

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 НОЦ И.Н. Бутакова

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Проект системы теплоснабжения в зоне действия котельной «АЦРБ» г. Асино</b> УДК 697.34-025.13:621.182:725.51(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б4Б2	Атрошенко Максим Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Половников В.Ю.	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
научный сотрудник	Феоктистов Д.В.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Завьялова З.С.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Алексеев Н.А.			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.01 Теплотехника и теплоэнергетика	Антонова А.М.	к.т.н., доцент		

## Запланированные результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-2, 12; ПК-7) <sup>1</sup> ., Критерий 5 АИОР (п. 2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.	Требования ФГОС (ОК-3, 7), Критерий 5 АИОР (п. 2.9), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.	Требования ФГОС (ОК-8, 9; ПК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 2.12, 2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.	Требования ФГОС (ОК-5, 8, 10, 14), Критерий 5 АИОР (п. 2.10), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-16; ПК-5, 12, 17), Критерий 5 АИОР (п. 2.12), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.	Требования ФГОС (ПК-23), Критерий 5 АИОР ((2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.	Требования ФГОС (ПК-2, 3), Критерии 5 АИОР (пп.2.1-2.3), согласованные с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием	Требования ФГОС (ОК-1; ПК-2, 6, 7, 8), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

<sup>1</sup> Указаны коды компетенций по ФГОС ВПО (направление 140100 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА), утвержденному Приказом Министерства образования и науки РФ от 18 ноября 2009 г. № 635

	<i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.	
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.	Требования ФГОС (ПК-9, 10, 11), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.	Требования ФГОС (ПК-18, 19), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.	Требования ФГОС (ОК-11, 15; ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами на основе АСУТП; использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.	Требования ФГОС (ПК-12, 25, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.	Требования ФГОС (ПК-15, 16, 20), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений,	Требования ФГОС (ПК-12-14, 17, 21-24), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

	планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.	
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.	Требования ФГОС (ПК-25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.	Требования ФГОС (ПК-27-30), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
А.М. Антонова  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Б4Б2	Атрошенко Максиму Александровичу

Тема работы:

<b>Проект системы теплоснабжения в зоне действия котельной «АЦРБ» г. Асино</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3689/с от 13.05.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2019
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Исходными данными являются: <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень объектов теплоснабжения с указанием характеристик (объемов) зданий;</li> <li>– карта-схема размещения объектов теплоснабжения;</li> <li>– место размещения проектируемой системы теплоснабжения (населенный пункт);</li> <li>– данные о режиме работы системы отопления и ГВС в проектируемой системе теплоснабжения.</li> </ul>
---------------------------------	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<p>Расчетно-пояснительная записка ВКР должна содержать разделы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– расчет тепловых нагрузок и объема потребления тепловой энергии объектами проектируемой системы теплоснабжения;</li> <li>– построение интегрального графика продолжительности тепловых нагрузок;</li> <li>– выбор способа регулирования отпуска тепла в тепловые сети. Построение температурного графика;</li> <li>– выбор системы теплоснабжения;</li> <li>– гидравлический расчет тепловых сетей, разработка гидравлического режима сети;</li> <li>– расчет и выбор основного оборудования индивидуальных тепловых пунктов;</li> <li>– выбор и расчет оборудования тепловых сетей;</li> <li>– финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережения;</li> <li>– социальная ответственность.</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сводный план. Застройка планировочного квартала АЦРБ г. Асино;</li> <li>2. Расчетная схема теплоснабжения в зоне действия котельной «АЦРБ» г. Асино;</li> <li>3. Принципиальная схема ИТП здания по адресу ул. Гончарова, 170;</li> <li>4. Аксонометрическая схема ИТП здания по адресу ул. Гончарова, 170;</li> <li>5. ИТП: вид сверху;</li> <li>6. Теплофикационная камера.</li> </ol>

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсо-эффективность и ресурсосбережения	к.ф.н., доцент ОСГН Завьялова З.С.
Социальная ответственность	ассистент ООД Алексеев Н.А.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.02.2019 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель / консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Половников В.Ю.	к.т.н.		01.02.2019
научный сотрудник	Феокистов Д.В.	к.т.н.		01.02.2019

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б4Б2	Атрошенко Максим Александрович		01.02.2019

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 101 с., 5 рисунков, 16 таблиц, 49 источников, 6 л. графического материала.

Ключевые слова: система теплоснабжения, тепловая нагрузка, отпуск тепловой энергии, гидравлический расчет, тепловая сеть, тепловой пункт.

Объектом разработки является система теплоснабжения объектов в зоне действия котельной «АЦРБ» г. Асино.

Цель работы – проектирование системы централизованного теплоснабжения объектов в зоне действия котельной «АЦРБ» г. Асино.

В процессе работы выполнен расчет тепловых нагрузок зданий, расположенных в зоне проектируемой системы теплоснабжения (объекты социальной сферы), выбран способ регулирования отпуска тепловой энергии от источника и типа системы отопления, выполнен гидравлический расчет тепловой сети. В результате работы рассчитано и выбрано оборудование индивидуальных тепловых пунктов и тепловых сетей. Расчетно-пояснительная записка также содержит обязательные разделы «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения» и «Социальная ответственность».

Результаты работы с соответствующей корректировкой могут быть использованы при разработке проектов систем теплоснабжения г. Асино при выполнении их реконструкции.

## Оглавление

Введение.....	10
1. Расчет тепловых нагрузок и объема потребления тепловой энергии объектами проектируемой системы теплоснабжения.....	12
1.1. Тепловые нагрузки и потребление тепловой энергии на нужды отопления.....	13
1.2. Тепловые нагрузки и потребление тепловой энергии на нужды вентиляции.....	15
1.3. Тепловые нагрузки и потребление тепловой энергии на нужды ГВС	18
2. Построение интегрального графика продолжительности тепловых нагрузок.....	23
3 Выбор способа регулирования отпуска тепла в тепловые сети. Построение температурного графика.....	25
3.1. Способ регулирования отпуска тепловой энергии.....	25
3.2. Построение температурного графика.....	27
4 Выбор системы теплоснабжения.....	33
5 Гидравлический расчет тепловых сетей. Разработка гидравлического режима сети.....	36
5.1 Определение расчетных и суммарных расходов сетевой воды.....	37
5.2 Методика выполнения гидравлического расчета тепловой сети.....	42
5.3 Построение пьезометрического графика.....	48
5.4 Подбор сетевых и подпиточных насосов.....	52
6 Расчет и выбор основного оборудования индивидуальных тепловых пунктов.....	54
6.1 Расчет водоводяных теплообменников системы ГВС.....	55
6.2 Расчет и выбор насосного оборудования.....	61
7 Выбор и расчет оборудования тепловых сетей.....	63
7.1 Выбор опор.....	65
7.3 Выбор запорной арматуры.....	69
7.4 Выбор и расчет тепловой изоляции трубопровода.....	69
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	73

8.1. Потенциальные потребители результатов работы .....	73
8.2. Затраты на материальные ресурсы.....	74
8.3. Затраты на оплату труда.....	76
8.4. Амортизация основных фондов (средств).....	77
8.5. Прочие затраты.....	77
8.6. Годовые эксплуатационные расходы.....	78
9 Социальная ответственность .....	80
9.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	80
9.2. Производственная безопасность .....	82
9.3. Защита персонала от воздействия опасных и вредных факторов.....	82
9.4. Экологическая безопасность.....	90
9.5. Чрезвычайные ситуации.....	93
9.6. Выводы по разделу .....	94
Заключение .....	96
Список использованных источников .....	97

## Введение

Согласно данным официальной статистики, ежегодно публикуемой на официальном сайте Министерства энергетики РФ [1], среднегодовой объем выработки тепловой энергии в России за 2013–2018 гг составляет почти 500 млн. Гкал в год. При этом, около 46 % от общей выработки приходится на котельные [2, 3], включая источники мощностью более 20 Гкал/ч. В России тепловая энергия занимает первое место по значимости в структуре потребления энергоносителей как в промышленности и сфере услуг, так и среди населения [4].

Централизованное теплоснабжение от котельных и ТЭЦ в России является одним из наиболее развитых форм теплоснабжения в мире [5]. Однако в последнее время доля тепла, вырабатываемого в комбинированном цикле, постепенно снижается. Это связано с рядом факторов, в числе которых снижение тепловых нагрузок на производство, наблюдаемое в связи с закрытием или перепрофилированием промышленных предприятий, износ оборудования ТЭС и тепловых сетей от них. Это приводит к росту числа малых источников теплоснабжения – районных котельных. В частности, доля котельных на природном газе возросла в 1,5 раза [6]. Тем не менее, считается, что качество, надежность и эффективность теплоснабжения, достигается, главным образом, при использовании централизованных (или районных) систем. Это также подтверждается опытом эксплуатации систем теплоснабжения северных стран Европы [3].

Несмотря на значительный опыт эксплуатации систем теплоснабжения в рассматриваемой сфере имеются нерешенные задачи, в частности, связанные с достижением максимальной энергетической и экологической эффективности эксплуатации таких систем [7, 8]. Если основные вопросы экологической безопасности, решаются, в основном, на источниках теплоснабжения за счет снижения вредных выбросов в атмосферу, перерасхода топлива и т.п. [8], то к основным источникам получения

энергетической эффективности, в первую очередь, можно отнести определение минимального количества тепловой энергии, требуемого для обеспечения необходимых параметров микроклимата в отапливаемых помещениях, а также определение оптимальных параметров теплоносителя в системе теплоснабжения [7]. Указанные задачи решаются при проектировании систем теплоснабжения.

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы предполагается разработать проект системы теплоснабжения объектов социальной сферы (здания Асиновской центральной районной больницы) в микрорайоне города Асино Томской области.

## 1. Расчет тепловых нагрузок и объема потребления тепловой энергии объектами проектируемой системы теплоснабжения

При отсутствии проектных данных на здания в системе теплоснабжения максимальная тепловая нагрузка определялась по формулам укрупненных расчетов в соответствии с Методическими указаниями [9]. Перечень абонентов системы теплоснабжения с известными характеристиками приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Перечень абонентов системы теплоснабжения

№ п/п	Наименование потребителя тепловой энергии	Материал ограждающих конструкций	Число этажей	Наружный строительный объем здания, м <sup>3</sup>	Свободная высота здания, м
1	Больница (4-эт. корпус)	К	4	15430,0	12,7
2	Больница (2-эт. корпус)	К	2	2695,0	6,4
3	Поликлиника	К	2	5232,0	6,5
4	Поликлиника	К	1	433,0	3,4
5	Поликлиника, переход	К	2	1313,0	6,6
6	Пищеблок	К	1	1049,0	3,6
7	Инфекционное отделение	К	2	3750,0	6,5
8	Хозяйственный корпус (прачечная)	К	2	3826,0	5,6
9	Морг	К	1	823,0	3,4
10	Гараж	К	1	1298,0	3,8
11	Гараж – склад	К	1	2103,0	4,5
12	Хлораторная ЦРБ	К	1	62,0	3,2
13	Столярка	Д	1	302,0	3,3
14	Административный корпус	К	2	1615,0	6,3
15	Детская поликлиника	К	3	4980,0	9,5
16	Родильный дом	К	4	5750,0	12,7
17	Паталого-анатомическая	К	2	4798,0	6,5
18	Межмуниципальный медицинский центр	К	2	3968,0	6,5

Таким образом, в зоне действия котельной находятся 18 абонентов. Суммарная тепловая нагрузка потребителя складывается из нагрузок на нужды отопления  $Q_{\max}^{ot}$ , вентиляции  $Q_{\max}^v$  и ГВС  $Q_{\max}^h$ :

$$Q_{\max} = Q_{\max}^{ot} + Q_{\max}^v + Q_{\max}^h. \quad (1.1)$$

Для расчета тепловых нагрузок используются характеристики климатической зоны расположения системы теплоснабжения, а также внутренние параметры микроклимата в отапливаемых помещениях. В соответствии с [10] приняты следующие параметры:

- продолжительность отопительного периода – 257 суток;
- температура наружного воздуха для расчета системы отопления –  $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- средняя температура наружного воздуха в отопительном периоде –  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Внутренняя температура воздуха в помещениях принимается по [9, 11] и составляет:

- для хлораторной и административного корпуса –  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- для пищеблока и хозяйственного корпуса –  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- для гаражей –  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- для морга –  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- для прочих зданий –  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 1.1. Тепловые нагрузки и потребление тепловой энергии на нужды отопления

Максимальная тепловая нагрузка на нужды отопления при отсутствии проектных данных [9] определяется по формуле:

$$Q_{\max}^{ot} = a \cdot q_0 \cdot V_H \cdot (t_i - t_{нв}) \cdot k_{nm} \cdot 10^{-6}, \quad (1.2)$$

где  $a$  – поправочный коэффициент, учитывающий район строительства здания, принимаемый по Приложению 1 [9];

$q_0$  – удельная отопительная характеристика здания,  $\text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$ , принимаемая по Приложению 1 [9];

$V_H$  – объем здания по наружному обмеру выше отметки  $+0,00$  (надземная часть),  $\text{м}^3$ ;

$t_i$  – средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых помещений  $i$ -го здания, принимаемая по [9, 11],  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{нв}$  – расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления, принимаемая по [10], °С;

$k_{nm}$  – повышающий коэффициент для учета потерь теплоты теплопроводами, проложенными в неотапливаемых помещениях, принимается в соответствии с [12], равным 1,05.

Количество потребляемой тепловой энергии за расчетный период времени (год) определяется по формуле [9]:

$$Q_{год}^{ot} = Q_{max}^{ot} \cdot 24 \cdot Z \cdot \frac{t_i - t_{cp}}{t_i - t_{нв}}, \quad (1.3)$$

где  $Q_{max}^{ot}$  – максимальная тепловая нагрузка здания, Гкал/ч, определяемая по формуле (1.2);  $Z$  – продолжительность отопительного периода, сут., определяемая по [10];  $t_{cp}$  – средняя температура наружного воздуха за рассматриваемый (отопительный) период, °С, определяемая по [10].

В качестве примера рассмотрим расчет максимальной нагрузки на нужды отопления здания № 1 (четырёхэтажный корпус больницы высотой 12,7 м, строительный объем которого составляет 15430 м<sup>3</sup>).

По таблице 2 Приложения 1 [9] методом линейной интерполяции определяется поправочный коэффициент  $a$  для расчетной температуры наружного воздуха ( $t_{нв} = -41$  °С):  $a = 0,89$ .

По таблице 6 Приложения 1 [9] для общественных зданий и строений определяется удельная отопительная характеристика. Для больниц строительным объемом более 15 тыс. м<sup>3</sup>  $q_0 = 0,3$  ккал/(м<sup>3</sup>·ч·°С).

После подстановки найденных значений коэффициентов в формулу (1.2) получается:

$$\begin{aligned} Q_{max}^{ot} &= a \cdot q_0 \cdot V_n \cdot (t_i - t_{нв}) \cdot k_{nm} \cdot 10^{-6} = \\ &= 0,89 \cdot 0,3 \cdot 15430 \cdot (20 - (-41)) \cdot 1,05 \cdot 10^{-6} = 0,2639 \text{ Гкал/ч.} \end{aligned}$$

Объем годового потребления тепловой энергии определяется по формуле (1.3):

$$Q_{год}^{ot} = Q_{max}^{ot} \cdot 24 \cdot Z \cdot \frac{t_i - t_{cp}}{t_i - t_{нв}} = 0,2639 \cdot 24 \cdot 257 \cdot \frac{20 - (-8)}{20 - (-41)} = 747,1 \text{ Гкал/год.}$$

Аналогичным образом выполнен расчет максимальных тепловых нагрузок и годового потребления тепловой энергии на нужды отопления для всех зданий в проектируемой системе теплоснабжения. Результаты расчета представлены в таблице 1.2.

## 1.2. Тепловые нагрузки и потребление тепловой энергии на нужды вентиляции

При отсутствии проектных данных на здание расчетная тепловая нагрузка на нужды вентиляции в Гкал/ч определяется по формуле [9]:

$$Q_{\max}^v = V_H \cdot q_v \cdot (t_i - t_{нв}) \cdot 10^{-6}, \quad (1.4)$$

где  $q_v$  – удельная вентиляционная характеристика здания, ккал/(м<sup>3</sup>·ч·°С), принимаемая по Приложению 1 [9];  $V_H$  – объем здания по наружному обмеру выше отметки +0,00 (надземная часть), м<sup>3</sup>.

Годовое потребление тепловой энергии на нужды вентиляции здания определяется по формуле:

$$Q_{\text{год}}^{ot} = Q_{\max}^v \cdot n_v \cdot Z_v \frac{t_i - t_{cp}}{t_i - t_{нв}}, \quad (1.5)$$

где  $n_v$  – продолжительность работы системы вентиляции в сутки, ч, принимаемая в зависимости от режима работы здания;  $Z_v$  – продолжительность работы системы вентиляции за рассматриваемый период (год), сут.

В качестве примера рассмотрим расчет максимальной нагрузки на нужды вентиляции здания № 1 (четырёхэтажный корпус больницы высотой 12,7 м, строительный объем которого составляет 15430 м<sup>3</sup>).

По таблице 6 Приложения 1 [9] для общественных зданий и строений определяется удельная вентиляционная характеристика. Для больниц строительным объемом более 15 тыс. м<sup>3</sup>  $q_v=0,26$  ккал/(м<sup>3</sup>·ч·°С).

По формуле (1.4) определяем расчетную максимальную нагрузку на нужды вентиляции здания:

$$Q_{\max}^v = V_H \cdot q_v \cdot (t_i - t_{нв}) \cdot 10^{-6} = 15430 \cdot 0,26 \cdot (20 - (-41)) \cdot 10^{-6} = 0,2447 \text{ Гкал/ч.}$$

Таблица 1.2 – Результаты расчета максимальной тепловой нагрузки и годового потребления тепловой энергии на нужды отопления

№ п/п	Наименование потребителя тепловой энергии	Наружный строительный объем здания, м <sup>3</sup>	Внутренняя температура воздуха, °С	Расчетная температура СО, °С	Средняя температура ОЗП, °С	Продолжительность отопительного периода, сут.	Поправочный коэффициент	Уд. отопит. харак-ка, ккал/(м <sup>3</sup> ·ч·°С)	Поправочный коэффициент	Максимальная нагрузка на нужды отопления, Гкал/ч	Годовое потребление тепла на нужды отопления, Гкал/год
		$V_H$	$t_i$	$t_{ив}$	$t_{ср}$	$Z$	$a$	$q_0$	$k_{нт}$	$Q_{\max}^{от}$	$Q_{год}^{от}$
1	Больница (4-эт. корпус)	15430	20	-41	-8	257	0,89	0,30	1,05	0,2639	747,1
2	Больница (2-эт. корпус)	2695	20	-41	-8	257	0,89	0,40	1,05	0,0615	174,0
3	Поликлиника	5232	20	-41	-8	257	0,89	0,36	1,05	0,1074	304,0
4	Поликлиника	433	20	-41	-8	257	0,89	0,40	1,05	0,0099	28,0
5	Поликлиника, переход	1313	20	-41	-8	257	0,89	0,40	1,05	0,0299	84,8
6	Пищеблок	1049	16	-41	-8	257	0,89	0,35	1,05	0,0196	50,8
7	Инфекционное отделение	3750	20	-41	-8	257	0,89	0,40	1,05	0,0855	242,1
8	Хозяйственный корпус (прачечная)	3826	16	-41	-8	257	0,89	0,38	1,05	0,0774	201,1
9	Морг	823	8	-41	-8	257	0,89	0,40	1,05	0,0151	30,4
10	Гараж	1298	10	-41	-8	257	0,89	0,70	1,05	0,0433	94,3
11	Гараж – склад	2103	10	-41	-8	257	0,89	0,60	1,05	0,0601	130,9
12	Хлораторная ЦРБ	62	18	-41	-8	257	0,89	0,37	1,05	0,0013	3,4
13	Столярка	302	15	-41	-8	257	0,89	0,55	1,05	0,0087	22,0
14	Административный корпус	1615	18	-41	-8	257	0,89	0,43	1,05	0,0383	104,1
15	Детская поликлиника	4980	20	-41	-8	257	0,89	0,40	1,05	0,1136	321,5
16	Родильный дом	5750	20	-41	-8	257	0,89	0,36	1,05	0,1180	334,1
17	Паталого-анатомическая	4798	20	-41	-8	257	0,89	0,40	1,05	0,1094	309,7
18	Межмуниципальный медицинский центр	3968	20	-41	-8	257	0,89	0,43	1,05	0,0973	275,4

Таблица 1.3 – Результаты расчета максимальной тепловой нагрузки и годового потребления тепловой энергии на нужды вентиляции

№ п/п	Наименование потребителя тепловой энергии	Наружный строительный объем здания, м <sup>3</sup>	Внутренняя температура воздуха, °С	Расчетная температура СО, °С	Средняя температура ОЗП, °С	Уд. вент. Характеристика, ккал/(м <sup>3</sup> ·ч·°С)	Продолжительность работы СВ в течение суток, ч	Продолжительность работы СВ в год, сут.	Максимальная тепловая нагрузка на нужды вентиляции, Гкал/ч	Годовое потребление тепловой энергии на нужды вентиляции, Гкал/год
		$V_H$	$t_i$	$t_{нв}$	$t_{cp}$	$qv$	$nv$	$Zv$	$Q''_{max}$	$Q''_{год}$
1	Больница (4-эт. корпус)	15430	20	-41	-8	0,26	16	257	0,2447	461,9
2	Больница (2-эт. корпус)	2695	20	-41	-8	0,29	16	257	0,0477	90,0
3	Поликлиника	5232	20	-41	-8	0,25	12	257	0,0798	112,9
4	Поликлиника	433	20	-41	-8	0,00	—	—	0,0000	0,0
5	Поликлиника, переход	1313	20	-41	-8	0,00	—	—	0,0000	0,0
6	Пищеблок	1049	16	-41	-8	0,70	12	257	0,0419	54,3
7	Инфекционное отделение	3750	20	-41	-8	0,00	—	—	0,0000	0,0
8	Хозяйственный корпус (прачечная)	3826	16	-41	-8	0,80	12	257	0,1745	226,5
9	Морг	823	8	-41	-8	0,29	16	257	0,0117	15,7
10	Гараж	1298	10	-41	-8	0,00	—	—	0,0000	0,0
11	Гараж – склад	2103	10	-41	-8	0,00	—	—	0,0000	0,0
12	Хлораторная ЦРБ	62	18	-41	-8	1,00	24	257	0,0037	9,9
13	Столярка	302	15	-41	-8	0,50	12	257	0,0085	10,7
14	Административный корпус	1615	18	-41	-8	0,09	12	257	0,0086	11,7
15	Детская поликлиника	4980	20	-41	-8	0,00	—	—	0,0000	0,0
16	Родильный дом	5750	20	-41	-8	0,28	16	257	0,0982	185,4
17	Паталого-анатомическая	4798	20	-41	-8	0,29	16	257	0,0849	160,2
18	Межмуниципальный медицинский центр	3968	20	-41	-8	0,09	12	257	0,0218	30,8

Годовое потребление тепловой энергии на нужды вентиляции здания определяется по формуле (1.5) с учетом длительности работы учреждения  $n_v=16$  часов в сутки и функционированием системы вентиляции в течение отопительного периода ( $Z_v=Z=257$  суток):

$$Q_{год}^{от} = Q_{max}^v \cdot n_v \cdot Z_v \frac{t_i - t_{cp}}{t_i - t_{не}} = 0,2447 \cdot 16 \cdot 257 \frac{20 - (-8)}{20 - (-41)} = 461,9 \text{ Гкал/год.}$$

Аналогичным образом выполнен расчет максимальных тепловых нагрузок и годового потребления тепловой энергии на нужды вентиляции для всех зданий в проектируемой системе теплоснабжения. Результаты расчета представлены в таблице 1.3.

