot \Sigma\zeta = 11,2 \cdot 4,5 = 50,4м$$

приведенная длина участка

$$L_{пр} = L_{уч} + L_э = 500 + 50,4 = 550,4м$$

9. Потери давления

$$\Delta p_6 = R_5 \cdot L_{пр} = 42 \cdot 550{,}4 = 23116{,}8 Па$$

Проверим выполнение условия (2)

$$\Delta p_2 = \Delta p_5 + \Delta p_6 , \ \Delta p_5 + \Delta p_6$$

37929,78 = 23116,8+9081,6

37929,78≠32198,4; 9081.6≠23116,8

Так как условие увязки потерь давления ее выполняется, необходимо определить величину невязки потерь давления:

$$f = \frac{\Delta p_2 - (\Delta p_5 + \Delta p_6)}{\Delta p_1} = \frac{37929{,}78 - (9081{,}6 + 23116{,}8)}{37929{,}78} \cdot 100\% = 15{,}1\%$$

Допускается величина невязки потерь давления в пределах 5-10%. Тогда излишний напор на ответвлениях погасим соплами элеваторов, дроссельными диафрагмами и авторегуляторами, установленными на абонентских вводах потребителей.

Результаты гидравлического расчета сведем в таблицу 6.5

Таблица 6.5

Результаты гидравлического расчета

№ участка	G, т/ч	Длина,м			$D_H \times s$, мм	v ,м/с	R, Па/м	Δр, Па	Σр, Па
		l	$L_э$	$L_{пр}$					
1	919,8	1000	102,96	1102,96	480×7	1,5	43,0	47427,28	47427,28
2	459,9	800	103,09	903,09	377×9	1,25	42,0	37929,78	37929,78
3	275,94	500	63,0	563,0	325×8	1,0	35,0	19705	19705
4	183,96	500	50,4	550,4	273×7	0,9	38,0	20915,2	40620,2
5	275,94	500	67,6	567,6	377×9	0,75	16,0	9081,6	9081,6
6	183,96	500	50,4	550,4	273×7	1,0	42,0	23116,8	32198,4

6.2 Пример подбора сетевых и подпиточных насосов для закрытой системы теплоснабжения

Для закрытой системы теплоснабжения при качественном регулировании с суммарным тепловым потоком 52 МВт и с расчетным расходом теплоносителя G_d = 919,8 т/ч, подобрать сетевые и подпиточные насосы. Потери напора в теплофикационном оборудовании источника теплоты $\Delta H_{ист}$ = 25 м; потери напора в подающей и обратной магистралях $\Delta H_{под}$ = 10 м, $\Delta H_{обр}$ =10 м; статический напор на источнике теплоты $H_{ст}$ =40 м, потери напора в системе теплопотребления $\Delta H_{аб}$ = 40 м. Для подбора подпиточных насосов примем: потери напора в подпиточной линии $H_{п.л.}$= 10 м; превышение отметки баков с подпиточной водой z = 5 м.

Решение:

Проведем выбор сетевого насоса в последовательности:

1. Определим требуемый напор сетевого насоса:

$H_{с.н.} = \Delta H_{ист} + \Delta H_{под} + \Delta H_{обр} + \Delta H_{аб} = 25+10+10+40 = 85$ м

2.Подача сетевого насоса должна обеспечить расчетный расход теплоносителя $G_d = 919,8$ т/ч.

3. Тогда по рис.6.2 принимаем к установке один рабочий насос СЭ – 1250 – 100 и один резервный, обеспечивающий требуемые параметры при некотором избытке напора. Избыток напора может быть сдросселирован на источнике теплоты.

Проведем выбор подпиточного насоса в последовательности:

1. Требуемый напор подпиточного насоса:

$H_{п.н.} = H_{ст} + H_{п.л} – z = 40 +10 – 5 = 45$ м

2. Подача подпиточного насоса $G_{п.н.}$ в закрытой системе должна компенсировать утечку теплоносителя $G_{ут}$ (в открытой системе должна быть равной сумме максимального расхода воды на ГВС и расчетного расхода воды на компенсацию утечки). Расчетный расход воды на компенсацию утечки принимается в размере 0,75% от объема воды в системе теплоснабжения. Объем воды в системе теплоснабжения допускается принимать равным 65 $м^3$на 1 МВт расчетного теплового потока для закрытой системы теплоснабжения (70 $м^3$ на 1 МВт – при открытой системе теплоснабжения).

При удельном объеме системы 65$м^3$/МВт и суммарном тепловом потоке Q = 52 МВт определим объем системы:

$$V_{сист} = 65 \cdot Q = 65 \cdot 52 = 3380 м^3$$

Величина утечки $G_{ут}$ составит:

$$G_{ут} = 0,0075 \cdot V_{сист} = 0,0075 \cdot 3380 = 25,35 \, м^3 / ч$$

3. По таблице 6.6 принимаем к установке по последовательной схеме два рабочих центробежных насоса типа 3 К-9а и один резервный, обеспечивающие требуемые параметры.

