

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

Строительный факультет

Кафедра теплотехники и гидравлики

УТВЕРЖДЕН
на заседании кафедры
«29» августа 2017 г.,
протокол № 1
Заведующий кафедрой
_____ В.С. Васильев

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

«Б1.В.10 ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ»

Направление подготовки (специальность) 08.03.01 Строительство

Квалификация (степень) выпускника – бакалавр

Профиль (направленность) Теплогазоснабжение и вентиляция
Прикладной бакалавриат

Методические материалы разработаны на основе рабочей программы дисциплины, предусмотренной образовательной программой высшего образования (ОП ВО) по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» направленность (профиль) «Теплогазоснабжение и вентиляция».

СОСТАВИТЕЛЬ:

Старший преподаватель
кафедры теплотехники и гидравлики _____ Т.В. Щенникова

СОГЛАСОВАНО:

Методическая комиссия строительного факультета «30» августа 2017 г., протокол №1.

Декан факультета _____ А.Н. Плотников

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО

В процессе изучения дисциплины обучающиеся формируют следующие компетенции и демонстрируют соответствующие им результаты обучения:

Компетенция по ФГОС	Ожидаемые результаты обучения
ПК-1 - знание нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест	<p>Знать нормативные документы по проектированию систем теплоснабжения.</p> <p>Уметь применять нормативные документы для расчета и проектирования.</p> <p>Владеть методикой расчета с использованием нормативных документов.</p>
ПК-3 - способность проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы, контролировать соответствие разрабатываемых проектов и технической документации заданию, стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам	<p>Знать состав проектной и рабочей документации по проектированию систем централизованного теплоснабжения, принципы подбора оборудования и проведения испытаний инженерных систем; методы создания и анализа теоретических моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов деятельности, нормативные документы по проектированию систем теплоснабжения.</p> <p>Уметь разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию с учетом нормативных документов, оформлять законченные проектно-конструкторские работы, связанные с проектированием систем ЦТС, включая предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, самостоятельно углублять свои знания и применять на практике достижения науки и техники в области систем ЦТС; разрабатывать и реализовывать программы по достижению энергоэффективности зданий и сооружений.</p> <p>Владеть методиками расчета систем централизованного теплоснабжения с использованием нормативных документов, расчетом для подбора основного технологического оборудования, методами испытаний; навыками проектирования объектов жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивающими надежность, безопасность и эффективность их работы; методиками компьютерного моделирования с использованием специализированных программно-вычислительных комплексов.</p>
ПК-8 - владеть технологией, методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства, эксплуатации, обслуживания зданий, сооружений, инженерных систем, производства строительных материалов, изделий и конструкций, машин и оборудования	<p>Знать методы доводки и освоения технологических процессов строительного производства, техническую эксплуатацию систем централизованного теплоснабжения.</p> <p>Уметь осуществлять организацию и планирование технической эксплуатации систем ЦТС.</p> <p>Владеть методами технической эксплуатации систем централизованного теплоснабжения с целью обеспечения надежности, экономичности и безопасности их функционирования.</p>

ПК-9 - способность вести подготовку документации по менеджменту качества и типовым методам контроля качества технологических процессов на производственных участках, организацию рабочих мест, способность осуществлять техническое оснащение, размещение и обслуживание технологического оборудования, осуществлять контроль соблюдения технологической дисциплины, требований охраны труда и экологической безопасности	Знать документацию по менеджменту качества и типовым методам контроля качества технологических процессов на производственных участках, организацию рабочих мест.
	Уметь осуществлять техническое оснащение, размещение и обслуживание технологического оборудования, осуществлять контроль соблюдения технологической дисциплины, требований охраны труда и экологической безопасности.
	Владеть способами подготовки документации по менеджменту качества и методам контроля качества технологических процессов на производственных участках, способами организацию рабочих мест, способностью осуществлять техническое оснащение, размещения и обслуживания технологического оборудования, осуществлять контроль соблюдения технологической дисциплины, требований охраны труда и экологической безопасности.

2. Методические указания обучающимся по выполнению самостоятельной работы

Самостоятельная работа определяется спецификой дисциплины и методикой ее преподавания, временем, предусмотренным учебным планом, а также ступенью обучения, на которой изучается дисциплина.

Для самостоятельной подготовки можно рекомендовать следующие источники: конспекты лекций и/или практических и лабораторных занятий, учебную литературу соответствующего профиля.

Преподаватель в начале чтения курса информирует обучающихся о формах, видах и содержании самостоятельной работы, разъясняет требования, предъявляемые к результатам самостоятельной работы, а также формы и методы контроля и критерии оценки.

Методические рекомендации по подготовке к зачету

Подготовка к зачету начинается с первого занятия по дисциплине, на котором обучающиеся получают предварительный перечень вопросов к зачёту и список рекомендуемой литературы, их ставят в известность относительно критериев выставления зачёта и специфике текущей и итоговой аттестации. С самого начала желательно планомерно осваивать материал, руководствуясь перечнем вопросов к зачету и списком рекомендуемой литературы, а также путём самостоятельного конспектирования материалов занятий и результатов самостоятельного изучения учебных вопросов.

Методические рекомендации по подготовке к экзамену

Экзамен преследует цель оценить работу студента за определенный курс: полученные теоретические знания, их прочность, развитие логического и творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умения анализировать и синтезировать полученные знания и применять на практике решение практических задач.

Экзамен проводится в письменной форме по билетам, утвержденным заведующим кафедрой. Экзаменационный билет включает в себя два вопроса. Формулировка вопросов совпадает с формулировкой перечня вопросов, доведенного до сведения студентов за один месяц до экзаменационной сессии. В процессе подготовки к экзамену организована предэкзаменационная консультация для всех учебных групп. Результат экзамена выражается оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно».

С целью уточнения оценки экзаменатор может задать не более одного-двух дополнительных вопросов, не выходящих за рамки требований рабочей программы. Под дополнительным вопросом подразумевается вопрос, не связанный с тематикой вопросов билета. Дополнительный вопрос, также как и основные вопросы билета, требует развернутого ответа. Кроме того, преподаватель может задать ряд уточняющих и наводящих вопросов, связанных с тематикой основных вопросов билета. Число уточняющих и наводящих вопросов не ограничено.

Методические рекомендации по выполнению курсового проекта

Цель курсового проекта – систематизация и закрепление теоретических знаний и развитие практических навыков по решению задач, выработка навыков анализа статистических данных и формулирования выводов по полученным результатам.

Задачами курсового проекта являются:

- развитие навыков самостоятельной работы в области решения практических задач;
- подбор и систематизация теоретического материала, являющегося основой для решения практической задачи, развитие навыков самостоятельной работы с учебной, методической и нормативной литературой;
- проведение расчетов по исходным данным и анализ полученных значений;
- формулирование выводов по полученным результатам.

Структура курсового проекта:

Курсовой проект состоит из двух частей: расчетно-пояснительной записки и графической части.

Расчетно-пояснительная записка включает в себя:

1. Титульный лист.
2. Оглавление.
3. Задание. На данном этапе надо полностью изложить данное обучающемуся заданию.
4. Исходные данные. Студент предоставляет все существующие исходные данные, которые могут понадобиться для проведения расчетов.
5. Разделы, которые будут содержать практические решения и анализ полученных результатов.
6. Выводы.
7. Список использованных источников.
8. Приложения.

Графическая часть проекта выполняется на двух листах бумаги формата А1. Графическое изображение проекций, обозначения, шрифты должны быть выполнены по правилам оформления строительных чертежей в соответствии с ГОСТ 21.605-82 «Сети тепловые (тепломеханическая часть)». На чертежах должны быть представлены: генплан района города, монтажная схема тепловой сети, продольный профиль тепловой сети, пьезометрический график, план и разрезы тепловых камер.

Требования по оформлению курсового проекта:

Набор текста производится в текстовом редакторе MicrosoftWord шрифтом TimesNewRoman размером 12 pt через 1,5 интервала или 14 pt через 1 интервал. Рекомендуемое значение поля страницы: левое – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее и нижнее 20 мм.

Нумерация страниц курсового проекта должна быть сквозная.

Все иллюстрации, помещаемые в расчетно-графическую работу, должны быть тщательно подобраны, четко выполнены. Рисунки и диаграммы должны иметь прямое отношение к тексту, без лишних изображений и данных, которые не поясняются.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Курсовой проект служит для углубления и закрепления знаний, полученных при изучении дисциплины «Теплоснабжение».