### 1.3. Тепловые нагрузки и потребление тепловой энергии на нужды ГВС

Температура горячей воды в местах водоразбора независимо от схемы присоединения в соответствии с [13] должна быть не ниже 60 °С и не выше 65 °С. В расчете принимаем температуру горячей воды  $t_h=65$  °С.

Нормативный расход воды принят в соответствии с Приложением А Правил [13], значения принятых расходов приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Нормативный расход горячей воды в час наибольшего водопотребления при  $t_h=65$  °С

№ п/п	Категория здания	Ед. изм.	Норма расхода воды, л/час на ед. изм.	Повышающий коэффициент для III климатического района
1	Больницы			
1.1	С общими ваннами и душами	1 койка	4,5	1,1
1.2	С санитарными узлами, приближенными к палатам	1 койка	6,5	1,1
1.3	Инфекционные	1 койка	8,1	1,1
2	Административные здания	1 работник	1,7	1,2
3	Поликлиники и амбулатории	1 больной	1,0	1,1
4	Прачечные	1 кг сухого белья	12,8	1,0

№ п/п	Категория здания	Ед. изм.	Норма расхода воды, л/час на ед. изм.	Повышающий коэффициент для III климатического района
5	Столярный цех	1 чел. в смену	3,7	1,15

Максимальная тепловая нагрузка на нужды ГВС, Гкал/ч, определяется по формуле [14]:

$$Q_{\max}^h = 1,2 \cdot m \cdot g_h (65 - t_{xв}) \cdot c_p^{cp} \cdot 10^{-6}, \quad (1.6)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий выстывание горячей воды потребительских систем ГВС;  $m$  – количество расчетных единиц (коек, работников и т.п.);  $g_h$  – удельный норматив расхода воды в час наибольшего водопотребления, л/ч (табл. 1.4);  $t_{xв}$  – температура холодной воды, принимаемая в отопительный период равной 5 °С и 15 °С – в летний период;  $c_p^{cp}$  – удельная изобарная теплоемкость воды, равная 1 ккал/(кг·°С).

Годовой расход тепловой энергии на нужды ГВС, Гкал/год, соответственно, для зимнего и летнего периодов определяется по формулам:

$$Q_{оп}^h = \frac{Q_{\max}^h \cdot Z_з \cdot 24}{\chi}, \quad (1.7)$$

$$Q_{лп}^h = \frac{Q_{\max}^h \cdot Z_л \cdot 24}{\chi}, \quad (1.8)$$

где  $Z_з$ ,  $Z_л$  – соответственно, продолжительность работы системы ГВС в отопительный и неотопительный период, сут.;  $\chi$  – коэффициент суточной неравномерности потребления горячей воды, принятый по рекомендациям [15].

В качестве примера рассмотрим расчет максимальной нагрузки и годового потребления тепловой энергии на нужды ГВС для здания № 1 (четырёхэтажное здание больницы).

Согласно таблице 1.4 максимальный часовой расход горячей воды составляет  $g_h=4,5$  л/ч на из расчета на 1 койку. Из исходных данных известно, что расчетное число коек в больнице составляет  $m=270$  коек. Тогда максимальная часовая нагрузка с учетом повышающего коэффициента для III климатической зоны составляет (по формуле 1.6):

$$Q_{\max}^h = 1,2 \cdot m \cdot g_h (65 - t_{xs}) \cdot c_p^{cp} \cdot 10^{-6} =$$

$$= 1,2 \cdot 270 \cdot 4,5 \cdot 1,1 (65 - 5) \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,0962 \text{ Гкал/ч.}$$

Годовое потребление тепловой энергии на нужды ГВС складывается из потребления тепловой энергии в отопительный и неотапительный периоды.

По формулам (1.7) и (1.8):

$$Q_{ОП}^h = \frac{1,2 \cdot m \cdot g_h (65 - t_{xs}^{ОП}) \cdot c_p^{cp} \cdot 10^{-6} \cdot Z_3 \cdot 24}{\chi} =$$

$$= \frac{1,2 \cdot 270 \cdot 4,5 \cdot 1,1 \cdot (65 - 5) \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 257 \cdot 24}{2,4} = 234,4 \text{ Гкал/год.}$$

$$Q_{НП}^h = \frac{1,2 \cdot m \cdot g_h (65 - t_{xs}^{НП}) \cdot c_p^{cp} \cdot 10^{-6} \cdot Z_3 \cdot 24}{\chi} =$$

$$= \frac{1,2 \cdot 270 \cdot 4,5 \cdot 1,1 \cdot (65 - 15) \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 93 \cdot 24}{2,4} = 74,6 \text{ Гкал/год.}$$

Суммарное годовое потребление тепловой энергии на нужды ГВС:

$$Q_{\text{год}}^h = Q_{НП}^h + Q_{ОП}^h = 74,6 + 234,4 = 309 \text{ Гкал/год.}$$

Аналогичным образом выполнен расчет максимальных тепловых нагрузок и годового потребления тепловой энергии на нужды ГВС для всех зданий в проектируемой системе теплоснабжения. Результаты расчета представлены в таблице 1.5.

Сводные результаты расчета тепловых нагрузок и годового потребления тепловой энергии приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.5 – Результаты расчета максимальной тепловой нагрузки и годового потребления тепловой энергии на нужды ГВС

№ п/п	Наименование потребителя тепловой энергии	Продолжительность отопительного периода	Норматив расхода воды, л/ч	Повышающий коэффициент	Количество расчетных единиц	Температура холодной воды в отопительный период, °С	Температура холодной воды в неотапливаемый период, °С	Продолжительность неотапливаемого периода	Коэффициент часовой неравномерности	Максимальная нагрузка на нужды ГВС, Гкал/ч	Годовое потребление тепловой энергии на нужды ГВС, Гкал/год
		$Z$	$g_h$	$k_n$	$m$	$t_{хв} (3)$	$t_{хв} (л)$	$Z_l$	$\chi$	$Q_{max}^h$	$Q_{год}^h$
1	Больница (4-эт. корпус)	257	4,5	1,1	270	5	15	93	2,5	0,0962	309,0
2	Больница (2-эт. корпус)	257	4,5	1,1	10	5	15	93	2,5	0,0036	11,4
3	Поликлиника	257	1,0	1,1	460	5	15	93	2,5	0,0364	117,0
4	Поликлиника	257	1,0	1,1	30	5	15	93	2,5	0,0024	7,6
5	Поликлиника, переход	257	1,0	1,1	2	5	15	93	2,5	0,0001	0,4
6	Пищеблок	257	3,4	1,0	260	5	15	93	1,5	0,0636	340,6
7	Инфекционное отделение	257	8,1	1,1	40	5	15	93	2,5	0,0257	82,4
8	Хозяйственный корпус (прачечная)	257	12,8	1,0	40	5	15	93	1,0	0,0372	298,4
9	Морг	257	1,7	1,2	40	5	15	93	2,5	0,0059	18,9
10	Гараж	257	1,7	1,2	15	5	15	93	2,5	0,0022	6,9
11	Гараж – склад	257	1,7	1,2	30	5	15	93	2,5	0,0044	14,1
12	Хлораторная ЦРБ	257	1,7	1,2	0	5	15	93		0,0000	0,0
13	Столярка	257	3,7	1,2	4	5	15	93	2,7	0,0011	3,2
14	Административный корпус	257	1,7	1,2	276	5	15	93	2,5	0,0406	130,3
15	Детская поликлиника	257	1,0	1,1	210	5	15	93	2,5	0,0166	53,5
16	Родильный дом	257	6,5	1,1	100	5	15	93	2,5	0,0515	165,3
17	Паталого-анатомическая	257	1,7	1,2	25	5	15	93	2,5	0,0037	11,8
18	Межмуниципальный медицинский центр	257	1,7	1,2	45	5	15	93	2,5	0,0067	21,4

Таблица 1.6 – Суммарные значения максимальной тепловой нагрузки и годового потребления тепловой энергии абонентами проектируемой системы теплоснабжения

№ п/п	Наименование потребителя тепловой энергии	Максимальная нагрузка на нужды отопления, Гкал/ч	Максимальная тепловая нагрузка на нужды вентиляции, Гкал/ч	Максимальная нагрузка на нужды ГВС, Гкал/ч	Суммарная тепловая нагрузка, Гкал/ч	Годовое потребление тепла на нужды отопления, Гкал/год	Годовое потребление тепловой энергии на нужды вентиляции, Гкал/год	Годовое потребление тепловой энергии на нужды ГВС, Гкал/год	Суммарное потребление тепловой энергии, Гкал/год
		$Q_{\max}^{ot}$	$Q_{\max}^v$	$Q_{\max}^h$	$Q_{\max}$	$Q_{год}^{ot}$	$Q_{год}^v$	$Q_{год}^h$	$Q_{год}$
1	Больница (4-эт. корпус)	0,2639	0,2447	0,0962	0,6048	747,1	461,9	309,0	1518,0
2	Больница (2-эт. корпус)	0,0615	0,0477	0,0036	0,1127	174,0	90,0	11,4	275,4
3	Поликлиника	0,1074	0,0798	0,0364	0,2236	304,0	112,9	117,0	533,9
4	Поликлиника	0,0099	0,0000	0,0024	0,0122	28,0	0,0	7,6	35,6
5	Поликлиника, переход	0,0299	0,0000	0,0001	0,0301	84,8	0,0	0,4	85,2
6	Пищеблок	0,0196	0,0419	0,0636	0,1251	50,8	54,3	340,6	445,8
7	Инфекционное отделение	0,0855	0,0000	0,0257	0,1112	242,1	0,0	82,4	324,5
8	Хозяйственный корпус (прачечная)	0,0774	0,1745	0,0372	0,2891	201,1	226,5	298,4	726,1
9	Морг	0,0151	0,0117	0,0059	0,0326	30,4	15,7	18,9	64,9
10	Гараж	0,0433	0,0000	0,0022	0,0455	94,3	0,0	6,9	101,2
11	Гараж – склад	0,0601	0,0000	0,0044	0,0645	130,9	0,0	14,1	145,1
12	Хлораторная ЦРБ	0,0013	0,0037	0,0000	0,0049	3,4	9,9	0,0	13,4
13	Столярка	0,0087	0,0085	0,0011	0,0182	22,0	10,7	3,2	35,9
14	Административный корпус	0,0383	0,0086	0,0406	0,0874	104,1	11,7	130,3	246,0
15	Детская поликлиника	0,1136	0,0000	0,0166	0,1302	321,5	0,0	53,5	374,9
16	Родильный дом	0,1180	0,0982	0,0515	0,2677	334,1	185,4	165,3	684,8
17	Паталого-анатомическая	0,1094	0,0849	0,0037	0,1980	309,7	160,2	11,8	481,7
18	Межмуниципальный медицинский центр	0,0973	0,0218	0,0067	0,1257	275,4	30,8	21,4	327,6
	Итого	1,2600	0,8258	0,3978	2,4835	<b>3457,5</b>	<b>1370,2</b>	<b>1592,3</b>	<b>6420,0</b>

## 2. Построение интегрального графика продолжительности тепловых нагрузок

Для анализа характера изменения тепловых нагрузок в системе теплоснабжения в течение года (отопительного периода) с целью определения рациональной загрузки оборудования, расходов топлива и других технико-экономических расчетов при проектировании системы строится график продолжительности тепловых нагрузок (график Россандера) [14, 16].

Согласно [16] построение графика выполняется в четырех квадрантах. Во II квадранте строится график зависимостей тепловых нагрузок на нужды отопления  $Q_{\max}^{ot}$  и вентиляции  $Q_{\max}^v$  от температуры наружного воздуха  $t_{нв}$ . Для построения графиков требуется расчет тепловой нагрузки при температуре наружного воздуха, равной 8 °С. Для систем отопления нагрузка при указанной температуре определяется по формуле:

$$Q_{+8}^{ot} = Q_{\max}^{ot} \frac{t_i - t_{cp}}{t_i - t_{нв}} = 1,26 \frac{20 - 8}{20 - (-41)} = 0,2479 \text{ Гкал/ч.}$$

Для систем вентиляции:

$$Q_{+8}^{ot} = Q_{\max}^v \frac{t_i - t_{cp}}{t_i - t_{нв}^v} = 0,8258 \frac{20 - 8}{20 - (-25)} = 0,2202 \text{ Гкал/ч.}$$

В III квадранте по данным Приложения 3 [16] строится кривая длительности стояния температур в течение отопительного периода.

В IV квадранте проводится прямая линия под углом 45 °, которая используется для графического переноса значений шкалы из III квадранта в I квадрант.

График продолжительности тепловой нагрузки в I квадранте строится по точкам пересечения штриховых линий, определяющих тепловую нагрузку и длительность их стояния равных или больше данных.

Интегральный график продолжительности тепловых нагрузок приведен на рисунке 2.1.

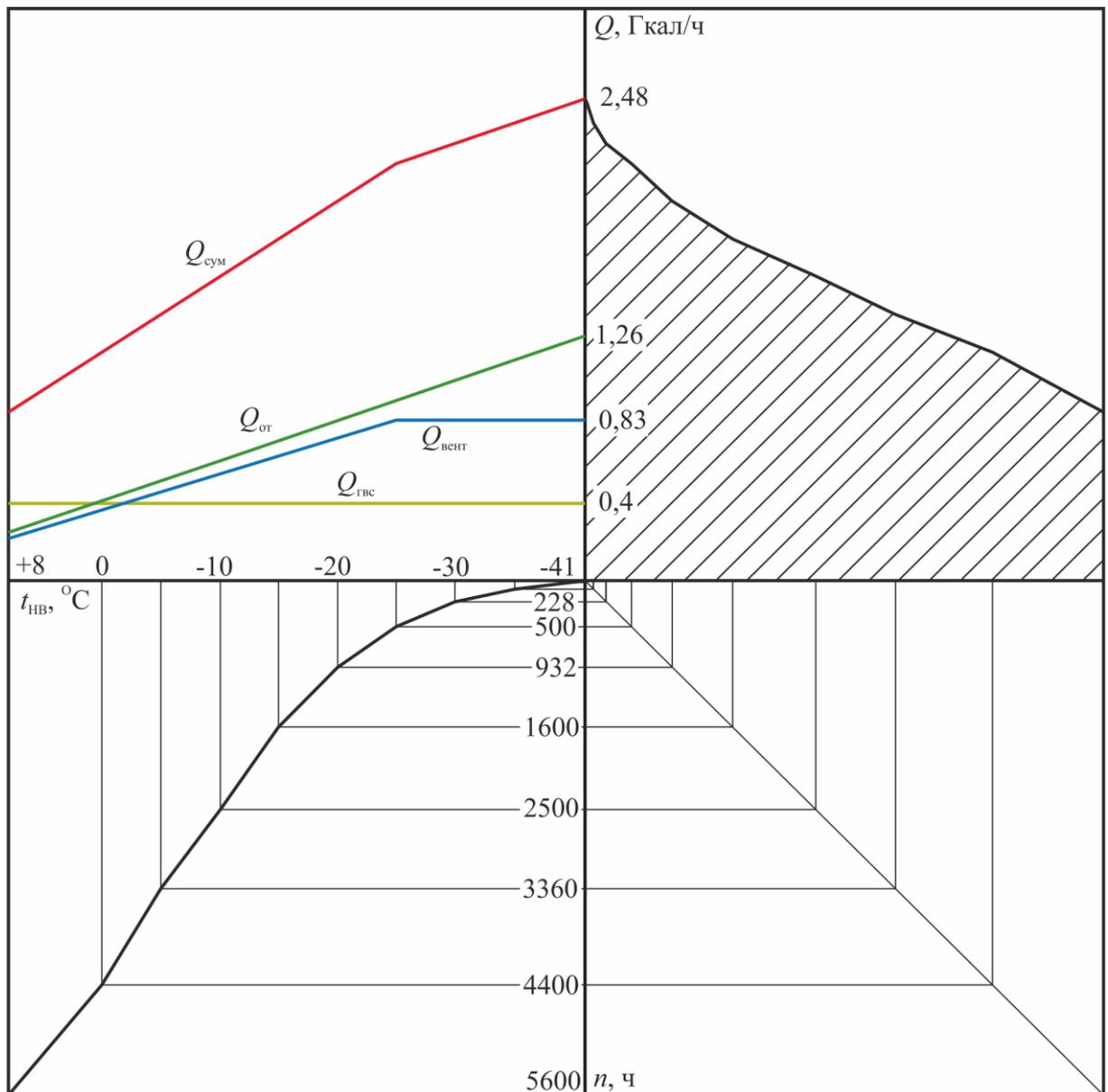


Рисунок 2.1 – График продолжительности тепловых нагрузок

Площадь под кривой, полученной в I квадранте, численно равна расходу теплоты на отопление и вентиляцию за отопительный сезон.

### 3 Выбор способа регулирования отпуска тепла в тепловые сети. Построение температурного графика

#### 3.1. Способ регулирования отпуска тепловой энергии

Регулирование отпуска тепловой энергии в зависимости от метеорологических факторов (температура наружного воздуха, скорость движения ветра, инсоляции), режима работы технологического оборудования на источнике осуществляется различными способами в каждой системе теплоснабжения. В зависимости от пункта осуществления регулирования существует центральное (на источнике тепла), групповое (на групповых подстанциях), местное (на местных тепловых подстанциях) и индивидуальное (на теплопотребляющих установках абонентов) регулирование. Для обеспечения высокой экономичности теплоснабжения рационально применять комбинированное регулирование (двух- или трехступенчатое). Однако индивидуальное регулирование на присоединенных теплопотребляющих установках абонентов зачастую требует значительных затрат, связанных с применением большого числа индивидуальных регуляторов. Поэтому в системах теплоснабжения малой мощности, примером которой является разрабатываемая в рамках ВКР, система, регулирование ограничивается одноступенчатым регулированием на источнике теплоты (котельной) [16].

Центральное регулирование в системах теплоснабжения осуществляется по тепловой нагрузке, характерной для большинства потребителей системы. Если отопительная нагрузка является преобладающей, то регулирование осуществляется по этому виду нагрузки. Однако в зависимости от соотношения нагрузки на нужды отопления и ГВС регулирование может осуществляться по совмещенной нагрузке, так как это позволяет обеспечить требуемую нагрузку ГВС с незначительным увеличением расчетного расхода воды в тепловой сети (или при отсутствии

такового). Минимальный требуемый расход воды позволяет оптимизировать затраты на строительство системы теплоснабжения за счет уменьшения диаметров тепловых сетей [16]. Достижение оптимальных расчетных расходов сетевой воды возможно при осуществлении качественного регулирования по совместной нагрузке отопления и ГВС. Качественный метод заключается в регулировании отпуска тепловой энергии путем изменения температуры теплоносителя на выходе источника (котельной). Кроме того, центральное количественное регулирование уступает качественному с точки зрения поддержания стабильности теплового режима отопительных установок, присоединенных к тепловым сетям по зависимой схеме [16].

Для выбора способа регулирования рассчитывается соотношение:

$$\mu = \frac{Q_{\max}^h}{Q_{\max}^{ot}} = \frac{0,3978}{1,26} = 0,31.$$

Так как соотношение  $\mu > 0,15$ , то регулирование отпуска следует осуществлять по совмещенной тепловой нагрузке [17]. В этом случае абоненты присоединяются к системе теплоснабжения в соответствии с принципом связанной подачи теплоты. Схема присоединения теплообменников системы ГВС в закрытых системах выбирается в зависимости от соотношения  $\mu$ : для  $\mu > 0,2$  используется двухступенчатая последовательная схема подключения (рис. 3.1).