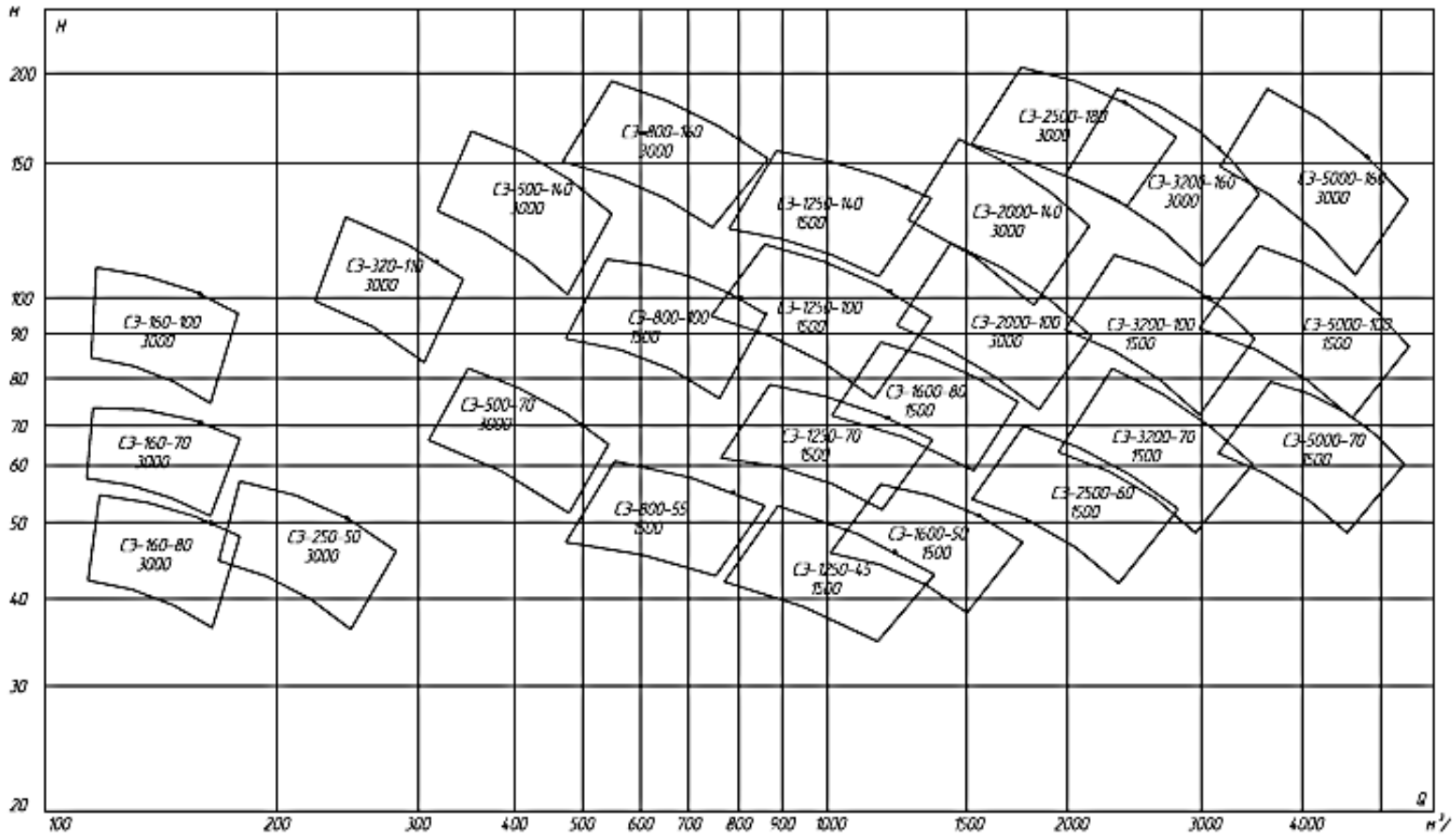


Рис. 6.2. Поле характеристик сетевых насосов

Таблица 6.6

Центробежные насосы типа К

Марка насоса	Производительность $м^3/ч$	Полный напор, м	Частота вращения колеса, об/мин	Рекомендуемая мощность электродвигателя, кВт	Диаметр рабочего колеса,мм
1 К-6	6-11-14	20-17-14	2900	1,37	128
1,5 К-6а	5-9-13	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	25-35-45	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	36-36-34	1450	28	328
6 К-8а	110-140-180	30-28-25		20	300
6 К-8б	110-140-180	24-22-19		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

Контрольные вопросы к разделу 6

1. Приведите основные задачи гидравлического расчета.
2. Как определяются потери давления?
3. Приведите уравнение потерь давления на трение по длине и в местных сопротивлениях
4. Что является местными сопротивлениями в тепловой сети?
5. Как определить коэффициент местных сопротивлений?
6. Приведите последовательность гидравлического расчета участков главной магистрали?
7. В чем заключается особенность расчета ответвлений?
8. Какое условие должно выполняться при расчете ответвлений?
9. Приведите уравнение определения невязки потерь давления на ответвлении?
10. Какова допустимая величина невязки потерь давления?
11. Как подобрать сетевой насос?
12. Как подобрать подпиточный насос?

7. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОПРОВОДОВ

К задачам механического расчёта теплопроводов относятся: определение усилий на опоры; определение напряжений, возникающих от термических деформаций; расчет компенсаторов. При разработке монтажной схемы выбирают типы компенсаторов и места их установки, причем по возможности предусматривают участки с естественной самокомпенсацией (углы поворотов от 90^0 до 130^0, z – образные участки и др.).

При бесканальной прокладке участки естественной самокомпенсации необходимо размещать в каналах для обеспечения поперечных смещений трубопроводов. При определении теплового удлинения за расчетную температуру окружающей среды следует принимать температуру наружного воздуха для проектирования отопления t_0, если устанавливают размеры гибких компенсаторов или определяют расчетные напряжения в компенсаторах. Тепловое удлинение расчетного участка трубопровода Δl определяют по формуле:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta l, \qquad (7.1)$$

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

Устройства, компенсирующие температурные удлинения, называются компенсаторами и размещаются между неподвижными опорами.

Различают осевые и радиальные компенсаторы. К осевым относятся сальниковые и сильфонные компенсаторы. Сальниковый компенсатор со-

стоит из подвижных относительно друг друга повижных корпуса и стакана, привариваемых к соединяемым трубам, которые зафиксироаны в неподвижных опорах. Утечка теплоносителя между корпусом и стаканом предотвращется с помощью сальниковой набивки из резины или пропитанного графитом асбестового шнура. Односторонние сальниковые компесаторы устанавливаются на трубопроводах диаметром 100-1400 мм и имеют компенсирующую способность 250-600 мм. Двусторонние сальниковые компенсаторы имеют компенсирующую способность в диапазоне 2×250 мм и 2×500 мм. Гидравлическое сопротивление сальниковых компенсаторов невелико, однако они нуждаются в обслуживании, которое заключается в периодическом подтягивании сальниковых уплотнений и замене изношенной набивки. Существенным недостатком компенсаторов является в их заклинивании при просадке труб.

Сильфонные (или линзовые) компенсаторы состоят из наружной гофрированной стальной оболочки (линзы или сильфона) толщиной 2,5-4 мм и внутренней трубы, которая способствует уменьшению гидравлического сопротивления компенсатора. Как правило, сильфонные компенсаторы устанавливают на трубопроводах с рабочим давлением воды не более 0,5 МПа. При более высоких давлениях необходимо использовать большую толщину стенок сильфона, что повышает жесткость компенсатора. Компенсирующая способность таких компенсаторов невелика (меньше, чем сальниковых компенсаторов), но к их преимуществам относятся герметичность и они не требуют обслуживания.

Радиальная компенсация обеспечивается за счет применения специально изготовленных гибких участков. Форма гибких участков может быть различной. Существуют П-, S-, Ω-, лирообразные компенсаторы. Наиболее распространены П-образные компенсаторы. Расчет П- образных компенсаторов рассмотрен в примерах, приведенных в [4] .

При проверочных расчетах компенсаторов максимальные напряжения не должны превышать допускаемые. Для предварительной оценки можно ориентироваться на усредненные допускаемые компенсационные напряжения при температуре теплоносителя $\tau = 150^0 C$ и рабочем давлении теплопровода $p_р$ = 1,6 МПа: для гибких компенсаторов $\sigma_{ДОП} = 110$ МПа; для участков самокомпенсации $\sigma_{ДОП}$ = 80 МПа. Рассмотрим примеры расчета сальниковых и сильфонных компесаторов.

7. 1 Пример расчета сальниковых компенсаторов

Для участка тепловой сети необходимо определить количество односторонних сальниковых компенсаторов, если диаметр трубопровода $d_Н$ =

530 мм, длина участка L = 500 м. Определить также реакцию компенсатора $P_к$ при рабочем давлении $p_р$ = 1,5 МПа. Расчетная температура теплоносителя τ_1 = 150°С, расчетная температура наружного воздуха $t_о$ = -31°С. Характеристики сальниковых компенсаторов приведены в таблице 7.1. Примем коэффициент линейного температурного удлинения:

$$\alpha = 1{,}25 \cdot 10^{-5}\ м/м \cdot {}^{o}C$$

Решение:

1. Определим удлинение участка трубопровода:

$$\Delta l = \alpha \cdot L \cdot (\tau_1 - t_o) = 1{,}25 \cdot 10^{-5} \cdot 500 \cdot (150 + 31) = 1{,}131 м = 1131 мм$$

2. По таблице 9.1 определим:

- компенсирующую способность сальникового компенсатора $\Delta_к$ = 300 мм;
- длину сальниковой набивки: $l_с$ = 130 мм;

Таблица 7.1

Характеристики сальниковых компенсаторов

$D_у$, мм	$D_Н$, мм	Длина сальниковой набивки, $l_с$, мм	Компенсирующая способность односторонних компенсаторов, мм	Компенсирующая способность двусторонних компенсаторов, мм
108	108	65	250	2×250
125	133	65		
150	159	75		
175	194	85		
200	219	120	200 и 400	2×200 2×400
250	273	120		
300	325	120		
350	377	120		
400	426	120	300 и 500	2×300 2×500
450	477	120		
500	530	130	300 и 500	2×300 2×500
600	630	130		
700	720	130		
800	820	130		
900	920	130	350 и 600	2×350 2×600
1000	1020	130		
1200	1220	150		
1400	1420	150		

3. Расчетная компенсирующая способность компенсатора составит:

$\Delta_P = \Delta_K - 50 = 300 - 50 = 250 мм$

50 мм – запас, принимается для всех размеров компенсаторов.