Выполнение курсового проекта начинается с получения задания и его изучения. Предварительно следует ознакомиться с современными материалами по проектированию и строительству районов новой застройки.

Задание включает текстовую часть и варианты исходных данных. Индивидуальные задания различаются исходными данными (табл.1) в соответствии с номером студента в журнале. Задание оформляется на отдельном листе и помещается в расчетно-пояснительной записке после титульного листа.

Титульный лист должен содержать следующие данные: название учебного заведения, кафедры, дисциплины, темы курсового проекта, фамилию и инициалы студента, год выполнения.

ЗАДАНИЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Курсовой проект состоит из двух частей: 1) горячее водоснабжение жилого дома; 2) теплоснабжение района города от ТЭЦ. В первой части требуется разработать систему горячего водоснабжения и индивидуальный тепловой пункт (ИТП). В ИТП теплоноситель поступает от централизованного источника тепла. У потребителей должны быть установлены следующие приборы: в ванной комнате - смеситель у ванны и умывальника, на кухне - смеситель у мойки. В ванных комнатах предусматривается установка полотенцесушителей, присоединенных к циркуляционным или разводящим стоякам. Для зданий высотой более двенадцати этажей предусматривается нижняя прокладка разводящих магистралей и верхняя прокладка циркуляционных магистралей. Для зданий высотой более двенадцати этажей предусматривается верхняя прокладка разводящих магистралей и нижняя прокладка циркуляционных магистралей. Для зданий высотой более четырех этажей следует объединять группы водоразборных стояков кольцевыми перемычками в секционные узлы с присоединением каждого узла одним циркуляционным трубопроводом к сборному циркуляционному трубопроводу системы. В секционные узлы следует объединять от трех до семи водоразборных стояков. Схема включения подогревателей горячего водоснабжения определяется по соотношению нагрузок горячего водоснабжения и отопления. Во второй части проекта требуется разработать систему теплоснабжения района города, рассчитать и подобрать основное оборудование источника теплоты. В качестве источника теплоты принять теплоэлектроцентраль (ТЭЦ). От ТЭЦ до потребителя проектируется двухтрубная тепловая сеть (закрытая или открытая - по заданию). Прокладка осуществляется в непроходных каналах лоткового типа. Исходные данные для проектирования выбираются по табл. 1. Теплоносителем является перегретая вода с параметрами по заданию.

ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В состав курсового проекта входят расчетно-пояснительная записка и графическая часть.

Расчетно-пояснительная записка должна быть написана в соответствии с правилами оформления разборчивым почерком. В конце записки приводится список литературы, использованной при выполнении проекта. Ссылки на литературные источники даются в тексте (в квадратных скобках приводятся номера источников, соответствующие номерам в списке рекомендуемой литературы).

В начале расчетно-пояснительной записки должны быть помещены титульный лист установленного образца, оглавление, исходные данные для выполнения курсового проекта.

Таблица 1

Порядко вый	Номер	Кол- во	Номер генпла	Номер ТЭЦ	Вид системы	Плотность населения,	Параметры теплоносителя	Материал тепловой	Район строительства
----------------	-------	------------	-----------------	--------------	----------------	-------------------------	----------------------------	----------------------	------------------------

номер по журналу	плана этажа	этаж	на			чел./га	я, τ_1 и τ_2 , °C	изоляции	а
1	1	5	1	1	открытая	300	150-70	ППУ	Смоленск
2	2	6	2	2	закрыва	280	150-70	МС-50	Тюмень
3	3	7	3	3	открытая	260	130-70	МС-35	Хабаровск
4	4	8	4	4	закрыва	270	130-70	ППУ	Оренбург
5	5	9	1	5	открытая	290	150-70	МС-50	Омск
6	6	10	2	1	закрыва	310	150-70	МС-35	Челябинск
7	7	11	3	2	открытая	330	130-70	ППУ	Астрахань
8	8	12	4	3	закрыва	350	150-70	МС-50	Саратов
9	9	13	1	4	открытая	360	130-70	МС-35	Казань
10	10	14	2	5	закрыва	340	150-70	ППУ	Киров
11	11	15	3	1	открытая	320	150-70	МС-50	Н.Новгород
12	12	16	4	2	закрыва	305	150-70	МС-35	Москва
13	13	16	1	3	открытая	285	150-70	ППУ	Иваново
14	14	15	2	4	закрыва	265	130-70	МС-50	Пенза
15	15	14	3	5	открытая	255	150-70	МС-35	Тула
16	16	13	4	1	закрыва	275	130-70	ППУ	Воронеж
17	17	12	1	2	открытая	295	130-70	МС-50	Рязань
18	18	11	2	3	закрыва	315	130-70	МС-35	Самара
19	19	10	3	4	открытая	335	150-70	ППУ	Брянск
20	20	9	4	5	закрыва	355	150-70	МС-50	Томск
21	21	8	1	1	закрыва	345	130-70	МС-35	Иркутск
22	22	7	2	2	открытая	33	130-70	ППУ	Курск
23	23	6	3	3	закрыва	310	150-70	МС-50	Чита
24	24	5	4	4	открытая	295	150-70	МС-35	Тверь
25	25	5	1	5	закрыва	250	130-70	ППУ	Чебоксары
26	26	6	2	1	открытая	260	150-70	МС-50	Барнаул
27	27	5	3	2	закрыва	270	130-70	МС-35	Волгоград
28	28	6	4	3	открытая	280	130-70	ППУ	Уфа
29	29	5	1	4	закрыва	290	150-70	МС-50	Красноярск
30	30	6	2	5	открытая	300	130-70	МС-35	Пермь

Расчетная часть записки должна содержать следующие разделы:

1. Предварительный гидравлический расчет разводящих трубопроводов системы горячего водоснабжения.
2. Окончательный гидравлический расчет разводящих трубопроводов горячего водоснабжения.
3. Гидравлический расчет циркуляционных трубопроводов ветви.
4. Определение расчетных тепловых нагрузок. Выбор схемы включения подогревателей горячего водоснабжения.
5. Расчет и построение графиков расхода теплоты.
6. Определение наружной температуры, соответствующей точке излома графика.
7. Определение температуры воды в подающей трубе теплосети в точке излома повышенного графика.
8. Тепловой расчет водонагревательной установки горячего водоснабжения.
9. Гидравлический расчет водонагревательной установки горячего водоснабжения.
10. Подбор водомера для горячего водоснабжения.

11. Определение требуемого напора холодного водопровода на вводе в ЦТП. Подбор циркуляционных насосов.
12. Определение часовых и годовых расходов теплоты.
13. Расчет и построение графиков регулирования отпуска теплоты.
14. Определение расчетных расходов теплоносителя в тепловых сетях.
15. Выбор конструкции тепловой сети и разработка монтажной схемы.
16. Гидравлический расчет водяных тепловых сетей.
17. Разработка графиков давлений и выбор схем присоединения абонентов к тепловым сетям.
18. Разработка и построение продольного профиля тепловых сетей.
19. Подбор основного оборудования теплоподготовительной установки ТЭЦ.
20. Механический расчет теплопроводов.
21. Тепловой расчет теплоизоляционной конструкции.

В тексте пояснительной записки помещаются следующие графики и схемы: расчетная схема главной ветви системы горячего водоснабжения микрорайона с указанием номеров участков, их длин и расходов теплоносителя; принципиальная схема ЦТП; суточный график расхода тепла на горячее водоснабжение; интегральный график расхода тепла на горячее водоснабжение; графики регулирования отпуска теплоты; графики расходов теплоносителя; расчетная схема тепловой сети; пьезометрический график.

Графическая часть проекта выполняется на двух листах бумаги формата А1. Графическое изображение проекций, обозначения, шрифты должны быть выполнены по правилам оформления строительных чертежей в соответствии с ГОСТ 21.605-82 «Сети тепловые (тепломеханическая часть)».

Графическая часть включает в себя:

- 1) план типового этажа с нанесением стояков, разводки и водоразборных приборов.
- 2) план подвала или чердака здания с нанесением разводящих и циркуляционных трубопроводов, ввода трубопроводов горячего водоснабжения и указанием диаметров участков.
- 3) аксонометрическую схему трубопроводов системы горячего водоснабжения здания с указанием номеров участков, диаметров труб и номеров стояков;
- 4) генеральный план тепловых сетей;
- 5) монтажную схему тепловой сети;
- 6) продольный профиль тепловой сети;
- 7) разрез по каналу;
- 8) аксонометрическую схему, план и разрез тепловой камеры.