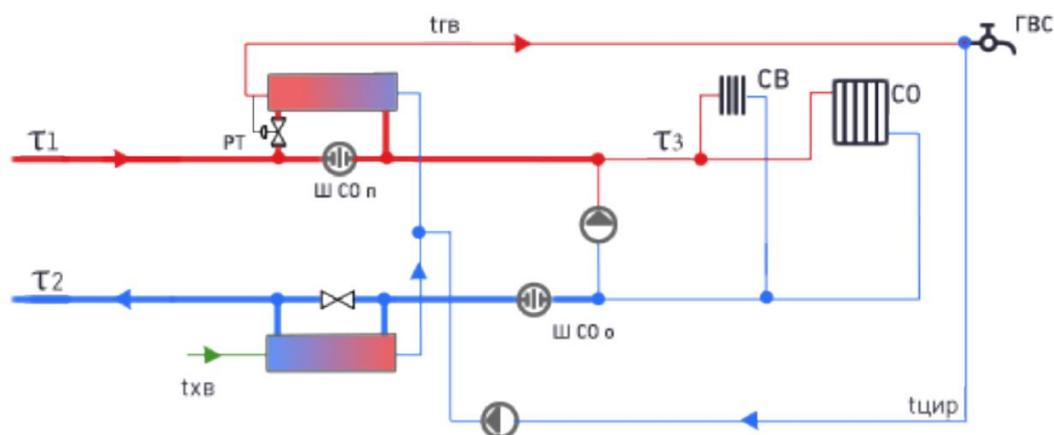


Рисунок 3.1 – Двухступенчатая последовательная схема присоединения подогревателей ГВС и системы отопления здания к наружной тепловой сети

Преимуществом параллельной схемы является постоянство расхода теплоносителя на протяжении всего отопительного периода, что обеспечивает стабильность гидравлического режима. Вероятность недогрева здания в периоды максимального водоразбора из системы ГВС минимизируется за счет подачи теплоносителя с завышенной температурой в период минимальной нагрузки на ГВС (например, в ночные часы). Таким образом, применение способности зданий аккумулировать тепло позволяет минимизировать колебания температуры внутри зданий.

### 3.2. Построение температурного графика

Поддержание заданной температуры внутреннего воздуха у абонентов систем теплоснабжения, а также требуемой температуры в системах ГВС в условиях изменения внешних климатических условий является основной задачей регулирования отпуска тепловой энергии [18].

В соответствии с данными, приведенными в п. 3.1, в проектируемой системе теплоснабжения регулирование осуществляется по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. При таком способе регулирования температура теплоносителя в подающей магистрали должна быть выше, чем при способе регулирования отопительной нагрузки. Основной целью расчета повышенного температурного графика в системах с таким способом регулирования является определение температурного перепада сетевой воды  $\delta$  в ступенях водоподогревателей системы горячего водоснабжения при изменении температуры наружного воздуха.

Суммарный перепад температуры сетевой воды в ступенях подогревателя ГВС  $\delta$  в течение всего отопительного сезона не изменяется и определяется по формуле:

$$\delta = \frac{Q_h^\delta}{Q_{\max}^{ot}} (\tau_1 - \tau_2),$$

где  $Q_{\max}^{ot}$  – максимальная нагрузка на отопление, Гкал/ч;  
 $Q_h^b = 1,2 \cdot Q_{\max}^h = 1,2 \cdot 0,3978 = 0,4774$  Гкал/ч – балансовая нагрузка ГВС с учетом коэффициента неравномерности суточного графика  $\chi = 1,2$ ,  $\tau_1, \tau_2$  – температуры сетевой воды в подающей и обратной магистрали теплосети соответственно, °С.

Расчетный температурный напор подогревателя вычисляется по формуле:

$$\Delta t = \frac{\tau_3^p + \tau_{20}^p}{2} - t_{вн} = \frac{90 + 70}{2} - 17 = 63,$$

где  $t_{вн}$  – расчетная температура внутреннего воздуха, усредненная для абонентов проектируемой системы теплоснабжения, составляет 17 °С;  
 $\tau_3^p = 95$  °С – температура теплоносителя на входе в систему отопления здания;  
 $\tau_{20}^p = 70$  °С – температура сетевой воды на выходе системы отопления здания.

Расчетный перепад температур теплоносителя в тепловой сети:

$$\Delta \tau = \tau_1 - \tau_2 = 95 - 70 = 25 \text{ °С.}$$

Расчетный перепад температур сетевой воды в местной системе отопления зданий:

$$\theta = \tau_3 - \tau_2 = 90 - 70 = 20 \text{ °С.}$$

Температура сетевой воды в подающем трубопроводе системы отопления определяется по формуле:

$$\tau_{1o} = t_{вн} + \Delta t \left( \frac{t_{вн} - t_n^i}{t_{вн} - t_n} \right)^{0,8} + (\Delta \tau - 0,5 \cdot \theta) \left( \frac{t_{вн} - t_n^i}{t_{вн} - t_n} \right), \quad (3.1)$$

где  $t_n = -41$  °С – расчетная температура наружного воздуха [10],  $t_n^i$  – текущая температура наружного воздуха, °С.

Температура сетевой воды в обратном трубопроводе системы отопления определяется по формуле:

$$\tau_{2o} = t_{вн} + \Delta t \left( \frac{t_{вн} - t_n^i}{t_{вн} - t_n} \right)^{0,8} - 0,5 \cdot \theta \left( \frac{t_{вн} - t_n^i}{t_{вн} - t_n} \right). \quad (3.2)$$

Соотношение, определяемое выражением  $\frac{t_{\text{вн}} - t_n^i}{t_{\text{вн}} - t_n}$ , называется относительной отопительной нагрузкой и обозначается  $\bar{Q}^p$ .

Для обеспечения нагрузки на нужды ГВС (для закрытых систем горячего водоснабжения) температура сетевой воды в подающем трубопроводе должна не ниже 70 °С. Поэтому полученный график по отопительной нагрузке спрямляется на уровне указанной температуры [19].

Расчет температурного графика выполнен по приведенным выше формулам (3.1) и (3.2) при изменении значения температуры наружного воздуха  $t_n^i$ . Результаты расчета представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты расчета температурного графика

Температура наружного воздуха, °С	Температура прямой сетевой воды, °С	Температура обратной сетевой воды, °С	Перепад температур, °С	Относительная отопительная нагрузка
$t_n$	$\tau_{1o}$	$\tau_{2o}$	$\Delta\tau$	$\bar{Q}^p$
8	70,0	53,0	17,00	0,16
6	70,0	53,0	17,00	0,19
4	70,0	53,0	17,00	0,22
2	70,0	53,0	17,00	0,26
0	70,0	53,0	17,00	0,29
-2	70,0	53,0	17,00	0,33
-4	70,0	53,0	17,00	0,36
-6	70,0	53,0	17,00	0,40
-8	70,0	53,0	17,00	0,43
-10	70,0	53,0	17,00	0,47
-12	70,0	53,0	17,00	0,50
-14	70,0	53,0	17,00	0,53
-16	70,0	53,0	17,00	0,57
-18	70,0	53,0	17,00	0,60
-20	70,7	54,7	15,95	0,64
-22	73,1	56,3	16,81	0,67
-24	75,5	57,8	17,67	0,71
-26	77,8	59,3	18,53	0,74
-28	80,2	60,8	19,40	0,78
-30	82,5	62,2	20,26	0,81
-32	84,8	63,7	21,12	0,84
-34	87,1	65,1	21,98	0,88
-36	89,4	66,5	22,84	0,91
-38	91,6	67,9	23,71	0,95

Температура наружного воздуха, °С	Температура прямой сетевой воды, °С	Температура обратной сетевой воды, °С	Перепад температур, °С	Относительная отопительная нагрузка
-40	93,9	69,3	24,57	0,98
-41	95,0	70,0	25,00	1,00

Температура наружного воздуха  $t_{ни}$ , соответствующая точке излома температурного графика, делит отопительный сезон на периоды с разными режимами регулирования [19]:

- диапазон температур наружного воздуха  $t > t_{ни}$ , в котором производится местное регулирование в ИТП абонентов с целью предотвращения «перетопа»;
- диапазон температур наружного воздуха  $t < t_{ни}$ , в котором производится центральное качественное регулирование на источнике.

Перепад температур теплоносителя на ступенях подогревателя системы ГВС:

$$\delta = \frac{Q_h^{\sigma}}{Q_{\max}^{\sigma}} (\tau_1 - \tau_2) = \frac{0,4774}{1,2600} \cdot (95 - 70) = 9,47 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Перепад температур в ступенях определяются отдельно для нижней и верхней ступеней подогревателей. Из таблицы 3.1 определяем точку излома температурного графика  $t_{ни} = -19 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура обратной сетевой воды, соответствующая точке излома температурного графика  $t_{2o}^I = 53 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Величина недогрева воды принимается равной  $\Delta = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Перепад температур сетевой воды в нижней ступени водоподогревателя, при температуре наружного воздуха в точке излома графика и для всего диапазона температур наружного воздуха с более высокой температурой  $t > t_{ни}$  определяется выражением:

$$\delta_2^I = \delta \frac{t_h^I - t_c}{t_h - t_c} = 9,47 \frac{43 - 5}{65 - 5} = 6,0 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

где  $t_h=65$  °С – температура горячей воды в системе ГВС;  $t_c=5$  °С – температура холодной водопроводной воды;  $t_h^I$  – температура водопроводной воды за нижней ступенью подогревателя  $t_h^I = \tau_{2o}^I - \Delta t = 53 - 10 = 43$  °С.

Перепад температур сетевой воды в нижней ступени подогревателя определяется выражением:

$$\delta_2 = \delta_2^I \frac{\tau_{2o} - t_c}{\tau_{2o}^I - t_c} = 6,0 \frac{95 - 5}{53 - 5} = 8,12 \text{ °С.}$$

По полученным значениям определяем температуру сетевой воды в обратном трубопроводе по повышенному графику:

$$\tau_{2n} = \tau_{2o} - \delta_2 = 70 - 8,12 = 61,88 \text{ °С.}$$

Перепад температур сетевой воды в верхней ступени подогревателя:

$$\delta_1 = \delta - \delta_2 = 9,47 - 1,12 = 1,35 \text{ °С.}$$

Температура прямой сетевой воды:

$$\tau_{1n} = \tau_{1o} + \delta_1 = 95 + 1,35 = 96,35 \text{ °С.}$$

Перепад температур сетевой воды в нижней ступени подогревателя при температуре наружного воздуха в точке излома графика и для всего диапазона температур наружного воздуха  $t < t_{ни}$ :

$$\delta_1^I = \delta - \delta_2^I = 9,47 - 6,0 = 3,47 \text{ °С.}$$

Расчетный температурный график показан на рис. 3.2 [19].

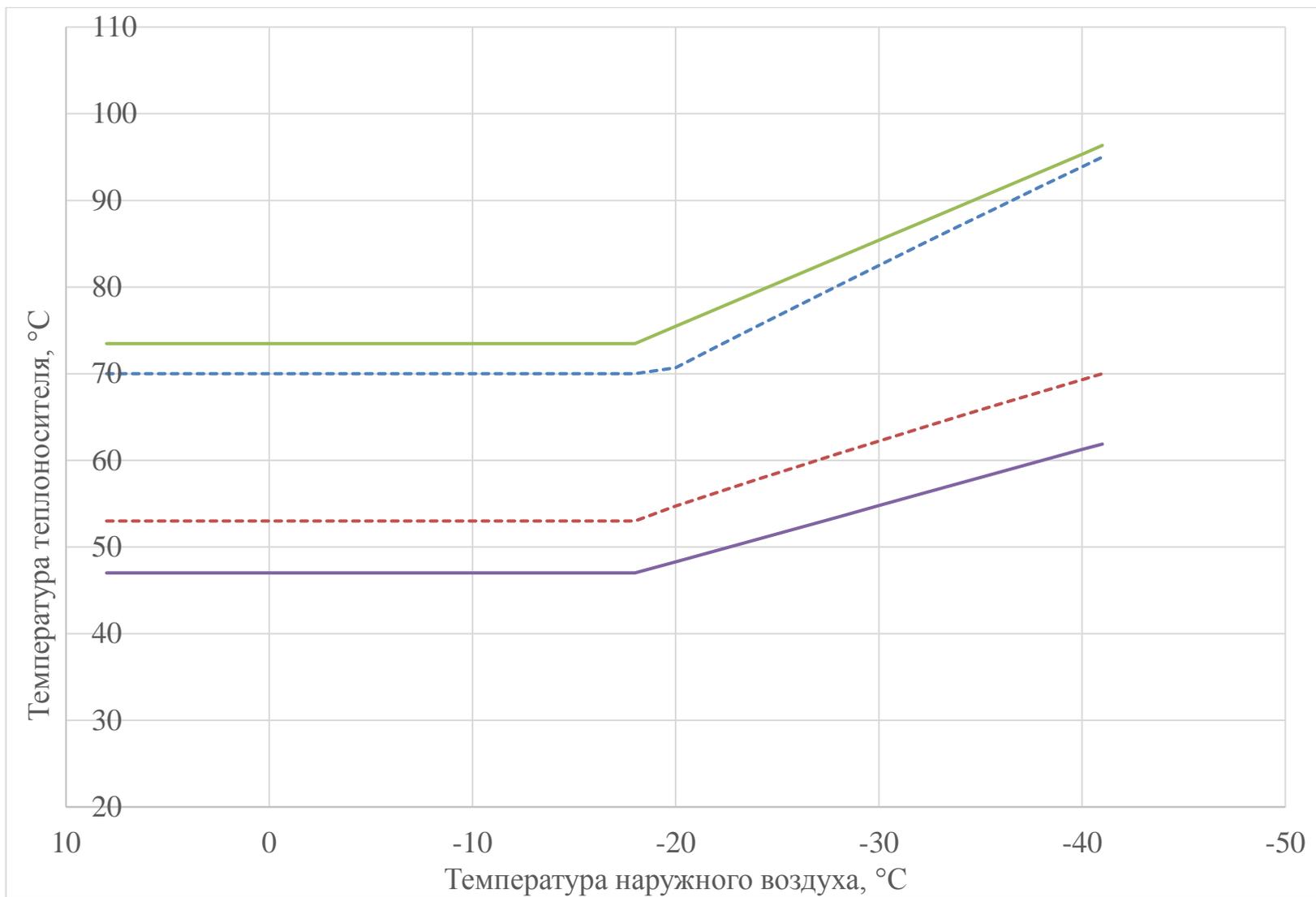


Рисунок 3.2 – Расчетный температурный график по совместной нагрузке отопления и ГВС для проектируемой системы теплоснабжения в зоне действия котельной «АЦРБ»

#### 4 Выбор системы теплоснабжения

В комплексной системе централизованного теплоснабжения три основных элемента – источник теплоснабжения, потребитель и тепловая сеть. Последняя помимо основной функции транспортировки теплоносителя является ещё и звеном, которое определяет надежность снабжения теплом потребителей, режим работы и показатели всей системы теплоснабжения. В понятие "тепловая сеть" при этом включаются как трубопроводы, соединяющие источник теплоснабжения с потребителем, так и насосные станции, тепловые пункты. [20]

Тепловые пункты разделяют на индивидуальные тепловые пункты (ИТП) и центральные тепловые пункты (ЦТП).

Для обеспечения надежности теплоснабжения жилых домов выбираем двухтрубную систему, с устройством индивидуального теплового пункта в каждом доме.

В соответствии с заданием разрабатывается зависимая закрытая система теплоснабжения. При закрытой системе горячего водоснабжения подогрев водопроводной воды, которая поступает в установки ГВС, осуществляется на абонентских вводах в поверхностных водоводяных подогревателях. Главным преимуществом закрытой системы принято считать изолированность контуров водопроводной воды, поступающей в установки горячего водоснабжения, от воды, циркулирующей в тепловой сети.

Благодаря изолированности контуров сетевой и водопроводной воды друг от друга обеспечивается стабильное качество горячей воды, которая поступает в установки ГВС, которое соответствует качеству водопроводной воды, а также значительно упрощается контроль герметичности теплофикационной системы, проводящийся по расходу подпитки. Из недостатков закрытых систем можно отметить выпадение накипи в водоводяных подогревателях и трубопроводах, а также их коррозии;

сложность конструкции оборудования и эксплуатации абонентских вводов ГВС из-за установки водоводяных подогревателей.

Схемы присоединения систем отопления бывают зависимые без смешения воды, зависимые со смешением воды и независимые. Зависимое присоединение, при котором теплоноситель из теплосети без снижения температуры (без смешения) попадает к потребителю, является наиболее простым и удобным в эксплуатации. Применяется при температурах теплоносителя, не превышающих 95...105 °С. Теплоснабжение абонентов от котельной «АЦРБ» планируется осуществлять в соответствии с температурным графиком 96,4/61,9 (см. рис. 3.2).

Для присоединения абонентов по зависимой схеме со смешением теплоносителя как правило применяют водоструйные элеваторы. Водоструйный элеватор получил распространение как дешевый, простой и надежный в эксплуатации аппарат. Он сконструирован так, что подсасывает охлажденную воду для смешения с высокотемпературной водой и передает часть давления, создаваемого сетевым насосом на тепловой станции, в систему отопления для обеспечения циркуляции воды. Одним из недостатков водоструйного элеватора является низкий КПД. Достигая наивысшего значения (43%) при малом коэффициенте смешения и особой форме камеры всасывания, гидростатический КПД стандартного элеватора практически при высокотемпературной воде близок к 10%. Следовательно, в этом случае разность давления в наружных теплопроводах на вводе их в здание должна не менее чем в 10 раз превышать циркуляционное давление, необходимое для циркуляции в системе отопления. Это условие значительно ограничивает давление, передаваемое водоструйным элеватором в систему из наружной тепловой сети. Другой недостаток элеватора — прекращение циркуляции воды в системе отопления при аварии в наружной тепловой сети, что ускоряет охлаждение отапливаемых помещений и замерзание воды в системе. [21]

Оборудование на абонентских вводах при использовании зависимой схеме присоединения более простое и дешевое, чем при независимой. При этом может быть получен большой перепад температур сетевой воды у абонента. Увеличение перепада температур воды приводит к уменьшению расхода теплоносителя в сети, и, как следствие, к снижению диаметров трубопроводов и экономии на начальной стоимости тепловой сети и эксплуатационных расходах. Главным недостатком использования зависимой схемы присоединения является жесткая гидравлическая связь тепловой сети с нагревательными приборами, которые, чаще всего, имеют пониженную механическую прочность, что ограничивает пределы допускаемых режимов работы системы централизованного теплоснабжения. Данный фактор снижает надежность и усложняет эксплуатацию системы теплоснабжения в зоне действия котельной «АЦРБ». Поэтому сделан вывод о недопустимости присоединений зданий по зависимой схеме элеваторным смешением теплоносителя.

Так как в зоне действия котельной «АЦРБ» абонентами являются здания высотой 1-4 этажа, выбирается зависимая схема присоединения с использованием смесительных насосов.

## 5 Гидравлический расчет тепловых сетей. Разработка гидравлического режима сети

Основная задача гидравлического расчета при проектировании тепловой сети состоит в определении диаметров труб по заданным расходам теплоносителя и располагаемым перепадам давления в сети.

При проектировании в гидравлический расчет входят следующие задачи:

- определение диаметров трубопроводов;
- определение падения давления (напора);
- определение давлений (напоров) в различных точках сети.

Перед гидравлическим расчетом разработана схема тепловой сети. На ней указаны задвижки, тепловые камеры, смотровые камеры (см. лист ФЮРА.140104.005 ГЧ2).

Тепловая сеть спроектирована в двухтрубном исполнении и соединяет источник непосредственно с абонентами. При выборе трассировки тепловой сети учитывалось расположение уже существующих зданий. Вследствие этого запроектирована подземная прокладка в каналах. Каналы ограждают трубопровод и тепловую изоляцию от непосредственного контакта с грунтом. Конструкция канала снимает нагрузку грунта с трубопровода. Прокладка трубопровода в каналах обеспечивает свободное температурное перемещение его как в продольном, так и в поперечном направлении.

Задвижки запроектированы на ответвлениях и у источника.

Перед гидравлическим расчетом определим расчетные расходы сетевой воды, а затем суммарные на основании результатов расчета тепловой нагрузки.