4. Количество компенсаторов n на расчетном участке составит:

$$n = \frac{\Delta l}{\Delta_P} = \frac{1131}{250} = 4{,}52$$

Примем число компенсаторов n = 5.

5. Определим реакцию компенсатора P_K, приняв коэффициент сальниковой набивки μ =0,15

$P_K = 2 \cdot p_P \cdot l_c \cdot d_H \cdot \mu \cdot \pi = 2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^6 \cdot 0{,}130 \cdot 0{,}530 \cdot 0{,}15 \cdot 3{,}14 = 97{,}36 кН$

Для самостоятельного решения выбираем данные из таблицы 7.2 в соответствии с номером в списке группы.

Таблица 7.2

Параметры для самостоятельного решения

Параметр вариант	$d_н$, мм	L, м	$p_р$, МПа	τ, °C	$t_о$, °C	μ
1	57		1,50	150	-35	0,15
2	630		1,40	130	-37	0,11
3	76		1,30	140	-36	0,14
4	273		1,20	134	-34	0,12
5	108		1,15	144	-39	0,15
6	325		1,54	126	-33	0,16
7	89		1,24	146	-35	0,17
8	377		1,32	130	-42	0,11
9	630		1,15	120	-38	0,13
10	1220		1,22	123	-41	0,15
11	133		1,35	127	-31	0,14
12	720		1,45	133	-33	0,13
13	159		1,52	139	-31	0,11
14	1020		1,18	145	-26	0,14
15	219		1,21	140	-30	0,15
16	920		1,36	118	-34	0,11
17	89		1,43	124	-38	0,14
18	820		1,18	115	-27	0,12
19	426		1,27	126	-50	0,15
20	219		1,33	113	-28	0,16
20	720		1,42	123	-37	0,17
22	377		1,52	130	-30	0,11
23	76		1,48	138	-29	0,13
24	133		1,19	141	-33	0,15
25	89		1,50	150	-35	0,14

7.2 Пример расчет сильфонных компенсаторов

Определить количество сильфонных компенсаторов для участка тепловой сети d_H = 219 мм и длиной L = 150 м. Определить также реакцию компенсатора P_K при рабочем давлении p_p = 1,5 МПа. Расчетная температура теплоносителя τ_1 = 150°С, расчетная температура наружного воздуха t_o = -31°С. Принять коэффициент температурного удлинения $\alpha = 1{,}25 \cdot 10^{-2}$ 1/°С.

Решение:

1. По таблице 7.3 определяем данные:

-амплитуда осевого хода

λ=80 мм

-жесткость компенсатора

C_λ = 408 Н/мм

-эффективная площадь

$S_{эф}$ = 483 см^2

-диаметр сильфона

D_c =277 мм^2

Таблица 7.3

Технические характеристики сильфонных компенсаторов СК-МК (СК.160.000.00 ТУ)

Диаметр трубы, d_T, мм	Амплитуда осевого хода, λ, мм	Жесткость компенсатора, C_λ, Н/мм	Эффективная площадь, $S_{эф}$, см^2	Масса,кг	Диаметр сильфона, $Д_c$, мм
57×3,5	20	357	34	1,2	75
76×4	40	245	64	2,9	104
89×4	45	227	87	3,4	122
108×5	60	278	130	6,6	149
133×5	65	358	199	10,9	185
159×5	75	305	282	14	214
219×6	80	408	483	25	277
273×7	90	429	731	29	337
327×7	90	445	1001	39	389
377×7	90	428	1272	44	428
426×7	90	555	1573	73	469
530×8	90	608	2419	100	580
630×8	90	632	3416	118	689
720×8	90	593	4507	123	795
820×8	90	637	5822	166	902
920×10	90	577	8075	169	1008
1000×10	90	680	9017	210	1123
1220×12	90	740	12718	270	1325

2. По стандартной формуле определим максимальную длину участка, на которой может обеспечить компенсацию 1 сильфонный компенсатор:

$$L_m = \frac{0{,}9 \cdot 2\lambda}{\alpha \cdot (\tau_1 - t_o)} = \frac{0{,}9 \cdot 2 \cdot 80}{1{,}25 \cdot 10^{-2} \cdot (150 + 31)} = 63{,}6 м$$

3. Необходимое количество компенсаторов на расчетном участке составит:

$$n = \frac{L}{L_m} = \frac{150}{63{,}6} = 2{,}4$$

Примем n = 3

4. Примем одинаковые (фактические) пролеты между неподвижными опорами:

$$L_\phi = \frac{Ll}{n} = \frac{150}{3} = 50 м$$

5. Определим фактическую амплитуду компенсатора $\lambda_Ф$ при длине фактической пролета:

$$\lambda_\phi = \frac{\alpha \cdot (\tau_1 - t_o) \cdot L_\phi}{0{,}9 \cdot 2} = \frac{1{,}25 \cdot 10^{-2} \cdot (150 + 31) \cdot 50}{1{,}8} = 62{,}5 мм$$

Таким образом, сильфон может обеспечить амплитуду осевого хода.

6. Определим реакцию компенсатора по стандартной формуле, приняв одинаковые пролеты между неподвижными опорами $L_ф$ = 50 м.

$$R_{СК} = R_Ж + R_Р$$

$R_ж$ – осевая реакция, возникающая вследствие жесткости осевого хода, определяется по формуле

$$R_Ж = C_\lambda \cdot \lambda_\phi = 408 \cdot 62{,}5 = 25500 H$$

$R_р$ – осевая реакция от внутреннего давления, определяется по формуле

$$R_p = \phi \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_C^2 - d_H^2) \cdot p_p = 0{,}5 \cdot \frac{3{,}14}{4} \cdot (0{,}277^2 - 0{,}219^2) \cdot 1{,}5 \cdot 10^6 = 16937 H$$

Тогда реакция компенсатора составит:

$R_{СК} = R_Ж + R_Р$= 25500+16937=42437 Н.

Для самостоятельного решения выбираем данные из таблицы 7.4. Выбор варианта производится в соответствии с номером в списке группы.

Таблица 7.4

Параметры для самостоятельного решения

Параметр вариант	$d_Н$, мм	L, м	$p_р$, МПа	τ, °С	$t_о$, °С
1	57	150	1,50	150	-35
2	630	200	1,40	130	-37
3	76	250	1,30	140	-36
4	273	300	1,20	134	-34

Окончание таблицы 7.4

56	108	350	1,15	147	-27
7	325	400	1,54	126	-39
8	89	230	1,24	146	-35
9	377	170	1,32	130	-40
10	630	280	1,15	120	-38
11	1220	330	1,22	123	-46
12	133	270	1,35	127	-31
13	720	160	1,45	133	-33
14	159	340	1,52	138	-31
15	1020	170	1,18	140	-26
16	219	210	1,21	144	-30
17	920	180	1,36	118	-30
18	89	220	1,43	124	-38
19	820	360	1,18	115	-27
20	426	330	1,27	126	-50
21	219	280	1,33	113	-28
22	720	190	1,42	123	-37
23	377	310	1,52	130	-30
24	76	260	1,48	138	-29
25	133	390	1,19	141	-33

Контрольные вопросы к разделу 7

1. Какие задачи относятся к механическому расчету?
2. Приведите уравнение определения тепловых удлинений теплопрорводов?
3. Приведите численное значение коэффициента линейного термического удлинения?
4. Что применяют для компенсации тепловых удлинений?
5. В чем заключается явление самокомпенсации?
6. Какие существуют типы компенсаторов?
7. Приведите устройство сальниковых, сильфонных и П-образных компенсаторов.
8. Приведите преимущества и недостатки различных типов компенсаторов.
9. Приведите значения допускаемых компенсационных напряжений в гибких компенсаторах, а также на участках самокомпенсации.

8. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ

При тепловом расчете теплопроводов в системе теплоснабжения требуется определить:

1. толщину основного слоя изоляционной конструкции;
2. потери теплоты теплопроводами;
3. снижение температуры теплоносителя по длине трубопровода.

Толщина основного слоя изоляционной конструкции определяется либо на основе технико-экономического расчета, либо по нормам потерь теплоты. Если задана конечная температура теплоносителя, то в соответствии с перепадом температур.

При расчете тепловых потерь или эффективности изоляционной конструкции толщину основного изоляционного слоя можно принимать по СНиПу «Тепловая изоляция оборудования и теплопроводов», либо определять по нормам потери теплоты:

$$\delta_{ИЗ} = \frac{e^{2\pi\lambda_{ИЗ}\sum R} - 1}{2} \cdot d_H \qquad (8.1)$$

где $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности основного слоя изоляции, Вт/м К; ΣR – термическое сопротивление изоляционной конструкции, $м \cdot К / Вт$, в свою очередь определяется по формуле:

$$\sum R = \frac{\tau_{ср} - t_0}{q_H} \qquad (8.2),$$

в которой $\tau_{ср}$ – среднегодовая расчетная температура теплоносителя, ^{0}C; t_0 – расчетная температура окружающей среды, ^{0}C; d_H – наружный диаметр теплопровода,м; q_H – норма потерь теплоты, Вт/м, принимается по таблице 8.1

Таблица 8.1

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

Условный проходной диаметр труб, D, мм	Тип прокладки							
	Открытый воздух		Тоннель		Непроходной канал		Бесканальная	
	Средняя температура теплоносителя, ^{O}C							
	50	100	50	100	50	90	50	90
1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	13	25	10	22	10	23	9	20
32	14	27	10	24	11	24	10	20
40-	15	29	12	26	12	25	11	22
50	17	31	13	28	13	28	12	24
65	19	36	15	32	15	34	13	29
80	21	39	16	35	16	36	14	31
100	24	43	18	39	17	41	15	35
125	27	49	21	44	18	42	16	38

Окончание таблицы 8.1

150	30	54	24	49	19	44	17	42
200	37	65	29	59	22	54	19	49
250	43	75	34	68	25	64	21	54
300	49	84	39	77	28	70	24	60
350	55	93	44	85	30	75	26	64
400	61	102	48	93	33	82	28	70
450	65	109	52	101	36	93	31	79
500	71	119	57	109	38	98	32	84
600	82	136	67	125	41	109	35	93
700	92	151	74	139	43	126	37	107
800	103	167	84	155	45	140	38	119
900	113	184	93	170	54	151	43	128
1000	124	201	102	186	57	158	46	140

Примечания.

1.При расположении изолируемых поверхностей в тоннеле следует вводить коэффициент 0,85 к нормам плотности.

2.При применении в качестве теплоизоляционного слоя пенополиуретана, фенольного пороплаcта, полимербетона нормы плотности теплового потока, Вт/м, определяют с учетом коэффициента $к_2$, значения которого приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2

Значения коэффициента $к_2$

Материал теплоизоляционного слоя	Условный проходной диаметр труб, мм			
	25-65	80-150	200-300	350-500
Полимербетон	0,7	0,8	0,9	1,0
Пенополиуретан, фенольный пороплаcт	0,5	0,6	0,7	0,8

Если теплоизоляционная конструкция изготовлена из уплотняющихся материалов, то толщину теплоизоляционного слоя определяют с учетом коэффициента уплотнения $К_с$, значения которого приведены в таблице 8.3

Таблица 8.3

Коэффициенты уплотнения $К_с$ для различных уплотняющихся материалов и изделий

Теплоизоляционные материалы и изделия	Коэффициенты уплотнения $К_с$
Изделия минераловатные с гофрированной структурой при укладке на трубопроводы и оборудование условным проходом, мм:	
До 200	1,3
200-350	1,2
Свыше 350	1,1
Маты минераловатные прошивные	1,2

Окончание таблицы 8.3

Маты из стеклянного штапельного волокна	1,6
Маты из супертонкого волокна, маты БЗМ, холсты из ультрасупертонких и стекломикрокристаллических волокон средней плотностью от 19 до 56 кг/м^3 при укладке на трубопроводы и оборудование условным проходом, мм:	
$Д_у$ < 800 мм при средней плотности 19 кг/м^3	3,2
То же при средней плотности 56 кг/м^3	1,5
$Д_у \geq$ 800 мм при средней плотности 19 кг/м^3	2,0
То же при средней плотности 56 кг/м^3	1,5
Плиты минераловатные на синтетическом связующем марки:	
50,75	1,5
125,175	1,2
Плиты минераловатные на битумном связующем марки:	
75	1,5
100,150	1,2
Плиты полужесткие стекловолокнистые на синтетическом связующем	1,15
Пенопласт ПВХ-Э	1,2
Пенопласт ППУ-ЭТ	1,3

Примечание: промежуточные значения коэффициента уплотнения $К_с$ следует определять интерполяцией.

При бесканальной прокладке коэффициент теплопроводности основного слоя теплоизоляционной конструкции $\lambda_к$,Вт/(м К), определяется уравнением:

$$\lambda_{из} = \lambda'_{из} \cdot к, \qquad (8.3)$$

где $\lambda'_{из}$ - Вт/м К, коэффициент теплопроводности сухого материала основного слоя, принимается по таблице 8.4; к – коэффициент, учитывающий увеличение теплопроводности от влияния увлажнения, принимается по таблице 8.5

Таблица 8.4

Расчетные технические характеристики материалов, применяемых для теплоизоляции трубопроводов при бесканальной прокладке

Материал	Условный диаметр труб, мм	Средняя плотность ρ, кг/м^3	Теплопроводность сухого материала $\lambda'_{из}$, Вт/(м К) при 20^{o}C	Максимальная температура вещества, ^{o}C
Армопенобетон	150-800	350-450	0,105-0,13	150
Битумоперлит	50-400	450-550	0,11-0,13	130*
Битумокерамзит	До 500	600	0,13	130*
битумовермикулит	До 500	600	0,07	130*
Пенополимербетон	100-400	400	0,07	150
Пенополиуретан	100-400	60-80	0,05	120
Фенольный порпласт ФЛ монолитный	До 1000	100	0,05	150

Примечание: * - допускается применение до 150^{o}C при качественном методе отпуска теплоты.

Таблица 8.5

Значения коэффициента увлажнения к

Материал теплоизоляционного слоя	Тип грунта		
	маловлажный	влажный	Насыщенный водой
Армопенобетон	1,15	1,25	1.4
Битумоперлит	1,1	1,15	1,3
Битумокерамзит	1,1	1,15	1,3
битумовермикулит	1,1	1,15	1,25
Пенополимербетон	1,0	1,05	1,1
Пенополиуретан	1,05	1,1	1,15
Фенольный порпласт ФЛ монолитный	1,05	1,1	1,15

При определении толщины основного слоя изоляции по методике расчета потерь по нормам плотности теплового потока, а также при проведении расчета потерь теплоты трубопроводами, за расчетную температуру теплоносителя $\tau_{ср}$ в (8.2) принимают среднегодовую температуру воды.

При этом среднегодовую температуру сетевой воды, в свою очередь, определяют по уравнению:

$$\tau_{ср} = \frac{\tau_{ср1} \cdot n_1 + \tau_{ср2} \cdot n_2 + ... + \tau_{ср12} \cdot n_{12}}{\sum_{i=1}^{i=12} n_{ii}}$$

где $\tau_{ср1}$, $\tau_{ср2},\ldots,\tau_{ср12}$, - средняя температура теплоносителя по месяцам, определяется по графику центрального качественного регулирования в зависимости от среднемесячных температур воздуха; $\sum_{i=1}^{i=12} n_i$ -количество часов в году по месяцам.