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1. Предварительный гидравлический расчет разводящих трубопроводов .

Максимальный секундный расход воды на расчетном участке сети, л/с, при гидравлическом расчете теплопроводов системы горячего водоснабжения определяется по формуле:

$$q^h = 5 \cdot q_o^h \cdot \alpha \quad , \quad (1)$$

где q_o^h - секундный расход горячей воды водоразборным прибором с наибольшим расходом, л/с, принимаемый в соответствии с [7, прил.2];

α - коэффициент, определяемый по [7, прил.2] в зависимости от общего количества приборов N на расчетном участке сети и вероятности их действия P .

Вероятность действия санитарно-технических приборов на участках сети при одинаковых водопотребителях в здании без учета изменения U/N определяется по формуле:

$$P = \frac{q_{hr,u}^h \cdot U}{3600 \cdot q_o \cdot N} \quad , \quad (2)$$

где $q_{hr,u}^h$ - норма расхода горячей воды в литрах одним потребителем в час наибольшего водопотребления, принимаемая согласно [7, прил.3], для прибора с наибольшим расходом.

U - общее число жителей;

N - общее число водоразборных приборов.

Гидравлический расчет главной ветви проводят в два этапа:

1) предварительный расчет, для подбора диаметров труб системы горячего водоснабжения при скоростях воды в стояках до 1,3 м/с и в квартальных сетях и квартирных подводках к приборам до 2 м/с без учета циркуляционных расходов и зарастания труб накипью и шламом;

2) окончательный расчет, для определения потерь напора в главной ветви системы горячего водоснабжения при скоростях воды в стояках до 1,5 м/с и в квартальных сетях и квартирных подводках до 3 м/с с учетом циркуляционных расходов и их зарастания.

Предварительный гидравлический расчет трубопроводов главной ветви системы горячего водоснабжения микрорайона выполняют по форме 1.

Форма 1

Номер участка	Длина участка, м	Кол-во приборов N , шт	$N \cdot P$	α	Расход воды q , л/с	Диаметр d , мм	Скорость v , м/с	Удельные потери давления R , Па/м
---------------	------------------	--------------------------	-------------	----------	-----------------------	------------------	--------------------	-------------------------------------

2. Определение теплотерь и циркуляционных расходов.

Теплотери Q_{ht} , Вт, определяют по участкам с одинаковыми условиями теплообмена по формуле:

$$Q_{ht} = \pi \cdot d_n \cdot K \cdot L \cdot (t_m^h - t_{ок}) \cdot (1 - \eta), \quad (3)$$

где d_n - наружный диаметр трубопровода, м;

L - длина участка трубопровода, м;

K - коэффициент теплопередачи неизолированного теплопровода, $K=11,6$ Вт/(м² °С);

t_m^h - средняя температура горячей воды в подающих трубопроводах системы горячего водоснабжения: $t_m^h=60^\circ\text{C}$;

$t_{ок}$ - температура окружающей среды, °С;

η - КПД тепловой изоляции, усредненное значение $\eta=0,6...0,8$.

Температуру окружающей среды принимают в зависимости от места прокладки теплопровода. При прокладке теплопровода в шахтах санитарно-технических кабин, коммуникационных шахтах, каналах $t_{ок}=23^\circ\text{C}$, в ванных комнатах – 25°C , в кухнях и туалетных комнатах – 21°C , при прокладке в неотапливаемых подвалах – 5°C . В системах горячего водоснабжения с полотенцесушителями на подающих стояках к сумме теплотерь каждого стояка прибавляют потери теплоты полотенцесушителями, равные $100n$, где 100 Вт - усредненная теплоотдача одним полотенцесушителем, n - количество полотенцесушителей, присоединенных к стояку. При определении циркуляционных расходов воды потери теплоты циркуляционными теплопроводами не учитываются. При расчете систем горячего водоснабжения с полотенцесушителями на циркуляционных стояках целесообразно к сумме потерь теплоты подающими теплопроводами добавлять теплоотдачу полотенцесушителей. Расчет теплотерь подающими теплопроводами ведется по форме 2.

Форма 2

Номер участка	Длина участка L , м	Диаметр d_n , мм	Температура окр. среды $t_{ок}$, °С	$(t_m^h - t_{ок})$, °С	$(1-\eta)$	Потери теплоты на участке Q^{ht} , Вт	Суммарные потери теплоты $\sum Q^{ht}$, Вт
---------------	-----------------------	--------------------	--------------------------------------	-------------------------	------------	---	---

Циркуляционный расход воды в системе определяется при условии отсутствии водоразбора, исходя из теплотерь Q_{ht} , кВт, вследствие остывания горячей воды в подающих теплопроводах.

Циркуляционный расход q_{cir} , л/с, определяют по формуле

$$q_{cir} = \beta \cdot \Sigma Q_{ht} / (c \cdot \Delta t), \quad (4)$$

где β - коэффициент разрегулировки циркуляции;

$c = 4,19$ кДж/кг $^{\circ}$ С - удельная теплоемкость воды;

Δt - разность температур в подающих теплопроводах системы от водонагревателя до наиболее удаленной водоразборной точки.

Для систем с секционными узлами при их одинаковом сопротивлении теплотери Q_{ht} и циркуляционный расход q_{cir} следует определять при $\Delta t = 8,5^{\circ}$ С, $\beta = 1,3$; для отдельного водоразборного стояка или секционного узла $\Delta t = 8,5^{\circ}$ С, $\beta = 1$.

Расчет ведем в следующем порядке:

1. Определяем циркуляционный расход воды для всей системы горячего водоснабжения.
2. Циркуляционный расход на головном участке распределяем по участкам внутриквартальной сети пропорционально потерям теплоты в них.

3. Окончательный гидравлический расчет разводящих трубопроводов .

Гидравлический расчет систем горячего водоснабжения следует производить на расчетный расход горячей воды q^h с учетом циркуляционного расхода q_{cir} , л/с, определяемого по формуле:

$$q_{cir}^h = q^h \cdot (1 + K_{cir}), \quad (5)$$

где K_{cir} - коэффициент, определяемый в зависимости от соотношения расходов q^h / q_{cir} согласно [7, прил.5].

При окончательном гидравлическом расчете скорости воды рекомендуется принимать не более 1,5 м/с в стояках и магистралях и не более 2,5 м/с в подводках к приборам. Если скорость движения воды превышает допустимое значение, то увеличивают диаметр участка.

Поскольку расчетный расход горячей воды для участков внутридомовой сети от первого водоразборного стояка (по ходу движения воды) до самого удаленного водоразборного прибора определяется без учета циркуляционного расхода, т.е. $q_{cir}^h = q^h$, то гидравлический расчет этих участков корректировке не подлежит.

Окончательный гидравлический расчет подающих теплопроводов системы горячего водоснабжения ведется по форме 3. Потери напора по участкам определяются с учетом потерь давления в местных сопротивлениях по формуле:

$$\Delta P_i = R \cdot L \cdot (1 + k_1), \quad (6)$$

где R - удельные потери давления на трение, Па/м ;

L - длина участка трубопровода, м;

k_1 - коэффициент, учитывающий потери давления в местных сопротивлениях, равный: 0,2 - для распределительных трубопроводов; 0,5 - для теплопроводов в пределах теплового пункта, а также для водоразборных стояков с полотенцесушителями ; 0,1 - для водоразборных стояков без полотенцесушителей и циркуляционных стояков.

Форма 3

Но- мер уч-ка	Дли- на уч- ка L , м	q^h , л/с	q_{cir} л/с	K_{cir}	q_{cir}^h л/с	d_y , мм	R , Па/м	v , м/с	k_1	ΔP_1 , Па	$\Sigma \Delta P_{tot}$ кПа
---------------------	---------------------------------	----------------	------------------	-----------	--------------------	---------------	---------------	--------------	-------	----------------------	--------------------------------

4. Гидравлический расчет циркуляции в системе горячего водоснабжения.

Гидравлический расчет циркуляционных колец производится для режима циркуляции, т.е. при наибольшем циркуляционном расходе. Каждое циркуляционное кольцо состоит из теплопроводов: подающих теплопроводов, диаметры которых подобраны в режиме максимального водоразбора, и циркуляционных теплопроводов. В гидравлический расчет циркуляционных колец входят расчет потерь давления в подающих теплопроводах при условии отсутствия водоразбора и пропуска только циркуляционных расходов воды и расчет потерь давления в циркуляционных теплопроводах при пропуске циркуляционных расходов воды. Расчет производится аналогично расчету подающих теплопроводов. Диаметры сборного циркуляционного теплопровода и наиболее удаленного стояка следует принимать, исходя из допустимых скоростей движения воды. При этом диаметры циркуляционных теплопроводов должны быть на 1-2 калибра меньше диаметров соответствующих участков подающих теплопроводов. Циркуляционные стояки рассчитывают на разность давлений в местах соединения их с подающими стояками и циркуляционной магистралью. Разность потерь давления в различных циркуляционных кольцах допускается не более 10 %.