## 5.1 Определение расчетных и суммарных расходов сетевой воды

5.1.1 Расчетный расход сетевой воды на отопление здания районной больницы для 4-этажного корпуса:

$$G_{o1} = \frac{Q_{01}}{c \cdot (\tau_{10}^p - \tau_{20}^p)}, \frac{\text{кВт}}{\text{с}},$$

где  $Q_{01}$  – расчетная нагрузка на отопление 4-этажного корпуса здания районной больницы, кВт;  $c = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  – теплоемкость воды;  $\tau_{10}^p, \tau_{20}^p$  – температура сетевой воды в подающей и обратной линии, в соответствии с повышенным температурным графиком, (см. рис. 3.2)  $^{\circ}\text{C}$ .

$$G_{o1} = \frac{306,9}{4,19 \cdot (96,4 - 61,9)} = 2,123 \frac{\text{кВт}}{\text{с}}.$$

Расчетный расход сетевой воды на отопление здания районной больницы для 2-этажного корпуса:

$$G_{o2} = \frac{Q_{02}}{c \cdot (\tau_{10}^p - \tau_{20}^p)}, \frac{\text{кВт}}{\text{с}},$$

где  $Q_{02}$  – расчетная нагрузка на отопление 2-этажного корпуса здания районной больницы, кВт.

$$G_{o2} = \frac{71,52}{4,19 \cdot (96,4 - 61,9)} = 0,495 \frac{\text{кВт}}{\text{с}}.$$

Расчетный расход сетевой воды на отопление здания районной больницы для поликлиники:

$$G_{o3} = \frac{Q_{03}}{c \cdot (\tau_{10}^p - \tau_{20}^p)}, \frac{\text{кВт}}{\text{с}},$$

где  $Q_{03}$  – расчетная нагрузка на отопление поликлиники здания районной больницы, кВт.

$$G_{o3} = \frac{124,9}{4,19 \cdot (96,4 - 61,9)} = 0,864 \frac{\text{кВт}}{\text{с}}.$$

Расчетный расход сетевой воды на отопление здания районной больницы для пристройки поликлиники:

$$G_{o4} = \frac{Q_{04}}{c \cdot (\tau_{10}^p - \tau_{20}^p)}, \frac{\text{кВт}}{\text{с}},$$

где  $Q_{04}$  – расчетная нагрузка на отопление пристройки поликлиники здания районной больницы, кВт.

$$G_{o4} = \frac{11,51}{4,19 \cdot (96,4 - 61,9)} = 0,08 \frac{\text{кВт}}{\text{с}}.$$

Расчетный расход сетевой воды на отопление здания районной больницы для перехода поликлиники:

$$G_{o5} = \frac{Q_{05}}{c \cdot (\tau_{10}^p - \tau_{20}^p)}, \frac{\text{кВт}}{\text{с}},$$

где  $Q_{04}$  – расчетная нагрузка на отопление перехода поликлиники здания районной больницы, кВт.

$$G_{o5} = \frac{34,77}{4,19 \cdot (96,4 - 61,9)} = 0,241 \frac{\text{кВт}}{\text{с}}.$$

Расчетный расход сетевой воды на отопление здания районной больницы для пищеблока:

$$G_{o6} = \frac{Q_{06}}{c \cdot (\tau_{10}^p - \tau_{20}^p)}, \frac{\text{кВт}}{\text{с}},$$

где  $Q_{04}$  – расчетная нагрузка на отопление пищеблока здания районной больницы, кВт.

$$G_{o6} = \frac{22,79}{4,19 \cdot (96,4 - 61,9)} = 0,158 \frac{\text{кВт}}{\text{с}}.$$

5.1.2 Расчетный расход сетевой воды на вентиляцию здания районной больницы для 4-этажного корпуса:

$$G_{e1} = \frac{Q_{e1}}{c \cdot (\tau_{10}^p - \tau_{20}^p)}, \frac{\text{кВт}}{\text{с}},$$

где  $Q_{61}$  – расчетная нагрузка на вентиляцию 4-этажного корпуса здания районной больницы, кВт.

$$G_{61} = \frac{284,9}{4,19 \cdot (96,4 - 61,9)} = 1,97 \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

Расчетный расход сетевой воды на вентиляцию здания районной больницы для 2-этажного корпуса:

$$G_{62} = \frac{Q_{62}}{c \cdot (\tau_{10}^p - \tau_{20}^p)}, \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

где  $Q_{62}$  – расчетная нагрузка на вентиляцию 2-этажного корпуса здания районной больницы, кВт.

$$G_{62} = \frac{55,48}{4,19 \cdot (96,4 - 61,9)} = 0,384 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Расчетный расход сетевой воды на вентиляцию здания районной больницы для поликлиники:

$$G_{63} = \frac{Q_{63}}{c \cdot (\tau_{10}^p - \tau_{20}^p)}, \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

где  $Q_{63}$  – расчетная нагрузка на вентиляцию поликлиники здания районной больницы, кВт.

$$G_{63} = \frac{92,81}{4,19 \cdot (96,4 - 61,9)} = 0,642 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Расчетный расход сетевой воды на вентиляцию пищеблока здания районной больницы:

$$G_{64} = \frac{Q_{64}}{c \cdot (\tau_{10}^p - \tau_{20}^p)}, \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

где  $Q_{64}$  – расчетная нагрузка на вентиляцию пищеблока здания районной больницы, кВт.

$$G_{64} = \frac{48,73}{4,19 \cdot (96,4 - 61,9)} = 0,337 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

5.1.3 Расчетный максимальный расход сетевой воды на ГВС здания районной больницы для 4-этажного корпуса:

$$G_{\text{звс01}}^{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot Q_{\text{звс01}}^{\text{max}}}{c \cdot (\tau_1^{\text{м}} - \tau_2^{\text{м}})}, \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

где  $Q_{\text{звс01}}^{\text{max}}$  – расчетная максимальная нагрузка на ГВС, кВт;  $\tau_{1И}^p - \tau_{2И}^p$  – соответственно температура сетевой воды в подающем и обратном трубопроводе тепловой сети в точке излома повышенного температурного графика, рис. 3,2, °С.

$$G_{\text{звс01}}^{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot 111,9}{4,19 \cdot (73,5 - 47)} = 0,554 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Расчетный максимальный расход сетевой воды на ГВС здания районной больницы для 2-этажного корпуса:

$$G_{\text{звс02}}^{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot Q_{\text{звс02}}^{\text{max}}}{c \cdot (\tau_1^{\text{м}} - \tau_2^{\text{м}})}, \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

где  $Q_{\text{звс02}}^{\text{max}}$  – расчетная максимальная нагрузка на ГВС, кВт.

$$G_{\text{звс02}}^{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot 4,187}{4,19 \cdot (73,5 - 47)} = 0,021 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Расчетный максимальный расход сетевой воды на ГВС здания районной больницы для поликлиники:

$$G_{\text{звс03}}^{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot Q_{\text{звс03}}^{\text{max}}}{c \cdot (\tau_1^{\text{м}} - \tau_2^{\text{м}})}, \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

где  $Q_{\text{звс03}}^{\text{max}}$  – расчетная максимальная нагрузка на ГВС, кВт.

$$G_{\text{звс03}}^{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot 42,33}{4,19 \cdot (73,5 - 47)} = 0,21 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Расчетный максимальный расход сетевой воды на ГВС здания районной больницы для пристройки поликлиники:

$$G_{\text{звс04}}^{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot Q_{\text{звс04}}^{\text{max}}}{c \cdot (\tau_1^{\text{м}} - \tau_2^{\text{м}})}, \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

где  $Q_{\text{звс04}}^{\text{max}}$  – расчетная максимальная нагрузка на ГВС, кВт.

$$G_{\text{звс04}}^{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot 2,79}{4,19 \cdot (73,5 - 47)} = 0,014 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Расчетный максимальный расход сетевой воды на ГВС здания районной больницы для перехода поликлиники:

$$G_{\text{звс05}}^{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot Q_{\text{звс05}}^{\text{max}}}{c \cdot (\tau_1^{\text{м}} - \tau_2^{\text{м}})}, \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

где  $Q_{\text{звс04}}^{\text{max}}$  – расчетная максимальная нагрузка на ГВС, кВт.

$$G_{\text{звс05}}^{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot 0,116}{4,19 \cdot (73,5 - 47)} = 0,001 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Расчетный максимальный расход сетевой воды на ГВС здания районной больницы для пищеблока:

$$G_{\text{звс06}}^{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot Q_{\text{звс06}}^{\text{max}}}{c \cdot (\tau_1^{\text{м}} - \tau_2^{\text{м}})}, \frac{\text{кг}}{\text{с}},$$

где  $Q_{\text{звс04}}^{\text{max}}$  – расчетная максимальная нагрузка на ГВС, кВт.

$$G_{\text{звс06}}^{\text{max}} = \frac{0,55 \cdot 73,97}{4,19 \cdot (73,5 - 47)} = 0,366 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

5.1.4 Суммарный расчетный расход сетевой воды для здания районной больницы

$$\sum G_{\text{л}i} = \sum G_{oi} + \sum G_{vi} + \sum G_{\text{звс}oi}^{\text{max}} = 3,961 + 3,193 + 1,166 = 8,32 \text{ кг/с}.$$

Аналогичные расчеты производим для остальных зданий. Результаты сведены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Расчетные и суммарные расходы сетевой воды.

№	Наименование потребителя	$G_o$ , кг/с	$G_b$ , кг/с	$G_{звс}^{max}$ , кг/с	$\sum G$ , кг/с
1	Больница (4-эт. корпус)	2,123	1,969	0,554	4,646
2	Больница (2-эт. корпус)	0,495	0,384	0,021	0,899
3	Поликлиника	0,864	0,642	0,210	1,716
4	Поликлиника	0,080	0,000	0,014	0,093
5	Поликлиника, переход	0,241	0,000	0,001	0,241
6	Пищеблок	0,158	0,337	0,366	0,861
7	Инфекционное отделение	0,688	0,000	0,148	0,836
8	Хозяйственный корпус (прачечная)	0,623	1,404	0,214	2,241
9	Морг	0,121	0,094	0,034	0,250
10	Гараж	0,348	0,000	0,013	0,361
11	Гараж – склад	0,484	0,000	0,025	0,509
12	Хлораторная ЦРБ	0,010	0,030	0,000	0,040
13	Столярка	0,070	0,068	0,006	0,145
14	Административный корпус	0,308	0,069	0,234	0,611
15	Детская поликлиника	0,914	0,000	0,096	1,010
16	Родильный дом	0,949	0,790	0,297	2,036
17	Паталого-анатомическая	0,880	0,683	0,021	1,585
18	Межмуниципальный медицинский центр	0,783	0,175	0,039	0,997
				ИТОГО:	19,076

## 5.2 Методика выполнения гидравлического расчета тепловой сети

Гидравлический расчет главной магистрали и ответвлений.

В ходе расчета принимаем, что эквивалентная шероховатость водопроводов равна:

$$k_s = 1,2 \text{ мм},$$

а плотность воды при температуре  $100^{\circ}\text{C}$ :

$$\rho = 958,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Располагаемый перепад давлений в тепловой сети необходимо обосновывать технико-экономическими расчетами. Так как отсутствуют данные для экономического обоснования, удельные потери давления вдоль главной магистрали принимаем [22]:

$$R_{л.ср}, = 75 \frac{\text{Па}}{\text{м}}.$$

Вдоль ответвлений:

$$R_{л.ср} = 300 \frac{\text{Па}}{\text{м}}.$$

По номограмме V1.2 [22], при  $R_{л.ср} = 75 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$  для главной магистрали и  $R_{л.ср} = 300 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$  для ответвлений, а также расчетным расходам участков тепловой сети  $G_i$ , кг/с определяем ближайший стандартный диаметр трубы для данного участка. При уже выбранном значении стандартного диаметра  $d$ , мм и известного расчетного расхода определяем действительные удельные потери давления на участках,  $R_{л.}$ , а также скорость теплоносителя (сетевой воды)  $\omega$ , м/с.

Объемный расход воды в трубопроводе:

$$V = \frac{G}{\rho}, \text{ м}^3 / \text{с}$$

Скорость воды в трубопроводе:

$$\omega = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2}, \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Предельное число Рейнольдса:

$$\text{Re}_{np} = 568 \cdot \frac{d}{k_3}$$

Действительное число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot d}{\nu}$$

Коэффициент гидравлического трения при  $2300 < \text{Re} < \text{Re}_{np}$  :

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{k_3}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}$$

Коэффициент гидравлического трения при  $\text{Re} > \text{Re}_{np}$  :

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{k_3}{d} \right)^{0,25}$$

где эквивалентная шероховатость трубопровода  $k_3 = 0,5$  мм.

Действительное удельное падение давления:

$$R_{л} = \frac{\lambda \cdot \omega^2 \cdot \rho}{2 \cdot d}$$

Суммарная эквивалентная длина местных сопротивлений на участках  $\Sigma L_{3(i)}$  определяется в зависимости от наименования местных сопротивлений (задвижка, тройник при делении потоков, компенсаторы, внезапное сужение, отводы крутоизогнутые и т.д.) и значении наружных диаметров труб  $d$ , мм [22].

Потери давления на участке [22]:

$$\Delta P = R_{л(i)} \cdot (L_i + \Sigma L_{3(i)}), \text{ Па.}$$

В линейных единицах потери давления составляют [22]:

$$\Delta H_i = \frac{\Delta P_i}{g \cdot \rho}, \text{ м. вод. ст.,}$$

где  $g = 9,81 \frac{м}{с^2}$  – ускорение свободного падения;

Результаты расчета приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Результаты гидравлического расчета тепловых сетей в зоне действия котельной «АЦРБ».

№ участка	G, кг/с	d, мм	L, м	V, м <sup>3</sup> /с	ω, м/с	Reпр	Re	λ	Rл, Па/м	ΔP, Па	ΔH, м.в.ст.
Центральная магистраль подающего трубопровода											
10	12,5253	150	146	0,0131	0,75	71000	361997	0,0329	59,0	8733	0,929
16	17,8876	150	81	0,0187	1,07	71000	516655	0,0329	120,1	10407	1,107
19	18,7911	150	39	0,0196	1,12	71000	542753	0,0329	132,5	5923	0,630
21	20,0828	150	57	0,0210	1,20	71000	579968	0,0329	151,3	8950	0,952
30	27,8007	150	15	0,0290	1,66	71000	803255	0,0329	290,3	4982	0,530
Центральная магистраль обратного трубопровода											
10	12,5253	150	146	0,0131	0,75	71000	361997	0,0329	59,0	8733	0,929
16	17,8876	150	81	0,0187	1,07	71000	516655	0,0329	120,1	10407	1,107
19	18,7911	150	39	0,0196	1,12	71000	542753	0,0329	132,5	5923	0,630
21	20,0828	150	57	0,0210	1,20	71000	579968	0,0329	151,3	8950	0,952
30	27,8007	150	15	0,0290	1,66	71000	803255	0,0329	290,3	4982	0,530
Ответвления от центральной магистрали (1) подающего трубопровода											
1	1,4308	76	48	0,0015	0,34	35973	83992	0,0390	28,9	1542	0,164
2	6,9908	100	5	0,0073	0,95	47333	307383	0,0364	158,8	1354	0,144
3	8,4219	100	53	0,0088	1,15	47333	370535	0,0364	230,7	13114	1,395
Ответвления от центральной магистрали (2) подающего трубопровода											
4	1,1497	32	10	0,0012	1,69	15147	174351	0,0484	2072,6	23888	2,541
5	0,3276	32	10	0,0003	0,48	15147	49697	0,0484	168,4	1871	0,199
6	1,4773	76	10	0,0015	0,35	35973	86686	0,0390	30,8	348	0,037
7	0,1162	32	5	0,0001	0,17	15147	17631	0,0484	21,2	132	0,014
8	1,5936	100	10	0,0017	0,22	47333	70241	0,0364	8,3	94	0,010
Ответвления от центральной магистрали (3) подающего трубопровода											
9	2,5081	76	5	0,0026	0,60	35973	147170	0,0390	88,8	677	0,072
Ответвления от центральной магистрали (4) подающего трубопровода											
11	2,9494	76	15	0,0031	0,71	35973	173127	0,0390	122,9	1993	0,212
12	1,4051	76	5	0,0015	0,34	35973	82523	0,0390	27,9	169	0,018

№ участка	G, кг/с	d, мм	L, м	V, м <sup>3</sup> /с	ω, м/с	Reпр	Re	λ	Rл, Па/м	ΔP, Па	ΔH, м.в.ст.
13	4,3546	100	20	0,0045	0,59	47333	191389	0,0364	61,6	1326	0,141
14	1,0062	76	10	0,0011	0,24	35973	59015	0,0390	14,3	160	0,017
15	5,3614	150	53	0,0056	0,32	71000	154658	0,0329	10,8	602	0,064
Ответвления от центральной магистрали (5) подающего трубопровода											
17	0,2309	32	15	0,0002	0,34	15147	34953	0,0484	83,3	1429	0,152
18	0,6721	76	5	0,0007	0,16	35973	39425	0,0390	6,4	38	0,004
Ответвления от центральной магистрали (6) подающего трубопровода											
22	0,0909	25	15	0,0001	0,23	11833	18366	0,0515	51,3	2623	0,279
23	0,3802	32	10	0,0004	0,56	15147	57636	0,0484	226,5	2510	0,267
24	2,4777	50	5	0,0026	1,42	23667	228121	0,0433	831,9	5528	0,588
25	2,9487	50	25	0,0031	1,69	23667	271457	0,0433	1178,0	31145	3,313
26	0,4682	32	10	0,0005	0,69	15147	70936	0,0484	343,1	3798	0,404
27	0,6524	32	5	0,0007	0,96	15147	98878	0,0484	666,6	3789	0,403
28	4,0693	50	35	0,0042	2,33	23667	374724	0,0433	2244,7	86507	9,202
Ответвления от центральной магистрали (7) подающего трубопровода											
29	3,6484	50	5	0,0038	1,86	23667	299650	0,0433	1435,4	38675	4,114
Ответвления от центральной магистрали (1) обратного трубопровода											
1	1,4308	76	48	0,0015	0,34	35973	83992	0,0390	28,9	1542	0,164
2	6,9908	100	5	0,0073	0,95	47333	307383	0,0364	158,8	1354	0,144
3	8,4219	100	53	0,0088	1,15	47333	370535	0,0364	230,7	13114	1,395
Ответвления от центральной магистрали (2) обратного трубопровода											
4	1,1497	32	10	0,0012	1,69	15147	174351	0,0484	2072,6	23888	2,541
5	0,3276	32	10	0,0003	0,48	15147	49697	0,0484	168,4	1871	0,199
6	1,4773	76	10	0,0015	0,35	35973	86686	0,0390	30,8	348	0,037
7	0,1162	32	5	0,0001	0,17	15147	17631	0,0484	21,2	132	0,014
8	1,5936	100	10	0,0017	0,22	47333	70241	0,0364	8,3	94	0,010
Ответвления от центральной магистрали (3) обратного трубопровода											
9	2,5081	76	5	0,0026	0,60	35973	147170	0,0390	88,8	677	0,072

№ участка	G, кг/с	d, мм	L, м	V, м <sup>3</sup> /с	ω, м/с	Reпр	Re	λ	Rл, Па/м	ΔP, Па	ΔH, м.в.ст.
Ответвления от центральной магистрали (4) обратного трубопровода											
11	2,9494	76	15	0,0031	0,71	35973	173127	0,0390	122,9	1993	0,212
12	1,4051	76	5	0,0015	0,34	35973	82523	0,0390	27,9	169	0,018
13	4,3546	100	20	0,0045	0,59	47333	191389	0,0364	61,6	1326	0,141
14	1,0062	76	10	0,0011	0,24	35973	59015	0,0390	14,3	160	0,017
15	5,3614	150	53	0,0056	0,32	71000	154658	0,0329	10,8	602	0,064
Ответвления от центральной магистрали (5) обратного трубопровода											
17	0,2309	32	15	0,0002	0,34	15147	34953	0,0484	83,3	1429	0,152
18	0,6721	76	5	0,0007	0,16	35973	39425	0,0390	6,4	38	0,004
Ответвления от центральной магистрали (6) обратного трубопровода											
22	0,0909	25	15	0,0001	0,23	11833	18366	0,0515	51,3	2623	0,279
23	0,3802	32	10	0,0004	0,56	15147	57636	0,0484	226,5	2510	0,267
24	2,4777	50	5	0,0026	1,42	23667	228121	0,0433	831,9	5528	0,588
25	2,9487	50	25	0,0031	1,69	23667	271457	0,0433	1178,0	31145	3,313
26	0,4682	32	10	0,0005	0,69	15147	70936	0,0484	343,1	3798	0,404
27	0,6524	32	5	0,0007	0,96	15147	98878	0,0484	666,6	3789	0,403
28	4,0693	50	35	0,0042	2,33	23667	374724	0,0433	2244,7	86507	9,202
Ответвления от центральной магистрали (7) обратного трубопровода											
29	3,6484	50	5	0,0038	1,86	23667	299650	0,0433	1435,4	38675	4,114

### 5.3 Построение пьезометрического графика

Пьезометрический график дает наглядное представление о давлении или напоре в любой точке тепловой сети.

Пьезометрический график строится по всей длине тепловой сети, т.е. тепловую сеть вытягиваем в одну линию (главную магистраль и ответвления). Если ИТП подключен напрямую, то мысленно осуществляем поворот трассы ответвления на  $90^\circ$  и строим пьезометры на графике.

Построение пьезометрического графика производится на основании данных гидравлического расчета (см. табл. 5.2) в следующей последовательности:

1) Вычерчивается профиль местности по геодезическим отметкам на генплане и наносятся отметки высот характерных зданий на профиль в принятом масштабе (1 этаж – 3 м).

2) Проводится линия статического напора ( $H_{ст}$ ), обеспечивающего заполнение системы водой на 5 м выше самого высокого абонента здания №1 для главной магистрали 1 и 2, №10 для главной магистрали 3.

3) Устанавливаем предельное положение пьезометрического графика обратного трубопровода в динамическом режиме, исходя из того, что:

– максимальный пьезометрический напор не должен превышать 60 м в радиаторах нижних этажей зданий;

– для защиты системы отопления от опорожнения пьезометрическая линия должна быть не менее чем на 3 м выше самого высокого абонента установленного в предыдущем абзаце.

4) проводим линию падения давления по напору, обратную линии тепловой сети от точки врезки до конечного абонента, где действительный уклон пьезометрической линии обратного трубопровода определяется по данным гидравлического расчета. Падение давления в главной магистрали тепловой сети равномерное, поэтому получаем прямую. В действительности на ответвлениях от главной магистрали наблюдается некоторое

незначительное падение давления на преодоление дополнительного сопротивления (поворот), но мы его учитываем в гидравлическом расчете главной магистрали.

5) строится линия потерь напора у конечного абонента.