Далее в уравнении (8.2) присутствует t_0 – расчетная температура окружающей среды, ^{0}C. За расчетную температуру окружающей среды t_0 принимают:

-в проходных каналах и в тоннелях $t_o = 40\ ^o$C:

-в помещениях 20^{o}C;

-в неотапливаемых техподпольях 5 ^{o}C;

-при подземной прокладке - среднегодовая температура грунта, которая для большинства городов находится в пределах от +1 до +5 ^{o}C;

-при бесканальной прокладке, а также при прокладке в непроходных каналах в качестве температуры окружающей среды – среднегодовая температура грунта на глубине заложения оси трубопроводов;

- при надземной прокладке – среднегодовая температура окружающего воздуха.

В расчетах тепловой изоляции возникает необходимость определения коэффициента теплоотдачи α, Вт/(м^{2}К). Для теплопроводов, которые проложены в каналах, а также от воздуха канала к стенке канала α = 8 Вт/(м^{2}К). Если теплопроводы проложены в техподпольях, закрытых помещениях и на открытом воздухе, то коэффициент теплоотдачи определяется с помощью таблицы 8.6.

Таблица 8.6

Значения коэффициентов теплоотдачи, α, Вт/(м К)

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

Примечания:

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

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

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

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

Если изоляционная конструкция состоит из минераловатных полуцилиндров, жестких ячеистых материалов, из вспененного синтетического каучука, пенополиэтилена и пенопластов, то следует принимать толщину слоя изоляции, ближайшую к расчетной толщине изделий по нормативным документам на соответствующие материалы.

Предельная толщина теплоизоляционного слоя в конструкциях тепловой изоляции оборудования и трубопроводов приведена в табл. 8.7

Таблица 8.7

Предельные толщины теплоизоляционных конструкций для оборудования и трубопроводов

Наружный диаметр, мм	Способ прокладки трубопроводов		
	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	200	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

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

Рассмотрим примеры тепловых расчетов теплоизоляционной конструкции.

8.1 Пример теплового расчета для бесканального способа прокладки теплопроводов. Определение эффективности тепловой изоляции

Определить эффективность тепловой изоляции из пенополиуретана для двухтрубной тепловой сети бесканальной прокладки. Диаметр теплопроводов $d_Н$ = 426 мм. Среднегодовая температура теплоносителя $\tau_{ср\ 1}$ = 90°С, $\tau_{ср\ 2}$ = 50°С. Глубина заложения оси трубопроводов h = 1,2 м. Тип грунтов – пески и супеси, плотностью 1600 кг/м^3, влажность 24 % (влажные грунта), среднегодовая температура грунта на глубине заложения $t_о$ = +3^{0}С. Покровный слой теплоизоляции – бризол в 2 слоя, толщиной $\delta_{пс}$ = 8 мм.

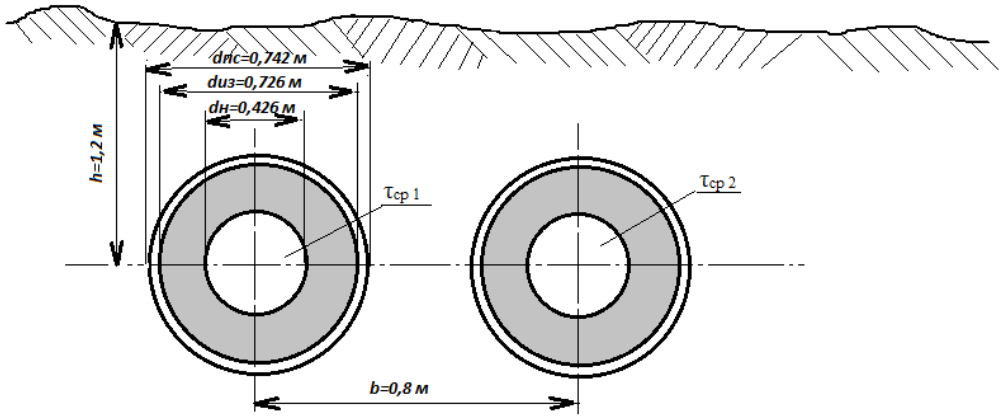


Рисунок 8.1 Схема прокладки двухтрубной теплосети при бесканальной прокладке

Решение.

1.Примем толщину слоя изоляции $\delta_{из}$ = 0,15 м. Тогда наружный диаметр слоя изоляции:

$$d_{из} = d_Н + 2 \cdot \delta_{из} = 0{,}426 + 2 \cdot 0{,}15 = 0{,}726 м$$

2.Диаметр трубопровода с изоляционным и покровным слоем:

$$d_{пс} = d_{из} + 2 \cdot \delta_{пс} = 0{,}726 + 2 \cdot 0{,}008 = 0{,}742 м$$

3.Примем по табл.8.4 коэффициент теплопроводности пенополиуретана $\lambda'_{из} = 0{,}05 Вт/м \cdot К$. С учетом коэффициента увлажнения к = 1,05 (табл.85), коэффициент теплопроводности пенополиуретана будет равен:

$$\lambda_{бр} = \lambda'_{из} \cdot к = 0{,}05 \cdot 1{,}05 = 0{,}053 Вт/м \cdot К .$$

4.Определим термическое сопротивление слоя изоляции.

$$R_{из} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{из}} \cdot \ln \frac{d_{из}}{d_Н} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 0{,}053} \cdot \ln \frac{0{,}726}{0{,}426} = 1{,}602 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

5.Определим термическое сопротивление покровного слоя.

Примем коэффициент теплопроводности бризола $\lambda_{п\ с}$ = 0,175 Вт/м К, тогда

$$R_{ПС} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{ПС}} \cdot \ln \frac{d_{ПС}}{d_{ИЗ}} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 0{,}175} \cdot \ln \frac{0{,}742}{0{,}726} = 0{,}0198 \approx 0{,}020 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

6.Т.к. отношение $h/d_Н = 1{,}2/0{,}426 = 2{,}8 > 2$, то термическое сопротивление грунта определяем по выражению:

$R_{гр} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln \frac{4h}{d_{ПС}}$, где $\lambda_{гр}$ - коэффициент теплопроводности грунта, определяется по таблице 8.8.

Таблица 8.8

Теплопроводность грунтов различной структуры и влажности

Характеристика грунтов Плотность сухого грунта $\rho_{сух}$, кг/м^3 Пористость, Р Теплопроводность сухого грунта, $\lambda_{сух}$, Вт/(м К)				Теплопроводность влажных грунтов $\lambda_{вл}$ при массовой влажности $W_м$, %					
				$W_м$,%	$\lambda_{вл}$	$W_м$,%	$\lambda_{вл}$	$W_м$,%	$\lambda_{вл}$
Пески и супеси	1200	0,54	0,20	12	0,94	24	1,31	36	1,55
	1600	0,38	0,31	16	1,24	32	1,76	48	2,15
	2000	0,23	0,56	20	2,03	40	3,08	-	-
	1600	-	-	8	1,10	22	1,92	38	2,44
	2000	-	-	10	2,03	23	3,31	-	-
Песок для строительных работ	1600	-	0,35	2	0,58	-	-	-	-
Глины и суглинки	800	0,68	0,12	8	0,45	16	0,64	24	0,74
	1200	0,54	0,20	12	0,62	24	0,86	36	1,00
	1600	0,38	0,33	16	0,96	32	1,33	48	1,63
	2000	0,23	0,58	20	2,00	40	2,60	-	-
	1600	-	-	8	0,87	32	1,74	38	1,86
	2000	-	-	10	1,74	20	2,56	23	2,67
Гравий, щебень, дресва	2000	-	-	10	2,03	16	2,73	23	3,37
Известняк	1400	-	0,49	3	0,58	-	-	-	-
	1600	-	0,58	3	0,81	-	-	-	-
	1800	-	0,70	3	1,05	-	-	-	-
	2000	-	0,93	3	1,28	-	-	-	-
Мрамор	2800	-	2,91	-	-	-	-	-	-
Гранит, гнейс, базальт	2800	-	3,49	-					

Из табл. 8.8 коэффициент теплопроводности грунта $\lambda_{гр} = 1{,}76$ Вт/(м К).