При невозможности увязки потерь давления путем изменения диаметров трубопроводов на участках циркуляционной сети предусматривают установку диафрагм у основания циркуляционных стояков. Диаметр отверстия диафрагмы d_d определяется по формуле:

$$d_d = 11,3 \cdot \sqrt[4]{q^2 / H_{ep}}, \quad (7)$$

где q - расход воды через диафрагму, м³/ч ;

H_{ep} - избыточный напор, который необходимо погасить диафрагмой, м.

Если при расчете диаметр отверстия диафрагмы получается менее 10 мм, допускается вместо нее устанавливать кран для погашения избыточного напора. Однако при установке диафрагм наблюдается увеличение зашламления и накипеобразования в этих местах, поэтому допускается производить увязку потерь давления в циркуляционных кольцах путем увеличения гидравлического сопротивления стояков, вводя в их нижнюю часть вставки из труб меньших диаметров.

Для систем горячего водоснабжения с секционными водоразборно-циркуляционными узлами при одинаковых диаметрах стояков расчет циркуляции рекомендуется осуществлять следующим образом. Сначала определяют циркуляционный расход для наиболее удаленного секционного узла, принимая значение $\sum Q_{\text{н}}$ равным потерям теплоты подающими теплопроводами всего узла, а перепад температуры Δt за счет остывания воды в водоразборно-циркуляционном узле на 2-3 °С меньше, чем перепад температуры во всей системе. В этом случае циркуляционные расходы для остальных узлов системы будут всегда больше, чем для наиболее удаленного, так как разность давлений в точках присоединения секционных узлов к подающему и циркуляционному теплопроводам будет увеличиваться по мере приближения секционных узлов к циркуляционному насосу. В целях повышения гидравлической устойчивости системы целесообразно принимать потери давления в циркуляционных стояках узлов достаточно большими по сравнению с потерями давления в сборных циркуляционных теплопроводах. Рекомендуется, чтобы при циркуляционном расходе потери давления в водоразборно-циркуляционном узле для закрытых систем были в пределах 0,03-0,06 МПа [7]. В системах горячего водоснабжения с непосредственным водоразбором из тепловой сети для открытых систем потери давления в циркуляционном кольце при циркуляционном расходе не должны превышать 0,02 МПа [7].

Гидравлический расчет циркуляционных теплопроводов ведется по форме 4. Номера участков имеют свою нумерацию, отличную от разводящей линии, и снабжаются индексом «Ц».

Форма 4

Номер уч-ка	Длина уч-ка	Цир. расход	Диаме тр D ,	Скоро сть	Удельные потери	k_1	Потери давления	Суммарные потери
----------------	----------------	----------------	-------------------	--------------	--------------------	-------	--------------------	---------------------

	$L, \text{ м}$	$q_{cir}, \text{ л/с}$	мм	$\nu, \text{ м/с}$	давления $R, \text{ Па/м}$		на уч-ке $\Delta P_l, \text{ Па}$	давления $\sum \Delta P_{l,tot}, \text{ кПа}$
--	----------------	------------------------	-------------	--------------------	-------------------------------	--	--------------------------------------	--

5. Определение расчетных тепловых нагрузок. Выбор схемы включения подогревателей горячего водоснабжения.

Максимальный часовой расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$, следует определять по формуле:

$$q_{hr}^h = 0,005 \cdot q_{o,hr}^h \cdot \alpha_{hr}, \quad (8)$$

где α_{hr} - коэффициент, определяемый согласно [7, прил.4] в зависимости от общего числа приборов, обслуживаемых проектируемой системой, и вероятности их использования;

$q_{o,hr}^h$ - часовой расход воды санитарно-техническим прибором, л/ч, принимаемый согласно [7, прил. 3].

Вероятность использования санитарно-технических приборов P_{hr} для системы в целом определяется по формуле:

$$P_{hr} = \frac{3600 \cdot P \cdot q_o^h}{q_{o,hr}^h}. \quad (9)$$

При величине $P_{hr} > 0,1$ и $N \leq 200$ коэффициент α_{hr} следует определять по табл.1 [7, прил. 4], при других значениях P_{hr} и N коэффициент α_{hr} следует определять по табл. 2 [7, прил.4].

Средний часовой расход воды q_T^h , $\text{м}^3/\text{ч}$, за период (сутки) T максимального водопотребления определяется по формуле:

$$q_T^h = \frac{q_{hu} \cdot U}{1000 \cdot T}, \quad (10)$$

где q_{hu} - норма расхода горячей воды, потребителем в сутки наибольшего водопотребления, л/сут, согласно [7, прил. 3];

U - число водопотребителей;

T - период водоразбора, ч, для жилых зданий $T=24$ ч.

Тепловой поток, кВт, за сутки максимального водопотребления на нужды горячего водоснабжения (с учетом теплопотерь) определяется по формуле

а) в течение среднего часа:

$$Q_T^h = 1,1 \cdot q_T^h \cdot (60 - t_c) + Q_{ht}, \quad (11)$$

б) в течение часа максимального водопотребления

$$Q_{hr}^h = 1,1 \cdot q_{hr}^h \cdot (60 - t_c) + Q_{ht}, \quad (12)$$

где t_c - температура холодной воды, °С, при отсутствии данных принимается равной +5°С для отопительного периода;

Q_{ht} - тепловые потери разводящими и циркуляционными трубопроводами горячего водоснабжения, кВт.

Максимальный (расчетный) тепловой поток, Вт, на отопление жилого здания определяется по формуле:

$$Q_o' = q_o \cdot V_n \cdot (t_i - t_o), \quad (13)$$

где q_o - удельная теплопотеря здания, Вт/($\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$), принимается по табл. 2;

V_n - наружный объем здания, м^3 ;

t_i - средняя температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, принимаемая для жилых и общественных зданий равной 18°С;

t_o - расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, °С.

Выбор схемы включения подогревателей горячего водоснабжения на ИТП производят согласно [8] на основе величины

$$\rho^M = Q_{hr}^h / Q_o', \quad (14)$$

Удельные теплотери зданий жилого назначения

Таблица 2

Наружный объем зданий V_n , м ³	Число секций	Этажность зданий	Удельная теплотерия зданий q_o , Вт/м ³ °C
5 900 - 9 300	2 - 3	5	0,49 - 0,45
12 700 - 16 000	4 - 5	5	0,43 - 0,42
до 25 800	4	9	0,43
38 500 - 51 100	6 - 8	9	0,42 - 0,385
14 200 - 27 700	2 - 4	12	0,48 - 0,42
24 100	2	16	0,56

При применении в тепловом пункте регуляторов расхода воды на отопление с регулированием отпуска теплоты в тепловых сетях по отопительному графику принимается схема:

для $\rho^m < 0,2$ и $\rho^m > 1$ - параллельная;

для $0,2 \leq \rho^m \leq 1$ - двухступенчатая смешанная.

При применении в тепловом пункте регуляторов расхода воды с регулированием отпуска теплоты в тепловых сетях по повышенному графику принимается схема:

для $\rho^m < 0,2$ и $\rho^m > 1$ - параллельная;

для $0,2 \leq \rho^m \leq 1$ - двухступенчатая последовательная.

При применении в тепловом пункте электронных регуляторов расхода теплоты на отопление независимо от графика регулирования отпуска теплоты принимается схема:

для $\rho^m < 0,2$ и $\rho^m > 1$ - параллельная;

для $0,2 \leq \rho^m \leq 1$ - двухступенчатая смешанная схема с ограничением максимального расхода воды из тепловой сети на ввод.

Выбор температурного графика регулирования производится согласно величине

$$\rho^{cp} = Q_T^h / Q_o^h. \quad (15)$$

В связи с тем, что повышенный график температур является экономически более выгодным, в настоящее время он обязателен во всех случаях, когда величина $\rho^{cp} \geq 0,15$.

При $\rho^{cp} < 0,15$ допускается применять отопительно-бытовой график температур [8].

6. Расчет и построение графиков расхода теплоты.