6) строится пьезометр для подающего трубопровода (зеркальное отображение обратного)

Результаты построения пьезометрических графиков представлены на рисунках 5.1 и 5.2.

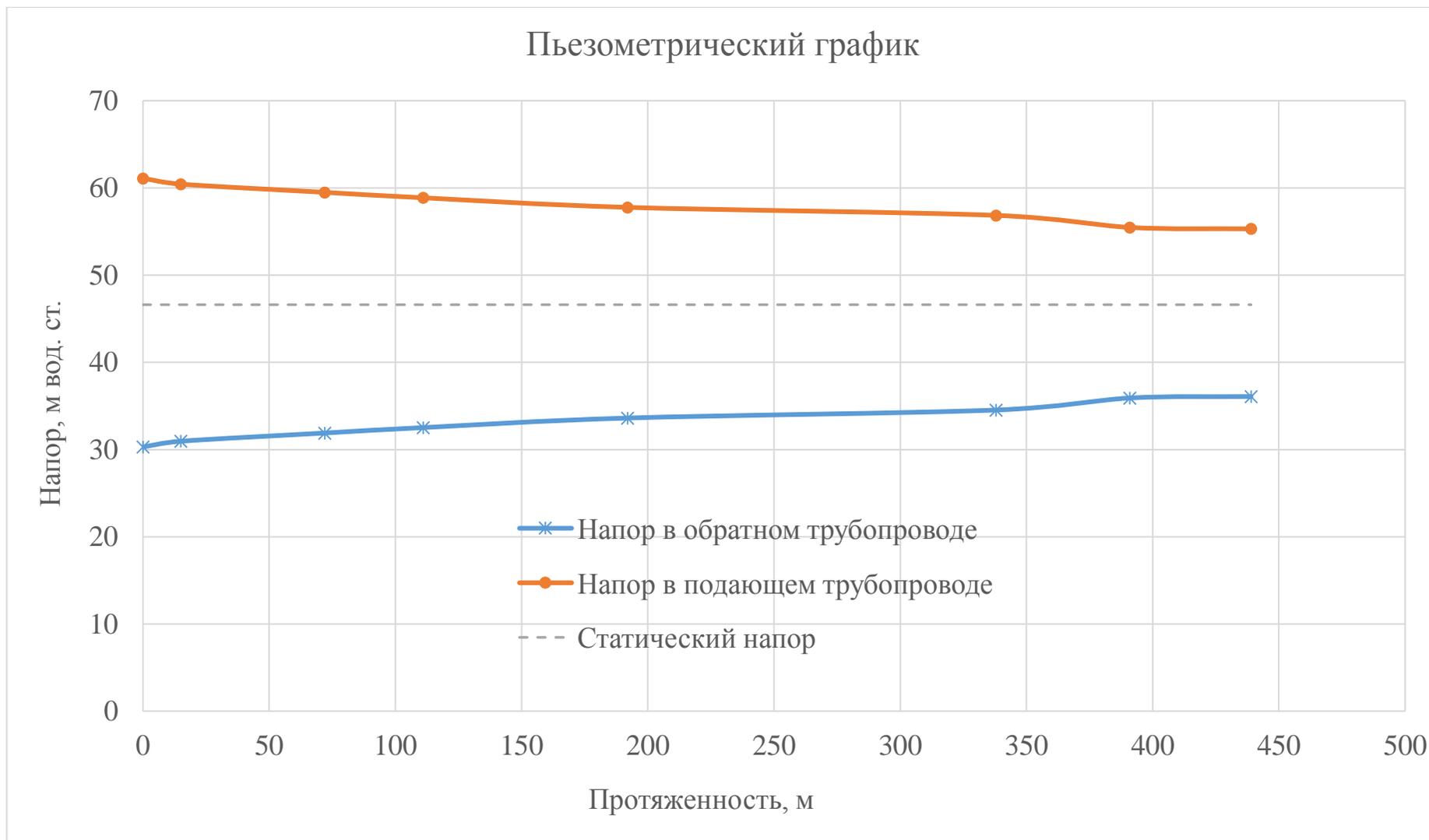


Рисунок 5.1 – Пьезометрический график от котельной до абонента «Больница (2-эт. корпус)»

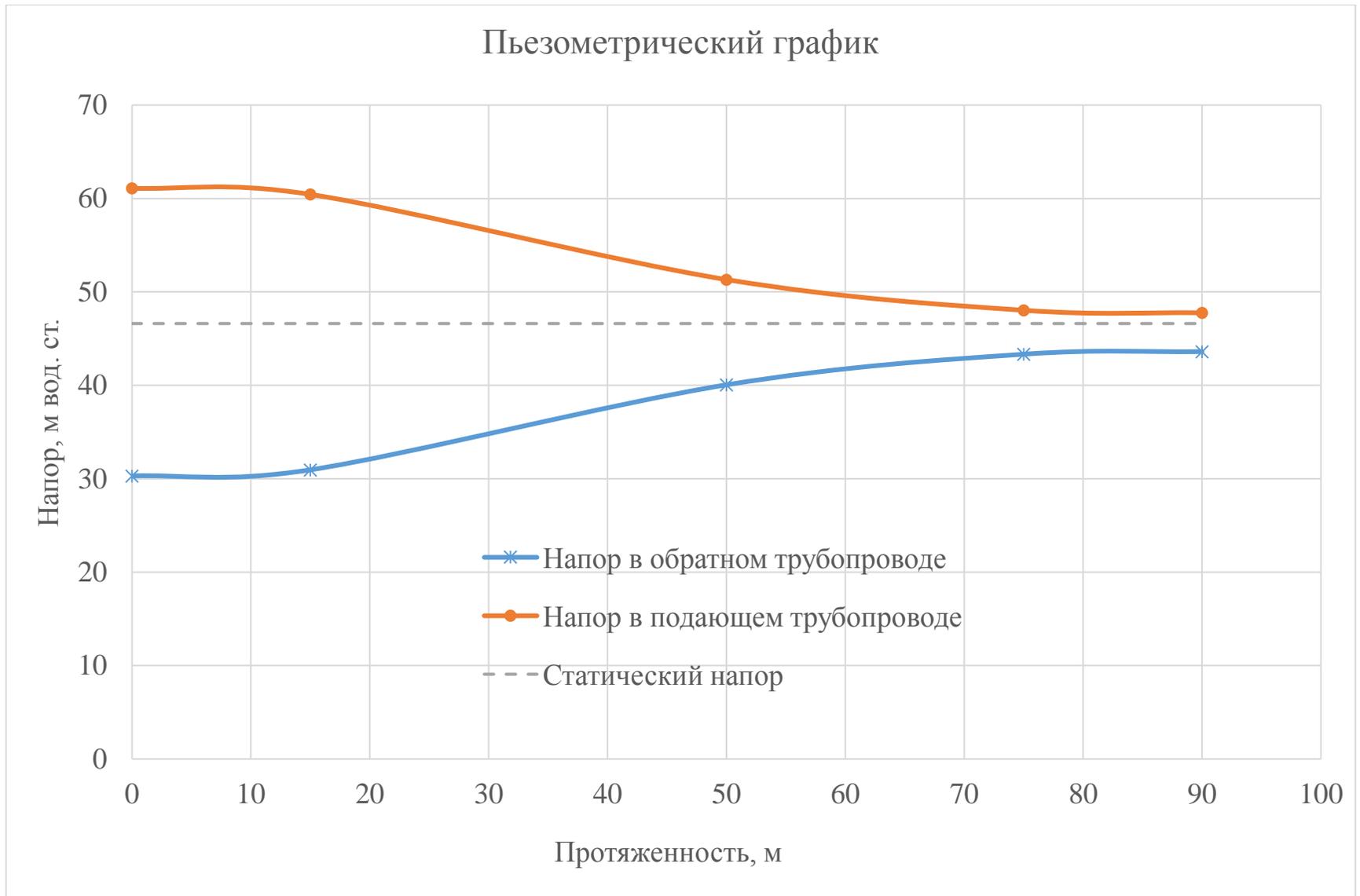


Рисунок 5.2 – Пьезометрический график от котельной до абонента «Хлораторная АЦБР»

## 5.4 Подбор сетевых и подпиточных насосов

Напор сетевого насоса определялся для отопительного периода, и принимался равным сумме потерь давления в подающем и обратном трубопроводах от источника до наиболее удаленного потребителя здания главного корпуса «АЦРБ» в системе потребителя при суммарных расчетных расходах воды.

Производительность рабочих сетевых насосов принималась по суммарному расчетному расходу воды на головном участке тепловой сети для отопительного периода (табл. 5.1): для центральной магистрали расход на общем участке №30: 100,1 т/ч. Напор сетевых насосов определялся во величине напора в центральной магистрали, равного 47 м.

Подбор насосов выполнен по каталогу насосов компании Grundfos [23]. По приведенным выше данным выбран насос типа Grundfos TP 80-700 с параметрами:

- номинальный расход – 132 м<sup>3</sup>/ч;
- номинальный напор – 59,7 м.

Напор подпиточного насоса определялся из условия поддержания в тепловых сетях статического давления равного 46,61 м.в.ст. и проверялся для условий работы сетевых насосов в отопительный период.

Производительность подпиточного насоса в системах теплоснабжения определяется исходя из величины утечек из сети. Значение последней в соответствии с [24] среднегодовая утечка теплоносителя (м<sup>3</sup>/ч) из водяных тепловых сетей не должна превышать величины, определяемой как 0,25% от среднегодового объема воды в тепловой сети и присоединенных системах теплоснабжения. Для компенсации расчетных технологических затрат (потерь) теплоносителя определяется соответствующая производительность насосного оборудования, которая также зависит от интенсивности заполнения тепловой сети. Для исключения гидравлических ударов в сети и лучшего обеспечения удаления воздуха из теплосети максимальный часовой

расход теплоносителя при заполнении сети не должен превышать значений, указанных в [24]. Для трубопроводов условным диаметром 150 мм значение предельного часового расхода воды при заполнении трубопроводов составляет 15 м<sup>3</sup>/ч.

Таким образом значение максимального часового расхода подпиточной воды определяется по формуле:

$$G_n = 0,0025 \cdot V_T + G_M = 0,0025 \cdot 173,85 + 15 = 15,43 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Так как данные о фактических объемах воды в тепловой сети отсутствуют, величина объема принята равной 70 м<sup>3</sup> на 1 МВт расчетной тепловой нагрузки. Максимальная тепловая нагрузка составляет 2,4835 Гкал/ч (2,888 МВт), тогда среднегодовой объем воды равен 173,85 м<sup>3</sup>.

Для указанных данных выбран насос типа Grundfos TP 40-630 с параметрами:

- номинальный расход – 44,6 м<sup>3</sup>/ч;
- номинальный напор – 49,9 м.

## 6 Расчет и выбор основного оборудования индивидуальных тепловых пунктов

Индивидуальный тепловой пункт (ИТП) устанавливается в зданиях (на абонентских вводах) для присоединения систем отопления, ГВС, вентиляции и кондиционирования потребителей к тепловым сетям. Компоновка ИТП выполняется индивидуально для каждого абонента, с учетом размеров помещения теплового пункта. В тепловом пункте размещается основное и вспомогательное оборудования, технические средства контроля и автоматизации (при наличии) а также необходимая арматура, посредством которых осуществляют:

- преобразование вида теплоносителя или его параметров;
- контроль параметров теплоносителя;
- учет тепловых потоков, расходов теплоносителя;
- регулирование расхода теплоносителя и распределение его по системам потребления теплоты;
- защиту местных систем от аварийного повышения параметров теплоносителя;
- заполнение и подпитку систем теплоснабжения;
- аккумуляцию теплоты;
- водоподготовку для систем горячего водоснабжения.

Перечисленные функции в зависимости от назначения тепловых пунктов и местных условий могут быть реализованы полностью или частично.

Перечень оборудования, устанавливаемого в индивидуальном тепловом пункте абонента, зависит от схем подключения систем отопления и ГВС, параметров теплоносителя, режимов потребления тепла и других факторов.

Теплоснабжение абонентов (зданий больницы) планируется осуществлять по зависимой схеме с присоединением подогревателей ГВС по

двухступенчатой последовательной схеме (см. пункт 3). В соответствии с выше перечисленным, руководствуясь [25] выбрана типовая принципиальная схема ИТП для зданий Асиновской центральной районной больницы.

К основному оборудованию индивидуальных тепловых пунктов для случаев использования указанной схемы относят водоводяные подогреватели, циркуляционные, смесительные и подпиточные насосы. Так как внутренние системы отопления зданий присоединяются к наружным тепловым сетям по зависимой схеме в настоящем разделе приводится обоснование выбора теплообменного оборудования системы ГВС, а также циркуляционных насосов.

### 6.1 Расчет водоводяных теплообменников системы ГВС

Расчет выполнен на примере четырехэтажного здания больницы. Согласно данным п. 3 регулирование отпуска тепловой энергии для всех абонентов системы теплоснабжения центральное качественной по совмещенной нагрузке на нужды отопления и горячего водоснабжения.

Температура теплоносителя (греющей воды) в тепловой сети в соответствии с принятым для данной системы теплоснабжения графиком изменения температуры воды в зависимости от температуры наружного воздуха принята:

– при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления  $t_0 = -41$  °С:

– в подающем трубопроводе  $\tau_1 = 96,4$  °С;

– в обратном трубопроводе  $\tau_2 = 61,9$  °С;

– в точке излома графика температуры  $t'_H = -18$  °С:

– в подающем трубопроводе  $\tau'_1 = 73,5$  °С;

– в обратном трубопроводе  $\tau'_2 = 47$  °С.

Температура холодной водопроводной (нагреваемой) воды, поступающей в водоподогреватель I ступени, в отопительный период составляет  $t_c = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  (по данным эксплуатации тепловых сетей г. Асино).

Температура воды, поступающей в систему горячего водоснабжения на выходе из II ступени водоподогревателя,  $t_h = 65 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. п. 1.3).

Расчетная тепловая производительность водоподогревателей здания в соответствии с таблицей 1.5 должна составлять  $Q_h^{SP} = Q_{звс}^{\max} = 0,0962 \text{ Гкал/ч}$  (111,88 кВт).

Максимальный расчетный секундный расход воды на горячее водоснабжение  $g_h = 0,554 \text{ кг/с} = 1995,08 \text{ кг/ч}$ .

Проверяем соотношение ходов в теплообменнике I ступени, принимая  $\Delta P_H = 100 \text{ кПа}$  и  $\Delta P_{ГР} = 40 \text{ кПа}$ :

$$\frac{X_1}{X_2} = \left( \frac{G_{h\max}}{G_d} \right)^{0,636} \cdot \left( \frac{\Delta P_{cp}}{\Delta P_H} \right)^{0,364} \cdot \frac{1000 - t_{cp}^H}{1000 - t_{cp}^{cp}}$$

$$\frac{X_1}{X_2} = \left( \frac{1,994 \cdot 10^3}{16,726 \cdot 10^3} \right)^{0,636} \cdot \left( \frac{40}{100} \right)^{0,364} \cdot \left( \frac{1000 - 19,5}{1000 - 36} \right) = 0,19,$$

где  $G_d$  – расчетный расход воды из тепловой сети на тепловой пункт;  $G_{h\max}$  – максимальный расход воды в системе горячего водоснабжения, кг/ч (см. табл. 5.1);  $t_{cp}^H$  – средняя температура нагреваемой среды на входе и выходе из теплообменника,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{cp}^{cp}$  – средняя температура греющей среды на входе и выходе из теплообменника,  $^\circ\text{C}$  (принимается по данным п. 3). Так как соотношение ходов не превышает 2, значение скорости течения среды  $W_{\text{опт}}$  соответствует оптимальному (не менее 0,4 м/ч). Поэтому допускается симметричная компоновка теплообменника.

По оптимальной скорости нагреваемой воды определяется требуемое число каналов по формуле:

$$m_H = \frac{G_{h\max}}{W_{\text{опт}} \cdot f_k \cdot \rho \cdot 3600} = \frac{1,994 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 0,00245 \cdot 958,3 \cdot 3600} = 0,58,$$

где  $f_k$  – живое сечение одного межпластинчатого канала, принимаем 0,00245;  
 $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Общее живое сечение каналов в пакете определяем по формуле:

$$f_{cp} = f_n = m_n f_k$$

$$f_{cp} = f_n = 1 \cdot 0,00245 = 2,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

где  $m_n$  принимаем равным 1.

Фактические скорости греющей и нагреваемой среды находим по формулам:

$$W_{cp} = \frac{G_d}{3600 \cdot f_{cp} \cdot \rho} = \frac{16,73 \cdot 10^3}{3600 \cdot 2,45 \cdot 10^{-3} \cdot 980,7} = 1,93 \text{ м/с.}$$

$$W_n = \frac{G_{h \max}}{3600 \cdot f_n \cdot \rho} = \frac{1,99 \cdot 10^3}{3600 \cdot 2,45 \cdot 10^{-3} \cdot 980,7} = 0,23 \text{ м/с.}$$

Расчет водоподогревателя I ступени.

Коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке пластины:

$$\alpha_1 = 1,16 A \left[ 23000 + 283 t_{cp}^{cp} - 0,63 (t_{cp}^{cp})^2 \right] W_{cp}^{0,73}$$

где  $t_{cp}^{cp} = \frac{t_{ex}^{cp} + t_{вых}^{cp}}{2} = \frac{73,5 + 67}{2} = 70,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ , принимая из [26]  $A = 0,492$ .

$$\alpha_1 = 1,16 \cdot 0,492 \left( 23000 + 283 \cdot 70,3 - 0,63 \cdot 70,3^2 \right) \cdot 1,93^{0,73} = 36732,6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Коэффициент тепловосприятия от стенки пластины к нагреваемой воде:

$$\alpha_2 = 1,16 A \left[ 23000 + 283 t_{cp}^n - 0,63 (t_{cp}^n)^2 \right] W_n^{0,73}$$

$$t_{cp}^n = \frac{t_{ex}^n + t_{вых}^n}{2} = \frac{43 + 5}{2} = 24 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot 0,492 \left( 23000 + 283 \cdot 24 - 0,63 \cdot 24^2 \right) \cdot 0,23^{0,73} = 5755,1 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}.$$

Коэффициент теплопередачи:

$$k = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий уменьшение коэффициента теплопередачи вследствие термического сопротивления накипи и загрязнений на пластине, в зависимости от качества воды принимается равным 0,7–0,85;  $\delta_{ст}=0,001$  м – толщина стенки;  $\lambda_{ст}=16$  Вт/(м·К) – коэффициент теплопроводности металла труб.

$$k'' = \frac{0,8}{\frac{1}{36732,6} + \frac{0,001}{16} + \frac{1}{5755,1}} = 3036,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Требуемая поверхность нагрева водоподогревателя I ступени:

$$F = \frac{Q_h^{SP}}{k \Delta t_{cp}}$$

где  $\Delta t_{cp}$  – среднелогарифмическая разность температур между греющей и нагреваемой водой (температурный напор) °С.

$$F_{mp} = \frac{111,88 \cdot 10^3}{3036,2 \cdot 44,5} = 0,83 \text{ м}^2.$$

Количество ходов (или пакетов при разделении на одноходовые теплообменники):

$$X = \frac{F_{mp} + f_{nl}}{2 \cdot m \cdot f_{nl}} = \frac{0,93 + 0,6}{2 \cdot 1 \cdot 0,6} = 1,28.$$

Принимаем два хода.

Действительная поверхность нагрева водоподогревателя I ступени:

$$F = (2mX - 1) f_{nl} = (2 \cdot 1 \cdot 2 - 1) 0,6 = 2,4 \text{ м}^2.$$

Потери давления I ступени водоподогревателя по греющей воде:

$$\Delta P_{cp}^I = \phi B (33 - 0,08 t_{cp}^{cp}) W_{cp}^{1,75} X = 1 \cdot 3 (33 - 0,08 \cdot 64,3) 1,93^{1,75} \cdot 2 = 520,9 \text{ кПа};$$

$$\Delta P_n^I = \phi B (33 - 0,08 t_n^{cp}) W_n^{1,75} X = 1 \cdot 3 (33 - 0,08 \cdot 64) 0,23^{1,75} \cdot 2 = 21,5 \text{ кПа}.$$

где  $\phi$  – коэффициент, учитывающий накипеобразование, который для греющей сетевой воды равен единице, а для нагреваемой воды должен приниматься по опытным данным, при отсутствии таких данных можно

принимать  $\varphi=1,5-2$ ;  $B$  – коэффициент, зависящий от типа пластины, принимается техническим характеристикам теплообменного оборудования.

Расчет водоподогревателя II ступени.

Коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке пластины:

$$\alpha_1 = 1,16A \left[ 23000 + 283t_{cp}^{gp} - 0,63(t_{cp}^{gp})^2 \right] W_{gp}^{0,73}$$

$$\alpha_1 = 1,16 \cdot 0,492 \left( 23000 + 283 \cdot 57 - 0,63 \cdot 57^2 \right) \cdot 1,93^{0,73} = 34250,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Коэффициент тепловосприятости от пластины к нагреваемой воде:

$$\alpha_2 = 1,16A \left[ 23000 + 283t_{cp}^n - 0,63(t_{cp}^n)^2 \right] W_n^{0,73}$$

$$\alpha_2 = 1,16 \cdot 0,492 \left( 23000 + 283 \cdot 51,5 - 0,63 \cdot 51,5^2 \right) \cdot 0,23^{0,73} = 7021,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Коэффициент теплопередачи:

$$k^{II} = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}}} = \frac{0,8}{\frac{1}{34250,5} + \frac{0,001}{16} + \frac{1}{7021,2}} = 3417,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Требуемая поверхность нагрева водоподогревателя II ступени:

$$F = \frac{Q_h^{SP}}{k \Delta t_{cp}} = \frac{111,88 \cdot 10^3}{3417 \cdot 6,2} = 5,3 \text{ м}^2.$$

Количество ходов (или пакетов при разделении на одноходовые теплообменники):

$$X = \frac{F_{mp} + f_{nl}}{2mf_{nl}} = \frac{5,3 + 0,6}{2 \cdot 1 \cdot 0,6} = 4,1.$$

Принимаем 4 хода.