Вычислим термическое сопротивление грунта:

$$R_{гр} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 1{,}76} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1{,}2}{0{,}742} = 0{,}169 \frac{м \cdot к}{Вт}$$

7.Термическое сопротивление каждого теплопровода.

$$R_1 = R_2 = R_{ИЗ} + R_{GC} + R_{ГР} = 1{,}602 + 0{,}020 + 0{,}169 = 1{,}791 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

8.Термическое сопротивление, учитывающее взаимное влияние тепловых потоков теплопроводов, определим выражением:

$R_{1;2} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{Гр}} \cdot \ln \sqrt{(\frac{2h}{b})^2 + 1}$, где b – расстояние между осями трубопроводов, принимается по табл.8.9 в зависимости от диаметра условного прохода труб.

Таблица 8.9

Расстояние между осями трубопроводов

Расстояние	Диаметр условного прохода труб, мм										
	50-80	100	125-150	200	250	300	350	400	450	500	600
b,мм	350	400	500	550	600	650	700	800	900	1000	1300

Из табл. 8.9 принимаем b = 0,8 м. Тогда можно определить термическое сопротивление:

$$R_{1;2} = \frac{1}{6,28 \cdot 1,76} \cdot \ln \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 1,2}{0,8}\right)^2 + 1} = 0,208 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

9.Определим удельные потери тепла прямым и обратным теплопроводами по формулам:

$$q_1 = \frac{\Delta\tau_1 \cdot R_2 - \Delta\tau_2 \cdot R_{1;2}}{R_1 \cdot R_2 - R_{1;2}^2}$$

$$q_2 = \frac{\Delta\tau_2 \cdot R_1 - \Delta\tau_1 \cdot R_{1;2}}{R_1 \cdot R_2 - R_{1;2}^2}$$

Находим разности температур сетевой воды и грунта для прямого и обратного трубопроводов:

$\Delta\tau_1 = \tau_{СР1} - t_o = 90 - 3 = 87^oC$

$\Delta\tau_2 = \tau_{СР2} - t_o = 50 - 3 = 47^oC$

Тогда удельные потери тепла будут соответственно равны:

$$q_1 = \frac{87 \cdot 1,791 - 47 \cdot 0,208}{1,791^2 - 0,208^2} = 46,2 \frac{Вт}{м}$$

$$q_2 = \frac{47 \cdot 1,791 - 87 \cdot 0,208}{1,791^2 - 0,208^2} = 20,9 \frac{Вт}{м}$$

10.Суммарные удельные тепловые потери обоими теплопроводами:

$$q_{из} = q_1 + q_2 = 46,2 + 20,9 = 67,2 \frac{Вт}{м}$$

Далее по таблице 8.1 определим нормируемые плотности тепловых потоков:

$$q_1'^{норм} = 70 \frac{Вт}{м}$$

$$q_2'^{норм} = 28 \frac{Вт}{м}$$

Тогда определим нормы плотности тепловых потоков с учетом коэффициента $к_2$ по табл.8.2

$$q_1^{норм} = k_2 \cdot q_1'^{норм} = 0{,}8 \cdot 70 = 56 \frac{Вт}{м}$$

$$q_2 = k_2 \cdot q_2'^{норм} = 0{,}8 \cdot 28 = 22{,}4 \frac{Вт}{м}$$

11.Затем рассчитаем теплопотери трубопроводами при условии отсутствия тепловой изоляции.

Для этого определим термическое сопротивление грунта при прокладке неизолированных теплопроводов:

$$R_{гр} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln \frac{2h}{d_H} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 1{,}76} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1{,}2}{0{,}426} = 0{,}219 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

Тогда термическое сопротивление каждого теплопровода при условии отсутствия изоляции будет равно термическому сопротивлению грунта.

Следовательно, $R_1^{НЕИЗ} = R_2^{НЕМЗ} = R_{ГР} = 0{,}219 \frac{м \cdot К}{Вт}$.

12.Определим теплопотери неизолированных прямого и обратного теплопроводов.

$$q_1^{НЕИЗ} = \frac{\Delta\tau_1 \cdot R_2 - \Delta\tau_2 \cdot R_{1;2}}{R_1 \cdot R_2 - R_{1;2}^2} = \frac{87 \cdot 0{,}219 - 47 \cdot 0{,}208}{0{,}219^2 - 0{,}208^2} = 1975 \frac{Вт}{м}$$

$$q_2^{НЕИЗ} = \frac{\Delta\tau_2 \cdot R_1 - \Delta\tau_1 \cdot R_{1;2}}{R_1 \cdot R_2 - R_{1;2}^2} = \frac{47 \cdot 0{,}219 - 87 \cdot 0{,}208}{0{,}219^2 - 0{,}208^2} = -1661 \frac{Вт}{м}$$

Знак «-» означает, что при отсутствии изоляции возникает обратный тепловой поток от грунта в обратный теплопровод.

13.Суммарные потери тепла.

В данном примере суммарные потери тепла неизолированными теплопроводами будут равны потерям тепла подающего (прямого) теплопровода.

$$q^{НЕИЗ} = q_1^{НЕИЗ} = 1975 \frac{Вт}{м}$$

14.Эффективность тепловой изоляции.

$$\eta = \frac{q^{НЕИЗ} - q^{ИЗ}}{q^{НЕИЗ}} = \frac{1975 - 67{,}1}{1975} = 0{,}97$$

Определить эффективность тепловой изоляции для двухтрубной тепловой сети бесканальной прокладки

Решить задачу по определению эффективности тепловой изоляции. Самостоятельно принять изоляционный материал по данным табл.8.4. Для решения принимаем данные из таблицы 8.10. Таблица составлена по вариантам. Номер варианта соответствует номеру студента в списке группы.

Таблица 8.10

Варианты значений для решения задачи

Параметр / Вариант	Диаметр теплопроводов $d_н$,мм	Среднегодовая температура теплоносителя $\tau_{ср\ 1}$, °С	$\tau_{ср\ 2}$, °С	Глубина заложения оси теплопроводов h, м	Грунты	Среднегодовая температура грунта $t_о$, °С	Толщина покровного слоя, $\delta_{пс}$,мм
1	89	90	50	1,0	пески и супеси, маловлажные	+1	5
2	113	90	50	1,1	Мрамор	+4	6
3	89	90	50	1,2	Гнейс	+3	7
4	159	90	50	1,3	Песок для строительных работ	+1	8
5	133	90	50	1,6	Щебень	+5	5
6	219	90	50	1,1	Глины и суглинки, маловлажные	+2	6
7	194	90	50	1,4	Гравий	+1	7
8	325	90	50	1,6	Известняк	+4	8
9	273	90	50	1,0	Пески и супеси, влажные	+3	5
10	377	90	50	0,9	Известняк	+1	6
11	480	90	50	1,0	Глины и суглинки, влажные	+5	7
12	426	90	50	1,1	пески и супеси, насыщенные	+2	8
13	529	90	50	1,2	Мрамор	+1	5
14	480	90	50	1,3	Гнейс	+4	6
15	630	90	50	1,6	Песок для строительных работ	+3	7
16	820	90	50	1,1	Щебень	+1	8
17	720	90	50	1,4	Глины и суглинки, насыщенные	+5	5
18	920	90	50	1,6	Гравий	+2	6
19	1020	90	50	1,0	Известняк	+1	7
20	325	90	50	0,9	Пески и супеси, влажные	+4	8
21	273	90	50	1,0	Известняк	+3	5
22	159	90	50	1,1	Глины и суглинки, влажные	+1	6
23	45	90	50	1,2	пески и супеси, маловлажные	+5	7
24	89	90	50	1,3	Мрамор	+2	8
25	76	90	50	1,6	Гнейс	+1	5