Для построения графиков необходимо предварительно составить таблицу расходов теплоты на горячее водоснабжение по часам суток по форме 5. В части строк в графе 4 указаны проценты часового расхода теплоты за отдельные периоды суток, которых следует придерживаться. Остальные строки следует заполнить как промежуточные таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$\Sigma(QQ)/24 = 2400/24 = 100\%, \quad (16)$$

где Q - расход теплоты, %.

Величину часовой неравномерности $K_{ч}$ следует определять по формуле:

$$K_{ч} = Q_{hr}^h / Q_T^h, \quad (17)$$

где Q_{hr}^h, Q_T^h - максимальный и среднечасовой расходы теплоты на горячее водоснабжение, кВт.

После заполнения графы 4 следует проверить по формуле (16) правильность выбранных процентов Q . В графе 8 указывают последовательно суммируемые расходы теплоты графы 6.

По данным графы 5 строят суточный график расхода теплоты на горячее водоснабжение в координатах Q , кВт - n , ч/сутки; по данным графы 8 строят интегральный график расхода теплоты на горячее водоснабжение в координатах Q , кВт · ч - n , ч/сутки.

Форма 5

Расходы теплоты на горячее водоснабжение по часам суток.

Но- мер	Периоды часов суток	Кол- во	Расход теплоты Q			Нарастающий период	
			%	кВт	за период	час	кВт · час

п/п	с одинаковыми расходами	часов Y			кВт · час		
1	0-1	1	60			1	
2	1-6	5	10			6	
3	6-7	1	50			7	
4	7-9	2				9	
5	9-13	4	120			13	
6	13-16	3				16	
7	16-18	2	100			18	
8	18-20	2				20	
9	20-22	2	$K_q \cdot 100$			22	
10	22-23	1				23	
11	23-24	1	100			24	

7. Определение температуры наружного воздуха, соответствующей точке излома графика температур.

Наружная температура t_o'' определяется из уравнения температуры воды после отопления τ_{02}'' в точке излома графика:

$$\tau_{02}'' = \tau_{01}'' - \delta\tau_o' \cdot \overline{Q_o''}, \quad (18)$$

где τ_{01}'' - температура воды в подающей трубе в точке излома нормального отопительного графика, равная 70°C;

$\delta\tau_o'$ - расчетный перепад температур воды в тепловой сети, при температурном графике 150-70°C $\delta\tau_o' = 150 - 70 = 80$ °C;

$\overline{Q_o''}$ - относительный расход теплоты на отопление в точке излома графика температур, равный

$$\overline{Q_o''} = (t_i - t_n'') / (t_i - t_o), \quad (19)$$

t_i - средняя температура внутреннего воздуха, для жилых зданий - 18°C;

t_n'' - наружная температура, соответствующая точке излома ;

t_o - расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления.

В точке излома графика $\tau_{02}'' = 41,7$ °C.

Тогда $t_n'' = 18 - 0,353(18 - t_o)$. (20)

8. Определение температуры воды в подающей трубе теплосети в точке излома повышенного графика.

Промежуточная температура нагреваемой воды после I ступени при балансовой нагрузке горячего водоснабжения в точке излома

$$t_n^{\delta''} = \tau_{02}'' - \Delta t_n'', \quad (21)$$

где $\Delta t_n''$ - недогрев нагреваемой воды до температуры греющей в I ступени в точке излома графика, принимаемый 5÷10°C.

Перепад температур греющей воды в I ступени будет равен

$$\delta_1'' = \frac{Q_h^{\delta}}{Q_o'} \cdot \left(\frac{t_n^{\delta''} - t_c}{t_h - t_c} \right) \cdot (\tau_1' - \tau_2'), \quad (22)$$

где Q_h^{δ} - балансовый расход теплоты на горячее водоснабжение, $Q_h^{\delta} = 1,2 \cdot Q_T^h$.

Суммарный перепад температур греющей воды в I и II ступенях при Q_h^{δ} определяется по формуле:

$$\delta = \delta_I^h + \delta_{II}^h = \frac{Q_6^h}{Q_o} \cdot (\tau_1' - \tau_2'). \quad (23)$$

Перепад температур греющей воды во II ступени при t_o'' определяется по формуле:

$$\delta_{II}'' = \delta - \delta_I''. \quad (24)$$

Температура воды в подающем трубопроводе в точке излома повышенного графика составит

$$\tau_1'' = \tau_{o1}'' + \delta_{II}''. \quad (25)$$

9. Тепловой расчет водонагревателей системы горячего водоснабжения.

В закрытых водяных системах для горячего водоснабжения жилых зданий применяют секционные скоростные подогреватели. В подогревателях горячего водоснабжения греющая (сетевая) вода пропускается по межтрубному пространству. Этим достигается, во-первых, выравнивание скоростей сетевой и местной воды, так как расход сетевой воды обычно больше, чем расход местной воды. Во-вторых, осаждение накипи внутри трубок легче обнаруживается и удаляется, чем в межтрубном пространстве.

Тепловой расчет водонагревателей системы горячего водоснабжения проводят в зависимости от схемы включения. Расчетную производительность водонагревателей систем горячего водоснабжения с учетом потерь тепла подающими и циркуляционными трубопроводами Q_h , Вт, следует принимать:

- при наличии баков-аккумуляторов нагреваемой воды - по среднечасовым расходам тепла на горячее водоснабжение Q_T^h ;
- при отсутствии баков-аккумуляторов нагреваемой воды - по максимально часовым расходам на горячее водоснабжение Q_{hr}^h .

9.1. Подбор секционных водоводяных подогревателей для горячего водоснабжения при параллельной схеме.

Определяется расчетный расход:

- 1) сетевой (первичной) воды на горячее водоснабжение, кг/ч:

$$G^{h1} = \frac{Q_{hr}^h \cdot 3600}{c \cdot (\tau_1'' - \tau_3'')}, \quad (26)$$

где $\tau_1'' = 70^\circ\text{C}$, $\tau_3'' = 30^\circ\text{C}$, согласно [8];

- 2) нагреваемой (вторичной) воды, кг/ч:

при отсутствии баков-аккумуляторов

$$G^{h2} = \frac{Q_{hr}^h \cdot 3600}{c \cdot (t_h - t_c)}, \quad (27)$$

при наличии баков-аккумуляторов

$$G^{h2} = \frac{Q_T^h \cdot 3600}{c \cdot (t_h - t_c)}. \quad (28)$$

Среднелогарифмическая разность температур между греющим и нагреваемым теплоносителями:

$$\Delta t_m = \frac{(\tau_3'' - t_c) - (\tau_1'' - t_h)}{\ln \frac{(\tau_3'' - t_c)}{(\tau_1'' - t_h)}} \quad (29)$$

Средние температуры сетевой и нагреваемой воды:

$$\tau_m = (\tau_1'' + \tau_3'')/2, \quad (30)$$

$$t_m = (t_c - t_h)/2. \quad (31)$$

Задаваясь скоростью сетевой и нагреваемой воды $v_{тр} = v_{мг} = 1 \text{ м/с}$, определяется требуемая площадь живого сечения межтрубного пространства и трубок подогревателя, м^2 :

$$f_{\text{мт}} = G^{h1} / (3600 \cdot v_{\text{мт}} \cdot 10^3), \quad (32)$$

$$f_{\text{тр}} = G^{h1} / (3600 \cdot v_{\text{тр}} \cdot 10^3). \quad (33)$$

Подбирается наиболее близкий типоразмер секционного водоводяного подогревателя для горячего водоснабжения, находятся действительные значения поверхности нагрева одной секции $F_{\text{секц}}$, м^2 , площади живого сечения трубок $f_{\text{тр}}$, м^2 , площади межтрубного пространства $f_{\text{мт}}$, м^2 и эквивалентного диаметра межтрубного пространства d_3 , мм:

$$d_3 = (D_i^2 - n \cdot d_e^2) / (D_i^2 + n \cdot d_e^2), \quad (34)$$

где D_i - внутренний диаметр корпуса, мм; n - количество трубок; d_e / d_i - диаметр трубок, мм.