Действительная поверхность нагрева водоподогревателя II ступени:

$$F^{II} = (2mX - 1) f_{nl} = (2 \cdot 4 \cdot 2 - 1) 0,6 = 5,7 \text{ м}^2.$$

Потери давления II ступени водоподогревателя по греющей воде:

$$\Delta P_{gp} = \phi B (33 - 0,08 t_{cp}^{gp}) W_{gp}^{1,75} X;$$

$$\Delta P_n^{II} = 1 \cdot 3 (33 - 0,08 \cdot 57) 1,93^{1,75} \cdot 4 = 1082,1 \text{ кПа}.$$

Потери давления обеих ступеней водоподогревателя по нагреваемой воде, принимая  $\phi = 1,5$ , при прохождении максимального секундного расхода воды на горячее водоснабжение:

$$\Delta P_n = \phi B (33 - 0,08 t_{cp}^n) W_{H.C.X}^{1,75};$$

$$\Delta P_n^{I+II} = 1,5 \cdot 3 (33 - 0,08 \cdot 51,5) \cdot 0,23^{1,75} \cdot 4 = 39,9 \text{ кПа.}$$

В результате расчета в качестве водоподогревателя горячего водоснабжения принимаем два теплообменника (I и II ступени) разборной конструкции (P) с пластинами типа 0,6p, толщиной 0,8 мм, из стали 12X18H10T (исполнение 01), на двухпорной раме (исполнение 2K), с уплотнительными прокладками из резины марки 359 (условное обозначение – 10). Поверхность нагрева I ступени – 2,4 м<sup>2</sup>, II ступени – 5,7 м<sup>2</sup> [27].

Аналогичный расчет теплообменников для системы ГВС проведен для всех зданий, результаты расчета сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты расчета теплообменников для системы ГВС

Наименование	Треб. S I-ст, м2	Марка теплообменника I ступени	Треб. S II-ст, м2	Марка теплообменника II ступени
Больница (4-эт. корпус)	2,4	Alfa Laval AQ1	5,7	Alfa Laval AQ1
Больница (2-эт. корпус)	1,2	Alfa Laval AQ1	2,6	Alfa Laval AQ1
Поликлиника	0,56	Alfa Laval AQ1A	4,6	Alfa Laval AQ2A-B
Поликлиника, пристройка	1,2	Alfa Laval AQ1	2,4	Alfa Laval AQ1
Пищеблок	1,2	Alfa Laval AQ1	5,7	Alfa Laval AQ2A-B
Инфекционное отделение	1,2	Alfa Laval AQ1	4,5	Alfa Laval AQ2A-B
Хозяйственный корпус	1,2	Alfa Laval AQ1	4,6	Alfa Laval AQ2A-B
Морг	1,2	Alfa Laval AQ1	2,8	Alfa Laval AQ1
Гараж	1,2	Alfa Laval AQ1	2,4	Alfa Laval AQ1
Гараж – склад	1,2	Alfa Laval AQ1	2,5	Alfa Laval AQ1
Столярка	1,2	Alfa Laval AQ1	1,5	Alfa Laval AQ1
Административный корпус	1,2	Alfa Laval AQ1	5,1	Alfa Laval AQ2A-B
Детская поликлиника	1,2	Alfa Laval AQ1	3,1	Alfa Laval AQ1
Родильный дом	1,2	Alfa Laval AQ1	5	Alfa Laval AQ2A-B
Патолого-анатомическая	1,2	Alfa Laval AQ1	2,6	Alfa Laval AQ1
Межмуниципальный медицинский центр	1,2	Alfa Laval AQ1	2,7	Alfa Laval AQ1

## 6.2 Расчет и выбор насосного оборудования

### 6.2.1 Смесительный насос

Методика расчета смесительного насоса аналогична расчету, представленному в разделе 5.4. Подобранные смесительные насосы представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Сводная таблица смесительных насосов

Наименование	Максимальный объемный расход воды на подмес, м <sup>3</sup> /ч	Марка насоса
Больница (4-эт. корпус)	1,04	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Больница (2-эт. корпус)	0,24	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Поликлиника	0,42	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Поликлиника, пристройка	0,04	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Поликлиника, переход	0,12	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Пищеблок	0,08	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Инфекционное отделение	0,34	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Хозяйственный корпус (прачечная)	0,3	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Морг	0,06	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Гараж	0,17	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Гараж – склад	0,24	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Хлораторная ЦРБ	0	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Столярка	0,04	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Административный корпус	0,15	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Детская поликлиника	0,45	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Родильный дом	0,46	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Паталого-анатомическая	0,43	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE
Межмуниципальный медицинский центр	0,38	TP 32-150/2 A-F-A-BQQE

### 6.2.2 Циркуляционный насос системы горячего водоснабжения

Методика расчета циркуляционного насоса системы горячего водоснабжения аналогична расчету, представленному в разделе 5.4. Выбранные циркуляционные насосы на линию ГВС сведем в табл. 6.3.

Таблица 6.3 – Сводная таблица циркуляционных насосов системы горячего водоснабжения

<b>Наименование</b>	<b>Расход воды на ГВС, т/ч</b>	<b>Марка насоса</b>
Больница (4-эт. корпус)	2,00	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Больница (2-эт. корпус)	0,07	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Поликлиника	0,75	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Поликлиника, пристройка	0,05	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Пищеблок	1,32	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Инфекционное отделение	0,53	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Хозяйственный корпус (прачечная)	0,77	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Морг	0,12	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Гараж	0,05	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Гараж – склад	0,09	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Столярка	0,02	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Административный корпус	0,84	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Детская поликлиника	0,34	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Родильный дом	1,07	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Патолого-анатомическая	0,08	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE
Межмуниципальный медицинский центр	0,14	TP 32-60/4 A-F-A-BQQE

## 7 Выбор и расчет оборудования тепловых сетей

Тепловая сеть – это система прочно и плотно соединенных между собой участков теплопроводов, по которым теплота с помощью теплоносителя транспортируется от источников к тепловым потребителям.

Направление теплопроводов (трасс) выбирается по тепловой карте района с учетом материалов геодезической съемки, плана существующих и намечаемых надземных и подземных сооружений, данные характеристике грунтов, высоте стояния грунтовых вод, и другое. Следует стремиться к прокладке магистральной трассы в районе наиболее плотной тепловой нагрузки, к наименьшей длине теплопроводов и минимальному объему работ по сооружению сети [22].

При выборе трассы теплопровода следует руководствоваться в первую очередь условиями надежности теплоснабжения, безопасности работы обслуживающего персонала и населения, возможностью быстрой ликвидации неполадок и аварий.

Согласно СНиП 41-02-2003 “Тепловые сети” [28] заглубление тепловых сетей от поверхности земли или дорожного покрытия должно быть до верха перекрытия каналов не менее 0,5 м, до верха перекрытия камер 0,3 м.

По трассе тепловых сетей строится продольный профиль, на который наносится планировочные (красные) и существующие (черные) отметки земли, уровень стояния грунтовых вод, существующие и проектируемые подземные коммуникации, и другие сооружения, пересекаемые теплопроводом, с указанием вертикальных отметок этих сооружений.

Тип прокладки теплопровода выбран подземный см. пункт 5.

Все конструкции подземных теплопроводов можно разделить на две группы: канальные и бесканальные.

В канальных теплопроводах изоляционная конструкция разгружена от внешних нагрузок грунта стенками канала. В бесканальных теплопроводах

изоляционная конструкция испытывает нагрузку грунта. В данном проекте выбираем канальную прокладку тепловой сети.

Каналы сооружаются проходными или непроходными.

Применим непроходные каналы. Они (каналы) выполняются из сборных железобетонных конструкций. Конструкция непроходного канала прямоугольного сечения типа КЛ, состоит из двух основных элементов: железобетонного лотка и плита.

Стыковые соединения элементов заполняют цементным раствором или мостиками. Выполняется гидроизоляция перекрытия. Конструкция канала затрудняет производство монтажно-сварочных работ и не обеспечивает требуемую герметичность.

При подземной прокладке по трассе тепловых сетей требуется установка ряда элементов конструкций: тепловые камеры (ТК), неподвижные опоры, компенсаторные линии.

В тепловых камерах размещаются задвижки, спускные и воздушные краны, неподвижные опоры. Камеры выполняются из железобетонных стеновых блоков. Камеры также применяются для размещения узлов трубопроводов, в которых устанавливают задвижки и устроенные ответвления.

Устройство и габаритные размеры камер должны обеспечивать удобство и безопасность обслуживания. Высота камеры в свету выбирается не менее 1,8 - 2 м. В днище камеры должны быть устроены приемки для сбора и спуска или откачки дренажных вод. Должна быть предусмотрена надежная гидроизоляционная защита камер от грунтовых вод. На листе ФЮРА.140104.056 ГЧ6 изображена тепловая камера узла №УТ-8.

## 7.1 Выбор опор

Опоры являются ответственными деталями теплопровода. Они воспринимают усилия от трубопроводов и передают их на несущие конструкции или грунт. При сооружении теплопроводов применяют опоры двух типов: подвижные и неподвижные.

При канальной и подвальной прокладке трубопроводов, а также в местах углов поворотов и размещения П – образных компенсаторов устанавливаются подвижные опоры. Для канальной прокладки трубопроводов применяют два вида подвижных опор: скользящие и катковые.

Скользящие опоры применяют при прокладке труб в непроходных каналах для труб условным проходом до Ду 1200 мм включительно. Пролеты между подвижными опорами трубопроводов определяют расчетом на прочность. Рекомендуемые пролеты между подвижными опорами для труб по «Сортаменту труб тепловых сетей» при подземной прокладке для усредненных условий расчета теплопровода на прямых участках приведены в литературе [22], для прочих участков к этим пролетам вводится коэффициент:

- для участков между ближайшими к повороту опорами (до и после поворота) – 0,67;

- для участков между последней и предпоследней опорами конечной точки теплопровода (перед заглушкой, гибким компенсатором или поворотом) – 0,82;

При многотрубной прокладке трубопроводов в непроходных каналах опоры размещают вразбежку. При надземной прокладке трубопроводов и в тоннелях принимают одно расстояние между подвижными опорами, поскольку все они опираются на каркасы, траверсы или балки. При большой разнице в пролетах для маленьких труб могут быть установлены

дополнительные опоры, а большие трубы могут опираться через одну или несколько траверс.

Нагрузки на подвижные опоры трубопроводов подразделяются на вертикальные и горизонтальные и зависят от веса участка трубопровода, приходящегося на опору, и типа опоры. [22]

Вертикальную нагрузку определяют по формуле:

$$H_g = q \cdot l, \text{ кгс,}$$

где  $q$  – вес 1 метра трубопровода: вес трубы, изоляционной конструкции и воды в кгс;  $l$  – пролет между опорами, м.

Горизонтальные нагрузки возникают за счет реакции трения опоры при ее перемещении под влиянием теплового удлинения трубопроводов и определяются по формуле:

$$H_z = f \cdot q \cdot l, \text{ кгс,}$$

где  $f$  – коэффициент трения подвижных опор, принимаемый по типу опоры: - скользящие –  $f=0,3$ ;  $q$  – вес 1 метра трубопровода в рабочем состоянии: вес трубы, изоляционной конструкции и воды для водяных тепловых сетей, кгс.

При размещении подвижной опоры в узле трубопроводов дополнительно учитывают вес арматуры, а также вес прилегающих участков ответвлений, приходящихся на данную опору. Вес ответвлений определяют по формуле для расчета вертикальной нагрузки, но с коэффициентом 0,5, учитывающим распределение веса между двумя опорами.

Для уменьшения вертикальной нагрузки на подвижную опору, сокращают пролет  $l$  между рассматриваемой и ближайшими к ней опорами на магистрали и ответвлениях.

Неподвижные опоры фиксируют положение трубопровода в определенных точках и воспринимают усилия, возникающие в местах фиксации под действием температурных деформаций и внутреннего давления.

Места установки неподвижных опор совмещаем с узлами ответвления труб и местами установки на трубопроводах запорной арматуры.

Рекомендуемые расстояния между неподвижными опорами представлены в литературе [22].

В зависимости от способа прокладки и места установки применяют неподвижные опоры с вертикальными двухсторонними упорами, лобовые, щитовые и хомутовые. Хомутовые опоры, как правило, применяют при надземной прокладке трубопроводов. Опоры с вертикальными двухсторонними упорами и лобовые применяют при установке их на каркасах в тоннелях и при прокладке трубопроводов в непроходных каналах. Щитовые опоры применяют при подземной прокладке в каналах и бесканально.

Выбор неподвижных опор производят по наибольшей горизонтальной осевой нагрузке, на которую рассчитана данная опора.

Нагрузки на неподвижные опоры трубопроводов подразделяют на вертикальные и горизонтальные.

Вертикальные нагрузки определяют по формуле:

$$H_g = q \cdot l, \text{ кгс,}$$

где  $q$  – вес 1 метра трубопровода: вес трубы, изоляционной конструкции и воды в кгс;  $l$  – пролет между опорами, м.

Если неподвижная опора размещается в узле трубопроводов, учет дополнительных нагрузок от арматуры, сальниковых компенсаторов и прочее производится по аналогии с подвижными опорами.

Горизонтальные нагрузки на неподвижные опоры трубопроводов возникают под влиянием следующих сил:

- трения в подвижных опорах при тепловом удлинении трубопровода, прокладываемого в непроходных и полупроходных каналах, тоннелях и надземно;

- упругой деформации гибких компенсаторов или самокомпенсации при их растяжке в холодном состоянии или при тепловом удлинении теплопровода.

Горизонтальные нагрузки на неподвижные опоры подразделяются на осевые  $H_{z.o}$ , действующие по оси трубопровода, и боковые  $H_{z.б}$  - перпендикулярно оси. Осевые нагрузки передаются на все неподвижные опоры, боковые – на неподвижные опоры, размещающиеся в узлах ответвлений. Кроме того, боковые нагрузки передаются при размещении опоры непосредственно перед поворотом трубы при самокомпенсации, а также при размещении неподвижной опоры на углу поворота трубы. Для этих опор силы, действующие по оси трубопроводов, раскладывают на две составляющие – вдоль оси неподвижной опоры и перпендикулярно ей.

Неподвижные опоры подразделяют на концевые, размещающиеся перед заглушкой или поворотом, то есть в конце участка трубопровода, и промежуточные, размещающиеся между двумя смежными участками.

По суммарной нагрузке на несущие конструкции по альбомам 4,5 “Типовые конструкции тепловых сетей” выбраны следующие типы подвижных и неподвижных опор:

- опоры скользящие, Ду 159 мм, тип – Т 14 10.
- опоры скользящие, Ду 133 мм, тип – Т 13 08.
- опоры скользящие, Ду 108 мм, тип – Т 13 07.
- опоры скользящие, Ду 76 мм, тип – Т 13 05.
- опоры скользящие, Ду 50 мм, тип – Т 13 04.
- опоры скользящие, Ду 32 мм, тип – Т 13 03.

Опоры выполняются из штампованной скобы с приваренными внутренними ребрами жесткости. С целью снижения концентрации напряжений, в зоне приварки опоры к трубе, опоры для трубопроводов Ду от 32 до 159 мм выполнены с подушками.

- неподвижные щитовые опоры, Ду 159 мм, тип – Т 3 08.
- неподвижные щитовые опоры, Ду 133 мм, тип – Т 3 06.
- неподвижные щитовые опоры, Ду 108 мм, тип – Т 3 07.
- неподвижные щитовые опоры, Ду 76 мм, тип – Т 3 05.
- неподвижные щитовые опоры, Ду 50 мм, тип – Т 3 04.

- неподвижные щитовые опоры, Ду 32 мм, тип – Т 3 03.

Щитовые опоры представлены в обычном исполнении, (полукольца с ребрами) и в усиленном исполнении (с дополнительным усиливающим кольцом) – в зависимости от величины воспринимаемой осевой нагрузки.

Трубопроводы тепловых сетей и опоры для них, а также несущие строительные конструкции подвержены действию весьма значительных (по сравнению, например, со стационарными и технологическими трубопроводами) внешних сил вследствие больших пролетов между подвижными и неподвижными опорами. Этим обусловлена основная конструктивная особенность неподвижных опор тепловых сетей, заключающаяся в свободном прилегании свободных элементов к несущей конструкции (без приварки), что позволяет разгрузить эти элементы, а также несущие конструкции от действия крутящих моментов.

### 7.3 Выбор запорной арматуры

В тепловых сетях запорная арматура устанавливается для отключения трубопроводов, ответвлений и перемычки между трубопроводами, на выводах тепловых сетей от источника теплоты.

### 7.4 Выбор и расчет тепловой изоляции трубопровода

Теплоизоляционная краска TSM Ceramic наносится непосредственно на трубопровод, без нанесения антикоррозийного покрытия. Покровный слой изоляции отсутствует.

Приведем пример расчета толщины изоляции для 1 метра теплотрассы, условным диаметром  $d_1 = d_2 = 150$  мм.

При расчете условно принимаем, что толщина изоляции на обратном трубопроводе  $\delta_2$ , мм, равна  $0,6 \cdot \delta_1$ .

Среднегодовая температура сетевой воды  $\tau_1 = 51,3^\circ \text{C}$ ,  $\tau_2 = 42,4^\circ \text{C}$ .

Определяем толщину изоляции методом последовательного приближения. Для прямого трубопровода толщину изоляции примем равной  $\delta_1 = 2$  мм, для обратного, соответственно,  $\delta_2 = 0,6 \cdot \delta_1 = 1,2$  мм. Находим эквивалентный диаметр канала  $d_{эkv}$  и термическое сопротивление на поверхности канала и грунта вместе со стенками канала  $R_{кан.}$  и  $R_{зp}$  [29]:

$$d_{эkv} = \frac{4 \cdot F}{P} = \frac{4 \cdot h \cdot b}{2 \cdot (h + b)},$$

где  $h = 0,46$  м – высота непроходного канала для трубопровода 2 Ду 150 мм,  $b = 0,9$  м – ширина непроходного канала для трубопровода 2 Ду 150 мм.

$$d_{эkv} = \frac{4 \cdot F}{P} = \frac{4 \cdot 0,46 \cdot 0,9}{2 \cdot (0,46 + 0,9)} = 0,61.$$

$$R_{кан.} = \frac{1}{\pi \cdot d_{эkv} \cdot \alpha_k}, \text{ (м} \cdot \text{°C) / Вт,}$$

где  $\alpha_k$  - коэффициент теплоотдачи в канале, принимается равным  $1,29$  Вт/(м<sup>2</sup> · °C);

$$R_{кан.} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,61 \cdot 1,29} = 0,405, \text{ (м} \cdot \text{°C) / Вт,}$$

$$R_{зp} = \frac{\ln \left[ 3,5 \cdot \frac{H}{h} \cdot \left( \frac{h}{b} \right)^{0,25} \right]}{\left( 5,7 + 0,5 \cdot \frac{b}{h} \right) \cdot \lambda_{зp}}, \text{ (м} \cdot \text{°C) / Вт,}$$

где  $H$  – глубина заложения канала до оси труб, принимаем равной 1 м;  $\lambda_{зp}$  - теплопроводность грунта, принимаем равной  $1,86$  Вт/(м · °C) [29].

$$R_{зp} = \frac{\ln \left[ 3,5 \cdot \frac{1}{0,46} \cdot \left( \frac{0,46}{0,9} \right)^{0,25} \right]}{\left( 5,7 + 0,5 \cdot \frac{0,9}{0,46} \right) \cdot 1,86} = 0,15, \text{ (м} \cdot \text{°C) / Вт,}$$

Определяем температуру воздуха в канале [28]:

$$t_{\kappa} = \frac{\frac{\tau_1}{R_{u1} + R_{nu1}} + \frac{\tau_2}{R_{u2} + R_{nu2}} + \frac{t_{zp}}{R_{кан.} + R_{zp}}}{\frac{1}{R_{u1} + R_{nu1}} + \frac{1}{R_{u2} + R_{nu2}} + \frac{1}{R_{кан.} + R_{zp}}}, \text{ } ^{\circ}\text{C},$$

$$\text{где } R_{u1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{uz}} \cdot \ln \frac{d_1 + 2 \cdot \delta_1}{d_1} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,001} \cdot \ln \frac{0,150 + 2 \cdot 0,002}{0,150} = 4,19, \text{ (м}^{\circ}\text{C)/Вт},$$

$$R_{u2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{uz}} \cdot \ln \frac{d_2 + 2 \cdot \delta_2}{d_2} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,001} \cdot \ln \frac{0,150 + 2 \cdot 0,0012}{0,150} = 2,53, \text{ (м}^{\circ}\text{C)/Вт},$$

$$R_{nu1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \alpha_{\kappa} \cdot (d_1 + 2 \cdot \delta_1)} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,29 \cdot (0,150 + 2 \cdot 0,002)} = 0,802, \text{ (м}^{\circ}\text{C)/Вт},$$

$$R_{nu2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \alpha_{\kappa} \cdot (d_2 + 2 \cdot \delta_2)} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,29 \cdot (0,150 + 2 \cdot 0,012)} = 0,810, \text{ (м}^{\circ}\text{C)/Вт},$$

где  $\tau_1$  – среднегодовая температура сетевой воды в подающем трубопроводе,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau_2$  – среднегодовая температура сетевой воды в обратном трубопроводе,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{zp}$  – среднегодовая температура грунта на глубине заложения,  $^{\circ}\text{C}$ , для г. Асино  $t_{zp} = 4,5^{\circ}\text{C}$ ;  $R_{u1}, R_{u2}$  – термические сопротивления изоляции подающего и обратного трубопроводов,  $(\text{м}^{\circ}\text{C)/Вт}$ ;  $R_{nu1}, R_{nu2}$  – термические сопротивления теплоотдачи от поверхности изоляции подающего и обратного трубопроводов,  $(\text{м}^{\circ}\text{C)/Вт}$ ;  $\lambda_{uz}$  – теплопроводность изоляции, для теплоизоляционной краски TSM Ceramic  $0,001 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$  [29].