8.2 Пример теплового расчета для бесканального способа прокладки теплопроводов. Определение толщины слоя изоляции

По нормируемой плотности теплового потока определить толщину слоя изоляции из фенольного поропласта ФЛ для двухтрубной прокладки трубопроводов диаметрами $d_Н$ = 219 мм при бесканальной прокладке в маловлажных грунтах. Тип грунта – суглинки, плотностью 1200кг/м^3 при массовой влажности 12%. Среднегодовая температура грунта на глубине заложения оси трубопровода t_o = + 3^{O}С. Глубина заложения оси трубопровода h = 1,1м. Покровный слой из бризола в 2 слоя толщиной $\delta_{пс}$ = 6 мм.

Решение.

1.Примем предварительно толщину слоя изоляции на подающем трубопроводе $\delta_{из\,1}$ = 0,04 м и обратном $\delta_{из\,2}$ = 0,03 м.

Тогда определим наружные диаметры подающего и обратного теплопроводов $d_{ни\ 1}$ и $d_{ни\ 2}$ с учетом толщины слоя изоляции и покровного слоя.

$$d_{ни1} = d_н + 2 \cdot \delta_{и1} + 2 \cdot \delta_{пс} = 0{,}219 + 2 \cdot 0{,}04 + 2 \cdot 0{,}006 = 0{,}311 м$$

$$d_{ни2} = d_н + 2 \cdot \delta_{и2} + 2 \cdot \delta_{пс} = 0{,}219 + 2 \cdot 0{,}003 + 2 \cdot 0{,}006 = 0{,}291 м$$

2.Термическое сопротивление грунта для подающего и обратного теплопроводов $R_{гр1}$ и $R_{гр2}$ определяем по уравнениям:

$$R_{ГР1} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{Гр}} \cdot \ln\left[\frac{2h}{d_{НИ1}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d^2_{НИ1}} - 1}\right]$$

$$R_{ГР2} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{ГР}} \ln\left[\frac{2h}{d_{НИ2}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d^2_{НИ2}} - 1}\right]$$

Коэффициент теплопроводности грунта определяем по табл.8.8. Из табл. 8.8 $\lambda_{гр}$ = 0,62 Вт/(м К).

Тогда определим термические сопротивления грунта:

$$R_{Гр1} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 0{,}62} \ln\left[\frac{2 \cdot 1{,}1}{0{,}311} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}1^2}{0{,}311^2} - 1}\right] = 0{,}679 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

$$R_{Гр2} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 0{,}62} \ln\left[\frac{2 \cdot 1{,}1}{0{,}291} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}1^2}{0291^2} - 1}\right] = 0{,}696 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

3.Определим нормируемые плотности теплового потока q_1 и q_2 для прямого и обратного трубопроводов.

Из табл. 8.1 определяем величины нормируемой плотности теплового потока.

q_1 = 49 Вт/м:

q_2 = 19 Вт/м

4.Определим коэффициенты взаимного влияния температурных полей ψ_1 и ψ_2.

Для прямого и обратного теплопроводов соответственно:

$$\psi_1 = \frac{q_2}{q_1} = \frac{19}{49} = 0{,}388$$

$$\psi_2 = \frac{q_1}{q_2} = \frac{49}{19} = 2{,}579$$

5.Определим добавочные термосопротивления, учитывающие взаимное влияние теплопроводов R_{o1} и R_{o2}, соответственно для прямого и обратного теплопроводов.

$$R_{o1} = \psi_1 \cdot \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{Гр}} \cdot \ln \sqrt{\frac{4h^2}{b^2} + 1}$$

$$R_{o2} = \psi_2 \cdot \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{Гр}} \cdot \ln \sqrt{\frac{4h^2}{b^2} + 1}$$

Здесь b – расстояние между осями теплопроводов, определяется по табл.8.9.

По данным табл. 8.9 b = 0,5 м.

Тогда вычислим добавочные термические сопротивления, учитывающие взаимное влияние теплопроводов:

$$R_{01} = 0{,}388 \cdot \frac{1}{6{,}28 \cdot 0{,}62} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}1^2}{0{,}5^2} + 1} = 0{,}150 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

$$R_{02} = 2{,}579 \cdot \frac{1}{6{,}28 \cdot 0{,}62} \cdot \ln \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}1^2}{0{,}5^2} + 1} = 0{,}998 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

6.Определим суммарные термические сопротивления для прямого и обратного трубопроводов по выражениям:

$$R_{\Sigma 1} = \frac{(\tau_1 - t_o)}{q_1 \cdot K_1}$$

$$R_{\Sigma 2} = \frac{(\tau_2 - t_o)}{q_2 \cdot K_2}$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий изменение стоимости теплоты в зависимости от района строительства и способа прокладки трубопровода. Определяется по таблице.8.11.

Таблица 8.11

Коэффициент K_1, учитывающий изменение стоимости теплоты в зависимости от района строительства и способа прокладки трубопровода (места установки оборудования)

Район строительства	Способ прокладки трубопроводов и месторасположение оборудования			
	На открытом воздухе	в помещении, в тоннель	В непроходном канале	бесканальный
Европейские районы	1,0	1,0	1,0	1,0
Урал	0,98	0,98	0,95	0,94

Окончание таблицы 8.11

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

Из табл.8.11 определяем, что значение коэффициента $К_1 = 0,94$.

Тогда вычислим суммарные термические сопротивления:

$$R_{\Sigma 1} = \frac{(90-5)}{49 \cdot 0,94} = 1,845 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

$$R_{\Sigma 2} = \frac{(50-5)}{19 \cdot 0,94} = 2,520 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

7. Определим R_1 и R_2 - требуемые термические сопротивления слоёв изоляции.

$$R_1 = R_{\Sigma 1} - R_{Гр1} - R_{О1} = 1,845 - 0,679 - 0,150 = 0,869 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

$$R_2 = R_{\Sigma 2} - R_{Гр2} - R_{О2} = 2,520 - 0,696 - 0,998 = 0,826 \frac{м \cdot К}{Вт}$$

8. Определим толщину слоя изоляции для прямого и обратного теплопроводов.

$$\delta_{И З 1} = \frac{d_н \cdot \left(e^{2\pi \cdot \lambda_{ИЗ} \cdot R_1} - 1\right)}{2}$$

$$\delta_{И З 2} = \frac{d_н \cdot \left(e^{2\pi \cdot \lambda_{ИЗ} \cdot R_2} - 1\right)}{2}$$

Коэффициент теплопроводности изоляции $\lambda_{из}$ определим из табл. 8.4 и 8.5.

Из табл. 8.4 для фенольного поропласта коэффициент теплопроводности сухого материала $\lambda'_{из} = 0,05$ Вт/(м К); из табл. 8.5 определяем коэффициент увлажнения к =1,05.