Определяются:

1) действительные значения скорости воды, м/с

- в трубках: $v_{\text{тр}} = G^{h2} / (3600 \cdot f_{\text{тр}} \cdot 10^3), \quad (35)$

- в межтрубном пространстве: $v_{\text{мт}} = G^{h2} / (3600 \cdot f_{\text{мт}} \cdot 10^3); \quad (36)$

2) коэффициент теплоотдачи сетевой воды к стенкам трубок, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$:

$$\alpha_{\text{мт}} = 1,16 \cdot (1210 + 18\tau_m - 0,038\tau_m^2) \cdot v_{\text{мт}}^{0,8} / d_3^{0,2}; \quad (37)$$

3) коэффициент теплоотдачи от стенок трубок к нагреваемой воде, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

$$\alpha_{\text{тр}} = 1,16 \cdot (1210 + 18t_m - 0,038t_m^2) \cdot v_{\text{тр}}^{0,8} / d_i^{0,2}; \quad (38)$$

4) коэффициент теплопередачи подогревателя, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

$$k = \frac{\beta}{1/\alpha_{\text{мт}} + \delta_{\text{ст}}/\lambda_{\text{ст}} + \delta_{\text{н}}/\lambda_{\text{н}} + 1/\alpha_{\text{тр}}}; \quad (39)$$

где $\delta_{\text{ст}}$ - толщина стенки трубки, равная 0,001 м ;

$\lambda_{\text{ст}} = 104,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ - коэффициент теплопроводности латуни;

$\delta_{\text{н}} = 0,0005 \text{ м}$ - толщина накипи;

$\lambda_{\text{н}} = 2,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ - коэффициент теплопроводности слоя накипи;

$\beta = 0,95$ - коэффициент учитывающий неоднородность трубного пучка.

5) требуемая площадь поверхности нагрева секционного водоводяного подогревателя, м^2 , и требуемое число секций, шт:

$$F = Q_{hr}^h \cdot 10^3 / (k \cdot \Delta t_m), \quad (40)$$

$$Z = F / F_{\text{сек}}, \quad (41)$$

где $F_{\text{сек}}$ - площадь поверхности нагрева одной секции, м^2 .

К установке принимается целое число секций.

9.2 Подбор секционных водоводяных подогревателей для горячего водоснабжения при двухступенчатой смешанной схеме.

Определяется:

1) расход сетевой воды на отопление, кг/ч:

$$G_o' = \frac{Q_o' \cdot 3600}{c \cdot (\tau_1' - \tau_2')}; \quad (42)$$

2) промежуточная температура нагреваемой воды после I ступени в точке излома графика, $^\circ\text{C}$:

$$t_{\text{п}}'' = \tau_2'' - \Delta t_{\text{н}}, \quad (43)$$

где $\Delta t_{\text{н}}$ - температурный перепад, принимаемый равным 10°C при отсутствии и 5°C при наличии баков аккумуляторов.

3) тепловая производительность I и II ступеней при Q^h в точке излома графика, Вт:

$$Q_1^{h''} = (c \cdot G^{h2} / 3600) \cdot (t_{\text{п}}'' - t_c); \quad (44)$$

$$Q_{\text{II}}^{h''} = Q^h - Q_1^{h''}, \quad (45)$$

где G^{h2} - расход нагреваемой воды, определяемый по формуле (27) при отсутствии и по формуле (28) при наличии баков-аккумуляторов, кг/ч.

4) температура греющей воды после II ступени при $Q_{II}^{h'}$ в точке излома, °C

$$\tau_2^{II''} = \tau_1'' - \frac{3600 \cdot Q_{II}^{h''}}{c \cdot G^{h2}}, \quad (46)$$

где G^{h2} - расход нагреваемой воды, кг/ч.

Обычно температура греющей воды на входе в I ступень $\tau_2^{II''} \approx \tau_2''$; если они отличаются более чем на °C, определяют средневзвешенную температуру, °C, и используют ее в формуле (47) вместо τ_2'' : $\tau_2^{B3''} = (\tau_h'' \cdot G^{h2} + \tau_o'' \cdot G_o') / (G^{h2} + G_o')$ (47)

5) расход греющей воды на I и II ступени водонагревателя, кг/ч:

$$G_1^{h1} = \frac{3600 \cdot (Q_o'' + Q_{II}^{h''})}{c \cdot (\tau_1'' - \tau_2'')}, \quad (48)$$

$$G_{II}^{h1} = \frac{3600 \cdot Q_{II}^{h'}}{c \cdot (t_h'' - t_{II}''')}, \quad (49)$$

где $Q_o'' = Q_o' \cdot (t_i - t_h'') / (t_i - t_o)$ - расход теплоты на отопление при наружной температуре t_h'' , соответствующей точке излома графика.

6) температура греющей воды после I ступени в точке излома, °C:

$$\tau_2^{I''} = \tau_2'' - (3600 \cdot Q_1^{h''} / G_1^{h1}). \quad (50)$$

7) температурный напор I и II ступеней в точке излома, °C:

$$\Delta t_I'' = \frac{\Delta t_{\delta I}'' - \Delta t_{mI}''}{\ln(\Delta t_{\delta I}'' / \Delta t_{mI}'')}; \quad (51)$$

$$\Delta t_{II}'' = \frac{\Delta t_{\delta II}'' - \Delta t_{mII}''}{\ln(\Delta t_{\delta II}'' / \Delta t_{mII}'')}. \quad (52)$$

Задаваясь скоростью сетевой и нагреваемой воды $v_{тр} = v_{мг} = 1$ м/с, определяется требуемая площадь живого сечения межтрубного пространства и трубок подогревателя I ступени, м²:

$$f_{мг} = G_1^{h1} / (3600 \cdot v_{мг} \cdot 10^3); \quad (53)$$

$$f_{тр} = G_1^{h1} / (3600 \cdot v_{тр} \cdot 10^3). \quad (54)$$

Подбирается наиболее близкий типоразмер секционного водоводяного подогревателя для горячего водоснабжения, находятся действительные значения поверхности нагрева одной секции $F_{сек,2}$ м², площади живого сечения трубок $f_{тр}$, м², площади межтрубного пространства $f_{мг}$, м² и эквивалентного диаметра межтрубного пространства d , по формуле (34), мм.

Действительная скорость нагреваемой воды в трубках I и II ступеней, м/с:

$$v_{тр} = G^{h2} / (3600 \cdot f_{тр} \cdot 10^3). \quad (55)$$

Действительная скорость греющей воды в межтрубном пространстве I и II ступеней, м/с:

$$v_{мгI} = G_1^{h1} / (3600 \cdot f_{мг} \cdot 10^3); \quad (56)$$

$$v_{мгII} = G_{II}^{h1} / (3600 \cdot f_{мг} \cdot 10^3). \quad (57)$$

Средние температуры греющей и нагреваемой воды в I ступени подогревателя, °C:

$$\tau_{mI}'' = (\tau_2^{II''} + \tau_2^{I''}) / 2; \quad (58)$$

$$t_{mI} = (t_c + t_{II}''') / 2. \quad (59)$$

Средние температуры греющей и нагреваемой воды во II ступени подогревателя, °C:

$$\tau_{mII}'' = (\tau_1'' + \tau_2^{II''}) / 2; \quad (60)$$

$$t_{mII} = (t_{II}'' + t_h'') / 2. \quad (61)$$

8) коэффициенты теплоотдачи от греющей воды к стенкам трубок $\alpha_{\text{мП}}$ (I ступени) и $\alpha_{\text{мП}}$ (II ступени), коэффициенты теплоотдачи от стенок трубок к нагреваемой воде $\alpha_{\text{трП}}$ (I ступени) и $\alpha_{\text{трП}}$ (II ступени), коэффициенты теплопередачи k_I (I ступени) и k_{II} (II ступени) по формулам 37, 38, 39.

9) требуемая площадь поверхности нагрева секционного водяного подогревателя I и II ступеней и требуемое число секций

$$F_I = Q_I^{h''} \cdot 10^3 / (k_I \cdot \Delta t_I''); \quad (62)$$

$$F_{II} = Q_{II}^{h''} \cdot 10^3 / (k_{II} \cdot \Delta t_{II}''); \quad (63)$$

$$Z_I = F_I / F_{\text{сек}}; \quad (64)$$

$$Z_{II} = F_{II} / F_{\text{сек}}. \quad (65)$$

К установке принимается целое число секций.

10. Гидравлический расчет водонагревательной установки горячего водоснабжения.

Потери напора, м.вод.ст., нагреваемой воды в трубном пространстве обеих ступеней водонагревательной установки определяют по формуле:

$$H_{I+II} = x \cdot m \cdot v^2 \cdot n_{I+II}, \quad (66)$$

где x - коэффициент, учитывающий увеличение потерь давления в водонагревателе за счет зарастания накипью, принимаемый при чистке подогревателей один раз в год $x = 4$;

m - коэффициент гидравлического сопротивления одной секции водонагревателя, принимаемый равным $m = 0,75$ при ее длине 4м;

v - скорость движения воды в трубках водонагревателя без учета их зарастания, м/с;

n_{I+II} - суммарное число секций в I и II ступенях водонагревателя.