Температура воздуха в канале составит:

$$t_{\kappa} = \frac{\frac{51,3}{4,19 + 0,802} + \frac{42,4}{2,53 + 0,810} + \frac{4,5}{0,405 + 0,150}}{\frac{1}{4,19 + 0,802} + \frac{1}{2,53 + 0,810} + \frac{1}{0,405 + 0,150}} = 8,6, \text{ } ^{\circ}\text{C}.$$

Тепловые потери трубопровода:

$$q = \frac{t_{\kappa} - t_0}{R_{кан.} + R_{zp}} = \frac{8,6 + 0,6}{0,405 + 0,150} = 16,6 \text{ Вт}.$$

Для цилиндрической поверхности диаметром менее 2 м из уравнения:

$$\ln B_1 = 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{uz} \cdot \left( \frac{\tau_1 - t_k}{q} - R_{nu1} \right) = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,001 \cdot \left( \frac{51,3 - 8,6}{16,6} - 0,802 \right) = 0,0111 ,$$

$$\ln B_2 = 2 \cdot \pi \cdot \lambda_{uz} \cdot \left( \frac{\tau_2 - t_k}{q} - R_{nu2} \right) = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,001 \cdot \left( \frac{42,4 - 8,6}{16,6} - 0,810 \right) = 0,0077 ,$$

определяем значение коэффициентов  $B_1$  и  $B_2$  и вычисляем значения толщин изоляции [12, стр.35]:

$$\delta_1 = \frac{d_1 \cdot (B_1 - 1)}{2} = \frac{0,150 \cdot (1,011 - 1)}{2} = 0,0022 \text{ м, или } \delta_1 = 2,2 \text{ мм};$$

$$\delta_2 = \frac{d_2 \cdot (B_2 - 1)}{2} = \frac{0,150 \cdot (1,008 - 1)}{2} = 0,0012 \text{ м, или } \delta_2 = 1,2 \text{ мм.}$$

Для полученных толщин изоляции пересчитываем температуру воздуха в канале, термические сопротивления изоляции и тепловые потери.

Результаты расчетов для всех изолируемых трубопроводов сведем в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Результаты расчета изоляции

Обозначение	Размерность	Диаметр изолируемого трубопровода, мм					
		150	100	76	50	32	25
$\delta_1$	мм	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,4
$\delta_2$	мм	1,32	1,08	0,96	0,9	0,84	0,84
$R_{кан.}$	(м°С)/Вт,	0,405	0,405	0,474	0,617	0,617	0,617
$R_{ep.}$	(м°С)/Вт,	0,150	0,150	0,166	0,183	0,183	0,183
$R_{u1}$	(м°С)/Вт,	4,60	5,63	6,57	9,28	13,36	16,90
$R_{u2}$	(м°С)/Вт,	2,78	3,40	3,97	5,63	8,15	10,36
$R_{nu1}$	(м°С)/Вт,	0,799	1,191	1,559	2,329	3,547	4,440
$R_{nu2}$	(м°С)/Вт,	0,809	1,208	1,584	2,383	3,665	4,627
$t_k$	°С	8,2	6,4	5,4	3,7	2,6	2,1
$q$	Вт	15,8	12,6	9,3	5,4	4,0	3,4
$\ln B_1$		0,0121	0,0148	0,0211	0,0409	0,0548	0,0621
$\ln B_2$		0,0085	0,0103	0,0150	0,0301	0,0400	0,0446
$B_1$		1,012	1,015	1,021	1,042	1,056	1,064
$B_2$		1,009	1,010	1,015	1,031	1,041	1,046

## 8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

При оценке ресурсоэффективности и потенциала ресурсосбережения проектируемой системы теплоснабжения наряду с техническими показателями (тепловые потери, эффективность использования топлива и т.п.) целесообразно выполнять оценку экономической составляющей.

Наиболее важным экономическим показателем работы энергоснабжающих предприятий является себестоимость тепловой энергии, представляющую собой совокупность затрат в денежном выражении, отнесенную к годовому отпуску тепловой энергии [30].

К основным статьям затратам относятся:

- затраты на материальные ресурсы (топливо на технологические цели, вода на технологические цели);
- затраты на оплату труда;
- страховые взносы;
- расходы по эксплуатации и содержанию оборудования котельной;
- расходы по техническому обслуживанию тепловых сетей и сооружений на них;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы [30].

При расчете себестоимости тепловой энергии использованы данные материалов тарифных дел, публикуемые на официальном сайте Департамента тарифного регулирования Гомской области [31] и принятые при установлении тарифов на тепловую энергию для абонентов систем теплоснабжения г. Асино.

### 8.1. Потенциальные потребители результатов работы

Для большинства рынков, как правило, можно выделить группы потребителей, характеризующихся различными запросами и требованиями к

товарам. Для получения максимальной экономической выгоды от реализации товаров выполняют сегментирование рынка, предполагающее дифференциацию потребителей в зависимости от их потребностей. Для оптимизации маркетинговой деятельности составляется карта рынка, выполняется профилирование потребителей по различным критериям (демографический, психографический, географический и т.д.) [32]. Однако, при проектировании систем теплоснабжения актуальность проведения указанных процедур теряется в связи с тем, что системы инженерных коммуникаций относятся к системам жизнеобеспечения и используются вне зависимости от предпочтений потребителя, его вкусов и т.п. Выпускная квалификационная работа направлена на расчет необходимых объемов потребления тепловой энергии существующими и перспективными (планируемыми к строительству) зданиями Асиновской центральной районной больницы, расчет параметров теплоносителя, гидравлический расчет тепловых сетей. Результатом работы является проект системы теплоснабжения для обеспечения теплом зданий больницы. Потенциальными потребителями результата работы являются персонал больницы и ее пациенты. В связи с этим сегментирование рынка не выполняется вследствие единственности выбора потребителей.

## 8.2. Затраты на материальные ресурсы

**Затраты на топливо** определяются годовым расходом топлива  $V_T$  и ценой поставки топлива  $C_T$ . Основным топливом котельной в проектируемой системе теплоснабжения является уголь. Годовой расход топлива определяется произведением удельного расхода топлива на годовой отпуск тепловой энергии.

Годовой отпуск тепла представляет собой сумму полезного отпуска (величина определена в Главе 1 расчетно-пояснительной записки) и тепловых потерь, величина которых для районных систем теплоснабжения

может быть принята на уровне 7–10 % (на основе анализа технико-экономических показателей подобных систем):

$$Q_{год}^{omn} = (Q_{год}^{ot} + Q_{год}^v + Q_{год}^h) \cdot \left(1 + \frac{q_n}{100}\right) = (3457,5 + 1370,2 + 1592,3) \left(1 + \frac{7}{100}\right) = 6869,4 \text{ Гкал/год.}$$

Удельный расход условного топлива на отпуск тепла в соответствии с [33] для угольных водогрейных котлов принимаем  $b_T=213,2$  кг у.т./Гкал, что в выражении натурального топлива (при топливном эквиваленте  $5000/7000=0,714$ ) будет составлять 298,48 кг н.т./Гкал. Тогда годовой расход натурального топлива (угля) для проектируемой системы теплоснабжения будет равен:

$$B_T = Q_{год}^{omn} \cdot b_T = 6869,4 \cdot 298,48 \cdot 10^{-3} = 2050,4 \text{ т н.т.}$$

Годовые затраты на приобретение топлива:

$$Z_T = B_T \cdot C_T = 2050,4 \cdot 2800 \cdot 10^{-3} = 5741,12 \text{ тыс.руб.}$$

**Затраты на химически очищенную воду**, используемую для подпитки тепловой сети, составляют:

$$Z_{ХОВ} = C_{ХОВ} \cdot G_{ХОВ} = 42,9 \cdot 274,5 \cdot 10^{-3} = 11,78 \text{ тыс.руб.},$$

где  $C_{ХОВ}=42,9$  руб./м<sup>3</sup> – тариф на холодную воду, принятый по данным калькуляции НВВ в аналогичных системах теплоснабжения г. Асино [31],  $G_{ХОВ}$  – нормативный расход подпиточной воды, принимаемый равным 2 % от среднегодового объема теплоносителя в проектируемой системе теплоснабжения [34].

**Затраты на электроэнергию**, расходуемую на технологические нужды определяются по формуле:

$$Z_{\text{э}} = T_{\text{э}} \cdot W_{\text{э}} = 3,5 \cdot 282,1 = 987,35 \text{ тыс.руб.},$$

где  $T_{\text{э}}=3,5$  руб./кВт·ч – тариф на электрическую энергию,  $W_{\text{э}}=282,1$  МВт – годовое потребление электроэнергии на технологические нужды системы теплоснабжения. Годовой расход электроэнергии определяется по методике [33] и включает затраты электроэнергии на производство тепловой энергии (привод технологического оборудования, затраты на топливоприготовление

и т.д.) и затраты электроэнергии на передачу тепла (работа насосного оборудования).

**Затраты на вспомогательные материалы** учитывают стоимость покупки сырья, инвентаря, стоимость износа средств, не относящихся к основным фондам:

$$Z_{BM} = Z_{MTP} + Z_{CO} + Z_{ХИ} + Z_{ГСМ} = 557,29 + 62,44 + 5,44 + 29,03 = 654,2 \text{ тыс.руб.},$$

где  $Z_{MTP}$  – затраты на материалы для текущего ремонта,  $Z_{CO}$  – затраты на приобретение специальной одежды,  $Z_{ХИ}$  – затраты на приобретение хозяйственного инвентаря,  $Z_{ГСМ}$  – затраты на приобретение горюче-смазочных материалов. Значения затрат приняты по данным сметных расчетов, опубликованных на портале [31].

**Суммарная величина материальных затрат:**

$$Z_M = Z_T + Z_{ХОВ} + Z_{Э} + Z_{BM} = 5741,12 + 11,78 + 987,35 + 654,2 = 7394,45 \text{ тыс.руб.}$$

### 8.3. Затраты на оплату труда

Статья учитывает расходы на оплату труда эксплуатационного, ремонтного и административно-управленческого персонала (рабочие, специалисты, служащие и руководители). Численность работников определяется в соответствии с [35]. Заработная плата персонала определена на основе сметных данных, опубликованных на портале [31].

Для угольной котельной, в которой установлены 5 водогрейных котлов, численность производственного персонала (средняя заработная плата – 32538,7 руб./мес.) составляет 9 человек. Численность административно-управленческого персонала составляет 1 человек (средняя заработная плата 42022,3 руб./мес.). Исходя из представленных данных годовой фонд оплаты труда составляет:

$$Z_{OT} = 12 \cdot (9 \cdot 32538,7 + 1 \cdot 42022,3) \cdot 10^{-3} = 4018,45 \text{ тыс.руб.}$$

Отчисления на социальные нужды включают уплату страховых взносов в пенсионный фонд, фонд социального страхования, федеральный фонд

обязательного медицинского страхования и составляют 30 %, кроме того уплачивается взнос в фонд социального страхования от несчастных случаев (0,2 %):

$$Z_{CH} = 0,302 \cdot Z_{OT} = 0,302 \cdot 4018,45 = 1213,57 \text{ тыс.руб.}$$

#### 8.4. Амортизация основных фондов (средств)

Затраты на амортизацию основных фондов определяются как доля (норма амортизации) от общей стоимости системы теплоснабжения (строительство котельной и тепловых сетей).

Согласно укрупненным сметным нормам стоимость системы теплоснабжения на базе котельной мощностью 4 МВт составляет 22800 тыс. руб. С учетом нормы отчислений на амортизацию оборудования котельных (0,18 %) затраты на амортизацию составят:

$$Z_{AM} = 0,0018 \cdot K_K = 0,0018 \cdot 22800 = 41,0 \text{ тыс.руб.}$$

#### 8.5. Прочие затраты

В состав прочих затрат включаются плата за выбросы загрязняющих веществ, командировочные, расходы на услуги банков и т.п.

**Плата за выбросы загрязняющих веществ** в окружающую среду определяется по формуле:

$$Z_{ПлВ} = \left( (5 \cdot 8 \cdot B_T) \cdot k_u^{выб} + \left( 275 \frac{0,247}{1000} B_T \cdot Q_H^P \right) k_u^{выб} \right) \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} =$$

$$= \left( (5 \cdot 8 \cdot 2050,4) \cdot 45 + \left( 275 \frac{0,247}{1000} 2050,4 \cdot 5000 \right) \cdot 45 \right) \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} = 35,03 \text{ тыс.руб.}$$

В прочие отчисления входят различные налоги, затраты на услуги банков и т.п. Согласно данным, опубликованным на портале [31] для энергоснабжающей организации, эксплуатирующей систему

теплоснабжения, предусматриваются внереализационные расходы (расходы на услуги банков) в размере  $Z_{УБ}=18,31$  тыс. руб./год.

#### 8.6. Годовые эксплуатационные расходы

Общие годовые затраты на производство и транспортировку тепловой энергии до потребителя представляют собой сумму рассчитанных затрат по статьям. Для удобства анализа полученные результаты представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Калькуляция затрат на производство и передачу тепловой энергии

№ п/п	Статья затрат	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
<b>1</b>	<b>Затраты на материальные ресурсы</b>	<b>7394,45</b>	<b>58,13</b>
1.1	Затраты на топливо	5741,12	45,13
1.2	Затраты на хим. очищенную воду	11,78	0,09
1.3	Затраты на электроэнергию	987,35	7,76
1.4	Затраты на вспомогательные материалы	654,2	5,14
<b>2</b>	<b>Затраты на оплату труда</b>	<b>5232,02</b>	<b>41,13</b>
2.1	Оплата труда	4018,45	31,59
2.2	Отчисления на социальные нужды	1213,57	9,54
<b>3</b>	<b>Амортизация основных фондов</b>	<b>41</b>	<b>0,32</b>
<b>4</b>	<b>Прочие затраты</b>	<b>53,34</b>	<b>0,42</b>
4.1	Плата за выбросы	35,03	0,28
4.2	Прочие отчисления	18,31	0,14
	<b>Итого годовые затраты</b>	<b>12720,81</b>	
	Отпуск тепловой энергии, Гкал	6869,4	
	Себестоимость производства и передачи тепловой энергии, руб./Гкал	1851,81	

Таким образом, суммарная величина годовых эксплуатационных затрат составляет 12720,81 тыс. руб. При отнесении полученной величины затрат к годовому отпуску тепловой энергии получаем величину себестоимости отпущенной тепловой энергии – 1851,81 руб./Гкал.

Анализ тарифов на тепловую энергию, установленных для абонентов прочих систем теплоснабжения г. Асино [31], позволяет сделать вывод о том, что полученная величина себестоимости не превышает аналогичные показатели в прочих системах теплоснабжения. В частности, тариф на тепловую энергию на первое полугодие для потребителей г. Асино составляет 2853,61 руб./Гкал. Полученная величина себестоимости меньше тарифа в аналогичных системах теплоснабжения на территории того же населенного пункта меньше на 35 %, что позволяет сделать вывод об экономической эффективности проектируемой системы теплоснабжения.

## 9 Социальная ответственность

Работа направлена на расчет необходимых объемов потребления тепловой энергии существующими и перспективными (планируемыми к строительству) зданий Асиновской центральной районной больницы. В работе выполняется расчет параметров теплоносителя (температурный график подачи тепла), гидравлический расчет тепловых сетей. Таким образом, ВКР направлена на разработку проекта системы теплоснабжения для обеспечения теплом зданий больницы.

Абонентами проектируемой системы теплоснабжения являются объектов социальной сферы – корпуса и вспомогательные здания больничного комплекса. В соответствии с п. 95 Постановления Правительства РФ от 8.08.2012 № 808 «Об организации теплоснабжения в РФ и о внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ» медицинские учреждения относятся к социально значимым категориям потребителей тепловой энергии. В связи с вышесказанным выпускная квалификационная работа имеет выраженную социальную направленность.

### 9.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовую основу обеспечения безопасности определяют: Конституция Российской Федерации; закон «О безопасности»; иные законы и нормативные акты РФ, регулирующие отношения в области безопасности; нормативные акты субъектов Российской Федерации; международные договоры и соглашения. Основным субъектом обеспечения безопасности выступает государственная власть, которая реализуется через органы законодательной, исполнительной и судебной власти: Федеральное Собрание РФ, Совет безопасности РФ, Президент РФ, Правительство РФ, государственные правоохранительные органы и иные. Государство, руководствуясь соответствующими целями и задачами, определяет виды

безопасности, способы, средства, силы обеспечения безопасности всех субъектов [36]. Согласно [37] каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты работников в соответствии с требованиями охраны труда за счёт работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр (обследование) в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы(должности) и среднего заработка на время прохождения указанного медицинского осмотра;
- компенсации, установленные законодательством Российской Федерации и законодательством субъектов Российской Федерации, коллективным договором (соглашением), трудовым договором (контрактом), если он занят на тяжёлых работах и работах с вредными или опасными условиями труда.

## 9.2. Производственная безопасность

### *Опасные и вредные факторы*

В зоне обслуживания тепловых сетей могут иметь место следующие опасные и вредные производственные факторы:

- повышенная влажность воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола, настила);
- недостаточная освещенность;
- перемещение машин и механизмов вблизи рабочего места;
- повышенная загазованность, недостаточное содержание кислорода в воздухе рабочей зоны;
- вибрация.

### 9.3. Защита персонала от воздействия опасных и вредных факторов

Для защиты от воздействия опасных и вредных факторов необходимо применять следующие средства защиты:

- при работе вблизи движущихся механизмов следует проявлять особую осторожность, быть внимательным к сигналам, подаваемым водителями транспорта;
- при необходимости нахождения вблизи горячих частей оборудования, следует принять меры по защите от ожогов и действия высоких температур (ограждение оборудования, вентиляция, теплая спецодежда);
- при выполнении работ на участках с температурой воздуха выше 33°C необходимо применять режим труда с интервалами времени для отдыха и охлаждения;
- работу в зонах с низкой температурой окружающего воздуха следует производить в теплой спецодежде и чередовать по времени с нахождением в тепле;

- при повышенной загазованности воздуха рабочей зоны необходимо работать в противогазовом респираторе (РПГ-67, РУ-60м и др.) или противогазе;
- при нахождении в колодцах, камерах, каналах, туннелях и в ремонтной зоне слесарь должен носить защитную каску для защиты головы от ударов случайными предметами и выступающих частей;
- при недостаточной освещенности рабочей зоны следует применять дополнительное местное освещение. При работах в теплофикационных камерах должны применяться переносные светильники напряжением не более 12 В;
- при работах на высоте более 1,3 м над уровнем земли, пола, площадки необходимо применять предохранительный пояс, при необходимости со страхующим канатом;

Слесарь должен работать в спецодежде и спецобуви и применять другие средства защиты, выдаваемые в соответствии с действующими отраслевыми нормами.

Слесарю бесплатно должны выдаваться согласно отраслевым нормам следующие средства индивидуальной защиты:

- костюм хлопчатобумажный (на 12 мес);
- куртка хлопчатобумажная утепленная (на 12 мес);
- брюки хлопчатобумажные утепленные (на 12 мес);
- сапоги резиновые (на 12 мес);
- сапоги кирзовые (на 12 мес);
- рукавицы комбинированные (на 1 мес);
- каска защитная с подшлемником;
- пояс предохранительный с ляжками;
- спасатель СПИ-20 или ПДУ-3.

В зависимости от характера работ и условий их производства слесарю бесплатно временно должна выдаваться дополнительная спецодежда и защитные средства для этих условий.

### *Обеспечение достаточной освещенности*

Освещение является одним из важнейших факторов для обеспечения здоровья человека. Недостаточное освещение вызывает зрительный дискомфорт, выражающийся в ощущении неудобства или напряженности. Длительное пребывание в условиях зрительного дискомфорта приводит к отвлечению внимания, уменьшению сосредоточенности, зрительному и общему утомлению. Кроме создания зрительного комфорта свет оказывает на человека психологическое, физиологическое и эстетическое воздействие. Свет – один из важнейших элементов организации пространства и главный посредник между человеком и окружающим его миром. Неудовлетворительная освещенность в рабочей зоне может являться причиной снижения производительности и качества труда, получения травм. Освещение и световая среда характеризуется параметрами: световой поток, сила света, освещенность. Для того чтобы обеспечить условия, необходимые для зрительного комфорта, в системе освещения должны быть реализованы следующие предварительные требования:

- однородное освещение;
- оптимальная яркость;
- отсутствие бликов;
- соответствующая контрастность;
- правильная цветовая гамма;
- отсутствие стробоскопического эффекта или мерцания света [38].

Нормативные требования к освещению жилых и общественных зданий определены Правилами и зависят от назначения и особенностей рабочего помещения [39]

### *Защита от шума*

Производственный шум – совокупность звуков различной интенсивности и частоты, беспорядочно изменяющихся во времени и вызывающих у работающего неприятные субъективные ощущения. Шум,

ультразвук и вибрация имеют общую природу, источниками их являются колебания твердых, газообразных или жидких сред. Эти колебания передаются воздушной средой, по которой они и распространяются. Шум оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье человека. Оно может проявляться в виде специфического поражения органа слуха, снижения слуха на восприятие шепотной речи и потери остроты слуха.