Тогда для фенольного поропласта коэффициент теплопроводности определим по (8.3):

$$\lambda_{из} = \lambda'_{из} \cdot к = 0,05 \cdot 1,05 = 0,0525 \frac{Вт}{м \cdot К}$$

Вычислим толщину слоя изоляции для прямого и обратного трубопроводов:

$$\delta_{из1} = \frac{0,219 \cdot (e^{6,28 \cdot 0,0525 \cdot 0,869} - 1)}{2} = 0,036 м$$

$$\delta_{из2} = \frac{0,219 \cdot (e^{6,28 \cdot 0,0525 \cdot 0,826} - 1)}{2} = 0,034 м$$

Таким образом, принимаем толщину слоя изоляции одинаковой для прямого и обратного теплопроводов и равной $\delta_{из1} = \delta_{из2} = 0,04$ и или 40 мм.

Определить толщину слоя изоляции для бесканального способа прокладки теплопроводов

Для самостоятельного решения задачи на определение толщины слоя изоляции при бесканальной прокладке принимаем данные из табл. 8.12

Выбор варианта задания соответствует номеру студента в списке группы.

Изоляционный материал принять самостоятельно по данным табл. 8.4

Таблица 8.12

Варианты значений для решения задачи

Параметры / Вариант	Диаметр трубопровода, $d_н$,мм	Тип грунта	Среднегодовая температура грунта на глубине заложения оси трубопровода, $t_о$,°С	Глубина заложения оси трубопровода, h ,м	Толщина покровного слоя из бризола, $\delta_{пс}$,мм
1	219	Пески и супеси, влажные	+1	1,1	8
2	325	Глины и суглинки,маловдажные	+5	1,2	5
3	133	Известняк	+2	1,6	7
4	194	Щебень	+4	1,4	6
5	89	Гравий	+3	1,3	8
6	109	Гнейс		1,0	7
7	159	Пески и супеси	+1	1,2	6
8	377	Глины влажные	+5	1,1	5
9	920	Суглинки влажные	+2	1,4	8
10	1000	Супеси маловлажные	+4	1,5	5
11	426	Пески насыщенные	+3	1,1	7
12	529	Известняк		1,2	6
13	480	Гравий	+1	1,6	8
14	273	Щебень	+5	1,4	7
15	820	Гнейс	+2	1,3	6
16	630	базальт	+4	1,0	5
17	720	Гравий	+3	1,2	8
18	89	Гнейс		1,1	5
19	109	Пески и супеси насыщенные	+1	1,4	7
20	159	Глины насыщенные	+5	1,5	6
21	377	Суглинки маловлвжные	+2	1,1	8
22	920	Супеси влажные	+4	1,2	7
23	1000	Пески маловлажные	+3	1,6	6
24	426	Гравий	+2	1,4	5
25	529	Гнейс	+1	1,3	8

Контрольные вопросы к разделу 8

1. Назовите основные виды задач при тепловом расчете теплоизоляционной конструкции.

2. Как выбрать толщину основного слоя изоляционной конструкции?

3. Как рассчитать потери теплоты теплопроводами?

4. Приведите порядок теплового расчета изоляции при канальной прокладке?

5. Приведите порядок теплового расчета изоляции при бесканальной прокладке?

6. Какой материал следует выбирать при канальной прокладке?

7. Какой материал следует принимать при надземной прокладке?

8. Какую температуру окружающей среды принимают за расчетную?

9. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ (ПРОЕКТ)

В таблице 9.1 приведены данные для выполнения курсовой работы (проекта). В соответствии с номером в списке группы обучающийся выбирает из таблицы 9.1 параметры для расчета.

Таблица 9.1

Задание на курсовую работу

Параметр / Вариант	Географическое положение города	Расчетные температуры теплоносителя в прямом и обратном теплопроводах	Вид системы теплоснабжения	Тип прокладки тепловых сетей	Количество кварталов	Характеристика грунта	Этажность застройки
1	Курск	130-70	открытая	К	4	Сухой	1-2
2	Сочи	127-67	закрытая	Б/к	5	Маловлажный	3-4
3	Волгоград	140-70	закрытая	К	6	Влажный	5 и более
4	Астрахань	130-67	открытая	К	7	Сухой	1-2
5	Норильск	145-70	закрытая	К	4	Маловлажный	3-4
6	Салехард	140-70	открытая	Б/к	5	Влажный	5 и более
7	Тобольск	125-67	открытая	Б/к	6	Сухой	1-2
8	Омск	134-70	закрытая	Б/к	7	Маловлажный	3-4
9	Москва	130-70	закрытая	К	4	влажный	5 и более
10	Иркутск	150-70	открытая	К	5	Сухой	1-2
11	Брянск	127-67	закрытая	К	6	Маловлажный	3-4
12	Ялта	150-70	закрытая	К	7	влажный	5 и более
13	Ставрополь	130-67	открытая	Б/к	4	Сухой	1-2
14	Якутск	140-70	открытая	Б/к	5	Маловлажный	3-4
15	Анадырь	125-70	открытая	Б/к	6	влажный	5 и более

Окончание таблицы 9.1

16	Владивосток	130-70	закрытая	К	7	Сухой	1-2
17	Петроза-водск	140-70	открытая	К	4	Маловлажный	3-4
18	Санкт-Петербург	125-70	закрытая	К	5	влажный	5 и более
19	Краснодар	130-70	закрытая	К	6	Сухой	1-2
20	Калининград	150-70	закрытая	Б/к	7	Маловлажный	3-4
21	Новоси-бирск	137-70	открытая	Б/к	4	влажный	5 и более
22	Самара	137-67	закрытая	К	5	Сухой	1-2
23	Ульяновск	130-70	открытая	К	6	Маловлажный	3-4
24	Казань	140-70	закрытая	К	7	влажный	5 и более
25	Ярославль	145-70	открытая	К	4	Сухой	1-2

Примечание: тип прокладки – К – канальный; Б/к – бесканальный. Тип изоляционного материала подобрать самостоятельно. Площадь кварталов выбрать самостоятельно в пределах от 5 до 15 гектаров (га).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Тихомиров А. К. Теплоснабжение района города : учебное пособие / А. К. Тихомиров. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. Ун-та, 2006. – 135 с. – Текст : непосредственный.

2. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое проектирование / под редакцией профессора Б. М. Хрусталева. – Москва : АСВ. – 784 с. – Текст : непосредственный.

3. Антонова Е. О. Источники и системы теплоснабжения : методические рекомендации к практическим занятиям / Е. О. Антонова, М. А. Селезнёва ; Тюменский индустриальный университет. – Тюмень : Издательский центр БИК ТИУ, 2018. – 36 с. – Текст : непосредственный.

4. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей : справочник / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж [и др.]. – 3-е изд. перераб. и доп. – Москва : Стройиздат,1988. –432 с. – Текст : непосредственный.

5. СНиП 41-02-2003. Тепловые сети : [утверждены и введены в действие постановлением Госстроя России от 24.06.2003. № 210 : введены с 2003.09.01]. – Санкт-Петербург : Полиграфия, 2004. – 74 с. – (Строительные нормы и правила РФ) – Текст : непосредственный.

6. СНиП 23-01-99. Строительная климатология : [приняты и введены в действие постановлением Госстроя России от 11.06.99 № 45]. – Москва : ГУП ЦПП, 2000. – 57 с. – Текст : непосредственный.

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст.11

Учебное издание

Олег Андреевич **Степанов**
Елена Олеговна **Антонова**
Наталья Владимировна **Рыдалина**

ИСТОЧНИКИ И СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ПРИМЕРАХ И ЗАДАЧАХ

В авторской редакции

Подписано в печать 01.10.2020. Формат 60х90 1/16. Печ. л. 5,6.
Тираж 500 экз. Заказ № 1911.

Библиотечно-издательский комплекс
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Тюменский индустриальный университет».
625000, Тюмень, ул. Володарского, 38.

Типография библиотечно-издательского комплекса.
625039, Тюмень, ул. Киевская, 52.