11. Подбор водомера для горячего водоснабжения.

Водомер для горячего водоснабжения устанавливается в ЦТП перед I ступенью подогревателя на трубопроводе холодной воды. Водомеры бывают крыльчатые и турбинные. Их подбирают по расчетному расходу воды, м³/ч, согласно табл. 3.

Таблица 3

Счетчики расхода воды

Счетчик		Расход воды			Постоянная гидросопротивления счетчика S, $\frac{м}{\left(м^3/ч\right)^2}$
Тип	Калибр мм	номинальный м ³ /ч	допустимый		
			максимальный в сутки, м ³	нижний предел измерения, м ³ /ч	
Крыльчатый	20	1,6	10	0,06	5,1
	25	2,5	14	0,06	2,64
	32	4	20	0,105	1,3
	40	6,3	40	0,17	0,32
	50	10	60	0,22	0,0265
Турбинный	50	15	140	3	0,0265
	80	45	500	6	0,00207
	100	75	880	8	0,000675
	150	160	2000	12	0,00013
	200	265	3400	18	0,0000453

Потерю напора в водомере H_s , м.вод.ст., определяют по формуле:

$$H_s = S \cdot (q_{hr}^h)^2, \quad (67)$$

где q_{hr}^h - максимальный расход горячей воды, м³/ч.

При расчетах допускают потерю напора в крыльчатых водомерах до 2,5 м, в турбинных - до 1 м.

12. Определение требуемого напора холодного водопровода на вводе в ЦТП. Подбор циркуляционных насосов.

Требуемый напор холодного водопровода должен определяться из условий горячего водоснабжения, так как из-за наличия подогревателя потери напора значительно выше, чем в системе холодного водоснабжения.

Требуемый напор холодного водопровода $H_{\text{треб}}$, м.вод.ст., на вводе в ЦТП составит

$$H_{\text{тр}} = H_{\text{geom}} + H_{\text{I+II}} + \sum \Delta H_{\text{I,tot}} + H_s + H_{\text{ок}} + H_f, \quad (68)$$

где H_{geom} - геометрическая высота подъема воды, т.е. высота душевой сетки верхнего этажа здания над уровнем водопроводного ввода в ЦТП;

$H_{\text{I+II}}$ - потери напора в трубном пространстве I и II ступеней подогревателя при максимальном режиме водоразбора;

$\sum \Delta H_{\text{I,tot}}$ - потери напора в разводящих трубопроводах главной ветви сети;

H_s - потери напора в водомере;

$H_{\text{ок}} = 0,5$ м - потери напора в обратном клапане;

H_f - свободный напор на излив, принимаемый $2 \div 3$ м.

Если напор холодного водопровода у ЦТП больше требуемого насосы устанавливаются только для циркуляции. Расчетный напор, м, циркуляционных насосов определяется по формуле:

$$H = \sum \Delta H_{\text{II}}^{\text{cir}} \cdot \left(\frac{x \cdot q^h + q^{\text{cir}}}{q^{\text{cir}}} \right)^2 + \sum \Delta H_{\text{II}}^{\text{cir}}, \quad (69)$$

где $\sum \Delta H_{\text{II}}^{\text{cir}}$ - потери напора в подающем теплопроводе и II ступени водоподогревательной установки в режиме циркуляции, м;

$\sum \Delta H_{\text{II}}^{\text{cir}}$ - потери напора в циркуляционном теплопроводе, м;

$(x \cdot q^h + q^{\text{cir}})$ - расход воды в системе в режиме частичного водоразбора с циркуляцией, кг/ч;

x - доля максимального водоразбора, принимаемая для систем горячего водоснабжения протяженностью до 60 м равной 0,15, для систем протяженностью 100÷150 м - 0,2÷0,3, для квартальных систем - 0,5÷0,7, согласно [2].

Если напор холодного водопровода у ЦТП меньше требуемого, циркуляционные насосы устанавливаются для циркуляции и подкачки (повысительно-циркуляционные). Подача насосов в этом случае будет равна сумме расчетного и циркуляционного расходов горячей воды.

Расчетный напор повысительно-циркуляционных насосов равен недостающему напору на вводе в ЦТП:

$$H = H_{\text{тр}} - H_{\text{д}}, \quad (70)$$

где $H_{\text{д}}$ - действительный (существующий) напор холодного водопровода на вводе в ЦТП, м.

В качестве циркуляционных или повысительных используют насосы типа К, КМ, ВК, ЦВЦ. Число насосов не должно быть менее двух, один из них является резервным. Если в номенклатуре насосов нет подходящего по параметрам, то можно применить последовательное включение как рабочих, так и резервных насосов, имея в виду, что напоры при этом складываются. Возле циркуляционного насоса необходимо предусмотреть запорную арматуру для переключения на резервный, а также обратный клапан.

В курсовой работе условно принято, что требуемый напор холодного водопровода у ЦТП не больше действительного.

13. Определение часовых и годовых расходов теплоты.

Расчетные расходы теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение определяют для каждого квартала по укрупненным показателям, согласно [8]. Тепловые потоки определяют, исходя из величин жилой площади и плотности населения по заданию. Для этого по генплану определяют площади селитебной и промышленной зон. Все административно-общественные здания в селитебной зоне равномерно распределены по району. Расчет ведется по форме 1.

Форма 1

Номер квартала	Площадь квартала, га	Количество проживающих людей	Жилая площадь квартала
Итого			

Число жителей определяется по формуле:

$$m = P \cdot F, \quad (71)$$

где P – плотность населения, чел./га;

F – площадь застраиваемых кварталов, га (по генплану).

Общая жилая площадь квартала:

$$A = m \cdot f, \quad (72)$$

где f – норма общей площади жилого здания на одного человека (9 - 12 м²).

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

$$Q_{o,max} = q_o \cdot A(1 + K_1), \quad (73)$$

где q_o – укрупненный показатель максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1 м² общей площади, Вт/м², принимается по [8, прил.];

A – общая площадь жилых зданий, м²;

$K_1=0,25$ – коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий [8].

Максимальный тепловой поток, Вт, на вентиляцию общественных зданий:

$$Q_{v,max} = q_o \cdot A \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (74)$$

где $K_2=0,6$ – коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию общественных зданий [8].

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

$$Q_{hm} = \frac{1,2 \cdot m \cdot c \cdot (a + b) \cdot (60 - t_c)}{24 \cdot 3,6} \quad (75)$$

или

$$Q_{hm} = q_h \cdot m, \quad (76)$$

где q_h – укрупненный показатель среднего теплового потока на горячее водоснабжение на одного человека, принимается по [2, прил. 3];

m – число жителей в квартале;

a – норма расхода воды на горячее водоснабжение при температуре 60 °С на одного человека в сутки, проживающего в здании с горячим водоснабжением, принимается в зависимости от степени комфортности зданий в соответствии с [8];

b – норма расхода воды на горячее водоснабжение, потребляемой в общественных зданиях, при температуре 60 °С, принимаемая в размере 25 л/сут на одного человека;

t_c – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период, принимаемая равной 5 °С;

c – удельная теплоемкость воды, принимаемая в расчетах равной 4,187 КДж/(кг°С).

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

$$Q_{h,max} = 2,4 \cdot Q_{hm}. \quad (77)$$

Определяя расчетный расход теплоты для района города, учитывают, что при транспорте теплоносителя происходят потери теплоты в окружающую среду, которые принимаются равными 5% тепловой нагрузки. Поэтому суммарные расходы теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение умножают на коэффициент 1,05.

Расчет теплопотребления ведем по форме 2.

Форма 2

Номер кварта ла	Расходы теплоты, кВт				
	$Q_{o,max}$	$Q_{v,max}$	Q_{hm}	$Q_{h,max}$	ΣQ
1	2	3	4	5	6

Годовой расход теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий, кДж:

$$Q_{oy} = 86,4 \cdot Q_{om} \cdot n_o; \quad (78)$$

$$Q_{vy} = 3,6 \cdot Z \cdot Q_{vm} \cdot n_o; \quad (79)$$

$$Q_{hy} = 86,4 \cdot Q_{hm} \cdot n_o + 86,4 \cdot Q_{hm}^s \cdot (n_{hy} - n_o). \quad (80)$$

Здесь Q_{om} , Q_{vm} – средний тепловой поток на отопление и вентиляцию за отопительный период:

$$Q_{om} = Q_{o,max} \cdot \frac{(t_i - t_{om})}{(t_i - t_o)}, \quad (81)$$

$$Q_{vm} = Q_{v,max} \cdot \frac{(t_i - t_{om})}{(t_i - t_o)}, \quad (82)$$

n_o – продолжительность отопительного периода, сут;

t_{om} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период,

Z – усредненное за отопительный период число часов работы систем вентиляции общественных зданий в течение суток, $Z=16$, по [8];

n_{hy} – расчетное число суток в году работы системы горячего водоснабжения, 350 сут.