Кроме непосредственного воздействия на органы слуха, шум негативно действует на многие органы и системы организма, в первую очередь на центральную нервную систему, в которой функциональные изменения происходят зачастую раньше, чем определяется нарушение слуховой чувствительности.

Сильный шум вызывает трудности в распознавании световых сигналов, снижает быстроту восприятия цвета, зрительную адаптацию, нарушает восприятие визуальной информации, снижает способность быстро и точно выполнять координированные действия, уменьшает производительность труда, раньше возникает чувство усталости и развиваются признаки утомления.

Для защиты от акустических колебаний (шума, инфра- и ультразвука) можно использовать следующие методы:

- снижение звуковой мощности источника звука;
- размещение рабочих мест с учетом направленности излучения звуковой энергии;
- удаление рабочих мест от источника звука;
- акустическая обработка помещений;
- звукоизоляция;
- применение глушителей;
- применение средств индивидуальной защиты [38].

*Защита от вибрации*

Шум, как правило, является следствием вибрации, и поэтому на практике рабочие часто испытывают совместное неблагоприятное действие шума и вибрации. Воздействие вибрации не только отрицательно сказывается на здоровье, ухудшает самочувствие, снижает производительность труда, но иногда приводит к профессиональному заболеванию – виброболезни. Повышенные уровни вибрации являются и шума являются ведущими факторами в возникновении сердечно-сосудистых заболеваний.

Ручной механизированный инструмент с электро- и пневмоприводом передает интенсивные вибрации на руки рабочего и характеризуется высоким уровнем шума.

Повышенные уровни вибрации оказывают вредное воздействие на здоровье и работоспособность человека. Колебания с частотой 3...30 Гц приводят к возникновению в организме человека неприятных и вредных резонансных колебаний различных частей тела и отдельных органов, собственные частоты колебаний которых находятся в интервале частот 3...6, 6...12, 25...30 Гц. Длительное воздействие вибрации может вызвать стойкие изменения физиологических функций человека. Объективно неблагоприятное действие вибраций выражается в виде утомления, головной боли, болей в суставах кистей рук и пальцев, повышенной раздражительности.

При нормировании вибрации исходят из того, что работа возможна в приемлемых условиях труда, т.е. когда вредное воздействие вибрации проявляется незначительно, не приводя к профессиональным заболеваниям.

Классифицируют вибрацию по ГОСТ 12.01.012-90 «Вибрационная безопасность». Общая вибрация нормируется по следующим октавным полосам частот: 1, 2, 4, 8, 16, 31.5, 63 Гц.

Основными источниками вибрации в выпускном проекте являются вентиляторы, ручной механизированный инструмент.

Для защиты от вибрации необходимо применять следующие методы:

- снижение виброактивности машин;
  - отстройка от резонансных частот;
  - вибродемпфирование;
  - виброгашение — для высоких и средних частот;
  - повышение жесткости системы — для низких и средних частот;
  - виброизоляция;
- применение индивидуальных средств защиты [38].

### *Микроклимат*

Согласно [40, 41] микроклимат – это совокупность внешних условий, определяющих самочувствие человека и обеспечивающих его здоровье и работоспособность.

Показателями, характеризующими микроклимат, являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Эти параметры отдельно и в комплексе влияют на человека и определяют его самочувствие. В результате окислительных процессов в организме человека выделяется теплота, часть которой репродуцируется и отдается наружу. Количество теплоты зависит от массы тела человека, интенсивности физической нагрузки и несколько варьирует от индивидуальных особенностей человека. В обычных условиях в организме человека поддерживается постоянное соотношение между приходом и расходом тепла. При изменении влажности и температуры воздуха теплоотдача с поверхности тела человека будет неодинакова. В производственных условиях, когда температура воздуха и окружающих поверхностей ниже температуры кожи, теплоотдача осуществляется преимущественно конвекцией и излучением. Если же температура воздуха и окружающих поверхностей такая же, как температура кожи или выше ее,

теплоотдача возможна лишь испарением влаги с поверхности тела и с верхних дыхательных путей, если воздух не насыщен водяными парами [40, 41].

При разных метеорологических условиях в организме человека происходит изменение в ряде функций систем и органов, принимающих участие в терморегуляции – системе кровообращения, нервной и потоотделительной системах. Косвенными показателями теплового состояния могут служить влагопотери и реакция сердечно-сосудистой системы (частота сердечных сокращений, уровень артериального давления и минутный объем крови).

Стойкое нарушение терморегуляции, вследствие постоянного перенагревания или переохлаждения организма обуславливает возникновение ряда заболеваний.

В условиях нагревающего микроклимата может произойти значительное напряжение, и даже нарушение терморегуляции, в результате которого возможно перегревание организма. Это состояние характеризуется повышением температуры тела, учащением пульса, обильным потоотделением и, при сильной степени перегревания, тепловым ударом: расстройством координации движений, адинамией, падением артериального давления, потерей сознания. Может развиваться также и судорожная болезнь.

Холодовый дискомфорт (конвекционный и радиационный) вызывает в организме человека терморегуляторные сдвиги, направленные на ограничение теплопотерь и увеличение теплообразования. Ограничение теплопотерь организма происходит за счет сужения сосудов в периферических тканях. Под влиянием низких и пониженных температур воздуха могут развиваться ознобления (припухлость кожи, ее зуд и жжение), обморожение, миозиты, невриты, радикулиты.

### *Электробезопасность*

Согласно [42] электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Электрические установки представляют для человека большую потенциальную опасность, т.к. в процессе эксплуатации или проведения профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением. Специфическая опасность электроустановок: токоведущие проводники, корпуса стоек и прочее оборудование, оказавшееся под напряжением в результате повреждения изоляции, не подают каких-либо сигналов, которые предупреждали бы человека об опасности. Проходя через тело человека, электрический ток оказывает на него сложное воздействие.

Виды действия тока на человека:

- термическое, проявляется в ожогах, нагреве органов, находящихся на пути прохождения тока, что вызывает в них серьезные функциональные расстройства, связанные со свертыванием белка;
- электролитическое, проявляется в том, что в крови, лимфе, клетках начинается процесс электролиза неорганических и, частично, органических компонентов, вызывая нарушение их физико-химического состава, что приводит к нарушению нормального обмена веществ в организме;
- механическое, выражается в расслоении, разрыве и других повреждениях различных тканей организма (мышечные, легочные ткани) в результате электродинамического эффекта;
- биологическое, проявляется в возбуждении и раздражении живых тканей, а также в нарушении внутренних биологических процессов.

Любое из перечисленных действий может привести к электрической травме, то есть к повреждению организма, вызванному воздействием электрического тока или электрической дуги.

Для характеристики действия тока на человека установлены три критерия:

- осязаемый пороговый ток (наименьшее значение тока, вызывающего при прохождении через организм осязаемые раздражения);
- пороговый не отпускающий ток (наименьшее значение тока, вызывающего при прохождении через организм непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник);
- пороговый фибрилляционный ток (наименьшее значение тока, вызывающего при прохождении через организм фибрилляцию сердца).

Численные значения этих токов представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Значения пороговых токов

Род тока	Осязаемый, мА	Неотпускающий, мА	Фибрилляционный, мА
Переменный	0,5 – 1,5	6 – 10	80 – 100
Постоянный	5 – 7	50 – 80	300

Длительность прохождения тока очень влияет на исход поражения, так как с течением времени снижается сопротивление кожи.

Чтобы не допустить поражения электрическим током, необходимо строго выполнять ряд организационных и технических мероприятий и средств, установленных действующими Правилами [43, 44]. К техническим средствам защиты относят:

- электрическую изоляцию токоведущих частей;
- защитное заземление и зануление;
- выравнивание потенциалов;
- защитное отключение;
- малое напряжение;
- двойную изоляцию

#### 9.4. Экологическая безопасность

Охрана окружающей природы – проблема глобальная. Любое техногенное вмешательство в сложную по своей структуре систему, называемую «окружающей средой», со стороны инженерной и хозяйственной деятельности человека всегда нарушает равновесие, формируя техногенные процессы негативно, и лишь в отдельных исключительных случаях – позитивно, влияющие на изменение свойств окружающей среды.

Основным законом, регламентирующим отношения в сфере промышленной экологии является Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [45]. Система теплоснабжения представляет совокупность источников тепловой энергии, систем транспорта тепла (тепловые сети), теплопотребляющих установок. Наиболее существенное воздействие на окружающую среду оказывает источник тепловой энергии. При этом, степень влияния определяется видом сжигаемого топлива. Так, для котельных на базе пылеугольных котлоагрегатов происходит выброс в атмосферу летучей золы, окислы азота, фтористые соединения, серный и сернистый ангидриды. При этом в золе могут содержаться различные токсичные соединения [46]. Для защиты окружающей среды должна обеспечиваться надлежащая защита воздуха, направленная на сокращение количества выбрасываемых токсичных веществ в условиях увеличения расходов топлива и ухудшения его качества. Одной из наиболее сложных задач в этом случае является защита атмосферного воздуха от выбросов оксидов азота и серы с дымовыми газами [47].

Однако, целью настоящей выпускной квалификационной работы является проектирование систем транспорта тепловой энергии и укрупненный расчет установок теплопотребления абонентов. Поэтому вопросы обеспечения экологической безопасности в части источников тепловой энергии в настоящем разделе не рассматриваются.

В части транспортировки тепловой энергии основными источниками воздействия на окружающую среду в составе систем теплоснабжения являются утечки воды из коммуникаций и тепловые загрязнения [47, 48].

В случае появления порывов и значительных утечек, обусловленных высокой степенью износа тепловых сетей, наиболее значимым видом воздействия будут загрязнение подземных и поверхностных природных вод, почв; снижение несущей способности грунтов [48].

Тепловые потери в трубопроводах системы транспортировки тепловой энергии в условиях Томской области сегодня могут достигать 25–30 %, а в отдельных случаях – 30–40 % [47]. Согласно выполненным расчетам годовые затраты и потери теплоносителя в проектируемой системе составят 267,2 м<sup>3</sup> (табл. 9.2).

Таблица 9.2 – Годовые затраты и потери теплоносителя в проектируемой системе теплоснабжения

Параметр	Единицы измерения	Значение
<i>Затраты теплоносителя</i>		
Потери теплоносителя с утечкой	куб. м	267,22
<i>Потери тепловой энергии</i>		
Потери тепловой энергии через изоляцию	Гкал	480,98
Потери тепловой энергии с затратами теплоносителя	Гкал	8,74

Основными направлениями снижения негативного воздействия на окружающую среду являются:

- повышение надежности тепловых сетей за счет использования труб с ополуритановой или пенополиминеральной изоляцией, а также арматуры и других элементов с высокой заводской готовностью;
- применение современных теплоизоляционных конструкций с длительным сроком эксплуатации;
- выполнение мероприятий по снижению тепловых потерь;
- применение технологий самокомпенсирующихся трубопроводов;
- использование для строительства тепловых сетей коррозионностойких труб, в том числе с выносом подземных трубопроводов на поверхность или с организацией попутного дренажа;

- внедрение и эксплуатация автоматизированных систем диспетчерского управления тепловыми сетями [47].

Таким образом, экологическая безопасность в области теплоснабжения обеспечивается как на этапах проектирования технологических установок и их сооружения, так и в процессе эксплуатации. При этом, характерно, что технологии повышения экологической безопасности позволяют повысить надежность систем и их энергетическую [47, 48].

### 9.5. Чрезвычайные ситуации

Согласно [49] чрезвычайной ситуацией называется состояние, при котором в результате возникновения источника чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории или акватории, нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей среде.

Различают чрезвычайные ситуации по характеру источника (природные, техногенные, биолого-социальные и военные) и по масштабам (глобальные или национальные, региональные, местные и локальные или частные).

Источник ЧС:

- опасное природное явление;
- авария или опасное техногенное происшествие;
- широко распространенная инфекционная болезнь людей;
- сельскохозяйственных животных и растений;
- применение современных средств поражения.

Наиболее возможной чрезвычайной ситуацией может быть пожар. При возникновении пожара ответственный за пожарную безопасность должен:

- отключить напряжение;

- принять меры к эвакуации людей;
- по телефону 01 сообщить дежурному пожарной охраны о случившемся;
- при необходимости вызвать скорую помощь;
- до прибытия пожарных начать тушить пожар самостоятельно при помощи углекислотного огнетушителя.

Пожар представляет собой неконтролируемое горение, развивающееся во времени и пространстве, опасное для людей и наносящее материальный ущерб. Опасными факторами, воздействующими на людей и материальные ценности при пожаре, являются:

- пламя и искры;
- повышенная температура окружающей среды;
- токсичные продукты горения и термического разложения;
- дым;
- пониженная концентрация кислорода.

Пожар сопровождается химическими и физическими явлениями: химической реакцией горения, выделением и передачей тепла, выделением и распространением продуктов сгорания, газовым обменом. Все эти явления на пожаре взаимосвязаны и протекают на основе общих законов физики.

Пожары в зданиях и сооружениях характеризуются быстрым повышением температуры, задымлением помещений, распространением огня открытыми путями и потерей конструкциями несущей способности.

#### 9.6. Выводы по разделу

В результате выполненной работы при проектировании системы теплоснабжения на территории г. Асино для обеспечения тепловой энергией зданий и корпусов Асиновской центральной районной больницы предусмотрено применение материалов, отвечающих требованиям экологической безопасности, обеспечению ресурсо- и энергосбережения и

энергетическо эффективности, обеспечению надежного теплоснабжения потребителей.

По результатам работы по разделу можно выделить следующее:

- отображены правовые и организационные вопросы по обеспечению безопасности персонала.
- приведено описание вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на котельной;
- рассмотрены методики борьбы с представленными вредными и опасными факторами;
- рассмотрены вопросы экологической безопасности проектируемой системы теплоснабжения;
- рассмотрены различные чрезвычайные ситуации и меры по их предотвращению.

## Заключение

В результате проведенной работы определены тепловые нагрузки на систему отопления, вентиляции, ГВС для абонентов тепловой сети в зоне действия котельной «АЦРБ». По результатам расчета нагрузка на отопление составила 1465,6 кВт, на вентиляцию 960,6 кВт, на ГВС - 462,8 кВт.

В результате проведенной работы разработана система регулирования отпуска теплоты. Установлено, что центральное регулирование теплоты для абонентов в зоне действия котельной «АЦРБ» необходимо производить по совмещенной нагрузке отопления и ГВС. Произведен расчет температурного графика. В результате определена точка излома  $t_{н.и.} = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура сетевой воды в подающем  $\tau_1 = 96,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  и обратном трубопроводе  $\tau_2 = 61,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Обосновано и подтверждено расчетами, что теплоснабжение абонентов в зоне действия котельной «АЦРБ» возможно осуществлять по зависимой схеме с присоединением подогревателей горячего теплоснабжения по двухступенчатой последовательной схеме.

В результате проведенного гидравлического расчета определены диаметры труб, падения давления в различных точках системы, построены пьезометрические графики и т.д.

Разработана схема тепловой сети с указанием и выбором, задвижек, тепловых камер. Выбрано основное оборудование ИТП.

## Список использованных источников

1. Официальный сайт Министерства энергетики РФ. Раздел «Статистика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/activity/statistic>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 14.04.2019).
2. Саламов А.А. Взгляд на централизованное теплоснабжение в России // Энергетика за рубежом. – № 1, 2016. – С. 46–46.
3. Бурцев В.В., Байтингер Н.М. Современный взгляд на некоторые проблемы централизованного теплоснабжения // Проектирование и строительство Сибири. – № 4 (22), 2004. – С. 40–42.
4. Башмаков И.А. Анализ основных тенденций развития систем теплоснабжения России // Энергетическая политика. – № 2, 2009. – С. 10–25.
5. Филиппов С.П. Развитие централизованного теплоснабжения в России // Теплоэнергетика. – № 12, 2009. – С. 2–14.
6. Любимова Н.Г. Теплофикация или котельнизация России // Вестник университета (Государственный университет управления). – № 7–8, 2017. – С. 42–46.
7. Псаров С.А., Шумилин Е.В., Хоничев Ю.В. Особенности энергосбережения при централизованном теплоснабжении зданий // Научное обеспечение технического и социального развития Дальневосточного региона: сборник научных статей к 55-летию Тихоокеанского государственного университета. – 2013. – С. 30–35.
8. Кулешов М.И. и др. Повышение экологической безопасности систем теплоснабжения / М.И. Кулешов, В.И. Беляева, В.П. Кожевников, А.А. Погонин, А.А. Мочалин // Экология и промышленности России. – № 7, 2012. – С. 12–13.
9. Методические указания по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку теплоты отопительными котельными

- коммунальных теплоэнергетических предприятий. Изд. 4-е. – Изд-во: Ротапринт АКХ им. К.Д. Памфилова, 2002. – 243 с.
10. ТСН 23-316-2000 Томской области Тепловая защита жилых и общественных зданий. – Томск: Изд-во Администрации Томской области, 2001. – 68 с.
  11. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Москва: Стандартинформ, 2013. – 15 с.
  12. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – Москва: Минрегион России, 2012. – 81 с.
  13. СП 30.13330.2016 Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85\* (с поправкой). – Москва: Минстрой России, 2016. – 100 с.
  14. Ляликов Б.А. Источники и системы теплоснабжения промышленных предприятий. Часть II: учебное пособие. – 2-е изд., стер. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 172 с.
  15. Справочник по охране труда и технике безопасности в химической промышленности. Новые и пересмотренные правила и инструкции по устройству и эксплуатации оборудования и по промышленной санитарии. – Москва: Химия, 1972. – 584 с.
  16. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. – 7-е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
  17. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Под ред. проф. Б. М. Хрусталева. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 784 с.
  18. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 320 с.
  19. Тихомиров А.К. Теплоснабжение района города: учеб. пособие. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2006. – 135 с.
  20. Громов Н. К. Абонентские устройства водяных тепловых сетей. Проектирование и эксплуатация. - М: Энергия, 1979. – 320 с.

21. В.Н.Богословский, А.Н.Сканави. Отопление. – М: Стройиздат, 1991. –735 с.
22. Р. В. Щекин, С. М. Корневский, Г. Е. Бем, М. А. Артюшенко, Ф. И. Скороходько Справочник по теплоснабжению и вентиляции. – Киев: Государственное издательство, 1962. – 1020 с.
23. Электронный каталог насосов Римос-Импэкс // RIMOS.RU. URL: <http://www.rimos.ru/catalog/group/1083> (дата обращения: 21.05.2019).
24. СП 124.13330.2012 «Тепловые сети». – М.: Минрегион России, 2012. – 78 с.
25. СНиП 41-101-95 “Проектирование тепловых пунктов”. – М.: Минстрой России, 1995. – 118 с.
26. СНиП II - 3-79\*. Строительная теплотехника. — М.: 1979. – 35 с.
27. Каталог оборудования Альфа Лаваль для теплоснабжения и кондиционирования. – М.: АО «Альфа Лаваль Поток», 2019. – 474 с.
28. СНиП 41-02-2003 “Тепловые сети”. М.: Госстрой России, 2003. – 41 с.
29. Козин В. Е., Левина Т. А., Марков А. П. Теплоснабжение. – М: Высшая школа, 1980. – 408 с.
30. Любанская З.Г. Формирование себестоимости тепловой энергии, вырабатываемой котельной // Ученые заметки Тихоокеанского государственного университета. – Т. 4, № 4. – 2013. – С. 1640–1643.
31. Протоколы заседания Правления ДТР ТО [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://rec.tomsk.gov.ru/disclosure?categoryAlias=zasedaniye-pravleniya-departamenta&page=2>. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 04.05.2019).
32. Федорова Л.П. Особенности проведения сегментирования потребителей рынка систем отопления // Журнал «У». – № 2. – 2018. – С. 99–108.
33. МДК 4-05.2004. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения. – Москва: Госстрой России, 2004. – 79 с.

34. СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. – Москва: Минрегион, 2012. – 78 с.
35. Нормативы численности рабочих котельных установок и тепловых сетей. – Москва: Минтруд, 1991. – 99 с.
36. Правовое регулирование и органы обеспечения безопасности жизнедеятельности: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Михайлов, В.М. Губанов, З.А. Сибирякова, В.П. Соломин. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 256 с.
37. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019 г.). – М.: Изд-во Минтруда, 2019. – 176 с.
38. Девисилов В.А. Охрана труда: учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Форум, 2009. – 496 с.
39. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» (с изменениями от 15.03.2010 г.). – М. Стандартинформ, 2010. – 28 с.
40. ГОСТ 30494-2011. – М.: Стандартинформ, 2013. – 11 с.
41. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. 7-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2007. – 616 с.
42. ГОСТ 12.1.009-76. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 3 с.
43. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем безопасности», 2013. – 192 с.
44. Правила устройства электроустановок. – М.: Госэнергонадзор, 2003. – 222 с.
45. Федеральный закон РФ «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ. – М.: Проспект, 2019. – 80 с.

46. Пономарев Н.Р. Анализ воздействия систем теплоснабжения на экосистемы окружающей среды // Вестник Южно-Российского государственного технического университета. – № 4. – 2008. – С. 42–48.
47. Пономарев А.Н., Черноусов П.И., Мартынов Н.Н. Инженерная защита окружающей среды и экологическая безопасность Российской Федерации. Книга 1. – М.: ЦИТ, 2012. – 192 с.
48. Пугач Л.И. Энергетика и экология: учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 504 с.
49. ГОСТ Р 22.0.02-2016. – М.: Стандартинформ, 2016. – 7 с.