Для промышленных предприятий расходы теплоты определяются исходя из числа дней работы предприятия в году, количества смен работы в сутки с учетом режима теплопотребления (по технологическим картам или ведомственным нормам).

После определения расчетного теплопотребления приступают к построению графиков часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение в зависимости от температуры наружного воздуха. По оси абсцисс откладывают температуру наружного воздуха от $t_n = 8^\circ\text{C}$ до t_o , по оси ординат – часовые расходы теплоты. Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение – круглогодичная, в течение отопительного периода условно принимается постоянной, не зависящей от температуры наружного воздуха. Поэтому график часового расхода теплоты на горячее водоснабжение представляет собой прямую, параллельную оси абсцисс.

Суммарный график часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение строится путем сложения соответствующих ординат при $t_n = 8^\circ\text{C}$, t_o .

График годового расхода теплоты по продолжительности стояния температур наружного воздуха строится на основании графика суммарных часовых расходов теплоты и состоит из двух частей: правой – графика зависимости суммарных часовых расходов теплоты от температуры наружного воздуха и левой – годового графика расхода теплоты. На последнем по оси ординат откладывается расход теплоты, по оси абсцисс – число часов стояния температур наружного воздуха, которое за отопительный период для заданного города определяют по [2].

Для построения графика годовой тепловой нагрузки из точек на оси абсцисс графика часового расхода теплоты, соответствующих температурам $+8, 0, -5, -10, -15, -20, -25, t_o$ $^\circ\text{C}$, восстанавливаем перпендикуляры до пересечения с линией суммарного расхода

теплоты ΣQ . Из полученных точек проводим горизонтальные прямые до пересечения с перпендикулярами, восстановленными к оси абсцисс из точек, соответствующих продолжительности стояния температур наружного воздуха. Соединив найденные точки, получим искомый график годового расхода теплоты за отопительный период.

14. Расчет и построение графиков регулирования отпуска теплоты

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

- центральное регулирование производят на ТЭЦ или в котельной по преобладающей тепловой нагрузке района;
- групповое или местное регулирование – в узлах присоединения отдельных видов тепловых нагрузок;
- индивидуальное регулирование – непосредственно у тепло-потребляющих приборов.

Применение многоступенчатого регулирования приводит к снижению расхода теплоты на отопление за счет ликвидации "перетоков" зданий в диапазоне от $+8^{\circ}\text{C}$ до температуры наружного воздуха, соответствующей точке излома графика температур воды, и к снижению расхода теплоносителя на единицу отпущенной теплоты.

Согласно [4] в водяных тепловых сетях следует применять центральное качественное регулирование отпуска теплоты путем изменения температуры теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха.

14.1. Регулирование отпуска теплоты в закрытых системах теплоснабжения

В водяных тепловых сетях принимают центральное качественное регулирование отпуска теплоты по нагрузке отопления или по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

Если тепловая нагрузка на жилищно-коммунальные нужды составляет менее 65% суммарной тепловой нагрузки, а $\rho^{\text{cp}} = Q_{\text{hm}}/Q_{o,\text{max}} < 0,15$, регулирование отпуска теплоты принимают по нагрузке отопления. При этом в тепловой сети поддерживается отопительно-бытовой температурный график.

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

Для зависимых схем присоединения отопительных установок к тепловым сетям температуру воды в подающей $\tau_{1,o}$ и обратной $\tau_{2,o}$ магистралях в течение отопительного периода, т.е. в диапазоне температур наружного воздуха от $+8^{\circ}\text{C}$ до t_o , рассчитывают по выражениям:

$$\tau_{1,o} = t_i + \Delta t_o' \left(\frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right)^{0,8} + (\delta \tau_o' - 0,5 \Theta') \cdot \left(\frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right); \quad (83)$$

$$\tau_{2,o} = t_i + \Delta t_o' \left(\frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right)^{0,8} - 0,5 \Theta' \left(\frac{t_i - t_n}{t_i - t_o} \right). \quad (84)$$

Здесь t_i – расчетная температура внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

t_n – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta t_o'$ – температурный напор отопительного прибора, $^{\circ}\text{C}$,

$$\Delta t_o' = \frac{\tau_{3,o}' + \tau_{2,o}'}{2} - t_i,$$

где $\tau_{3,o}'$ – температура воды в подающем трубопроводе системы отопления после элеватора при t_o , $^{\circ}\text{C}$;

$\tau'_{2,o}$ – температура воды в обратном трубопроводе после системы отопления при t_o , °C;
 $\delta\tau'_o$ – расчетный перепад температур воды в тепловой сети, °C,

$$\delta\tau'_o = \tau'_{1,o} - \tau'_{2,o},$$

где $\tau'_{1,o}$ – температура воды в подающем трубопроводе тепловой сети при расчетной температуре наружного воздуха t_o ;

Θ' – расчетный перепад температур воды в местной системе отопления, °C,

$$\Theta' = \tau'_{3,o} - \tau'_{2,o}.$$

Задаваясь различными значениями температуры наружного воздуха t_n в пределах от +8 °C до t_o , определяют $\tau'_{1,o}$, $\tau'_{2,o}$ и строят отопительный график температур воды в подающей и обратной магистралях тепловой сети.

Так как по тепловым сетям одновременно подается теплота на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, для удовлетворения тепловой нагрузки горячего водоснабжения необходимо внести коррективы в отопительный график температур воды. Так как температура горячей воды в водоразборных стояках системы горячего водоснабжения должна быть не менее 60 °C, то температура нагреваемой воды на выходе из водоподогревателя горячего водоснабжения должна быть 60-65 °C. Поэтому минимальная температура сетевой воды в подающей магистрали принимается равной 70 °C для закрытых систем теплоснабжения. Для этого отопительный график срезается на уровне 70 °C, полученный график температур воды в тепловой сети называется отопительно-бытовым. Температура наружного воздуха, соответствующая точке излома графика, обозначается t_n'' . Точка излома графика делит его на две части с различными режимами регулирования: в диапазоне температур наружного воздуха от t_n'' до t_o осуществляется центральное качественное регулирование отпуска теплоты, в диапазоне температур от +8 °C до t_n'' осуществляется местное регулирование всех видов тепловых нагрузок.

В I диапазоне температур наружного воздуха от $t_n = +8$ °C до t_n'' , когда температура сетевой воды в подающей магистрали остается постоянной, осуществляется местное количественное регулирование отопительной нагрузки и расход сетевой воды на отопление определяют по выражению:

$$G_o = G_{o,max} \cdot \frac{(t_i - t_n)}{(t_i - t_n'')}, \quad (85)$$

где $G_{o,max}$ – расчетный расход воды на отопление.

Во II диапазоне температур наружного воздуха от t_n'' до t_n в системе поддерживается центральное качественное регулирование отопительной нагрузки и расход сетевой воды на отопление поддерживается постоянным с помощью регулятора расхода (РР), равным расчетному G_o .

По рассчитанным значениям расхода воды на отопление строят график: $G_o = f(t_n)$.

В системах теплоснабжения с жилищно-коммунальной нагрузкой более 65% суммарной тепловой нагрузки, а также при $\rho^{cp} = Q_{hm}/Q_{o,max} \geq 0,15$ принимают центральное качественное регулирование отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

Применение данного метода регулирования отпуска теплоты позволяет рассчитывать магистральные теплопроводы по суммарному расходу сетевой воды на отопление и вентиляцию, не учитывая расход воды на горячее водоснабжение. Для удовлетворения нагрузки горячего водоснабжения температура воды в подающей магистрали принимается выше, чем по отопительному графику, и большинство потребителей системы отопления и горячего водоснабжения должны присоединяться к тепловой сети по принципу связанной подачи теплоты. При этом строительные конструкции зданий служат аккумуляторами

теплоты, выравнивающими неравномерность суточного графика тепловой нагрузки горячего водоснабжения.

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

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

$$Q_{hm}^{\delta} = \chi^{\delta} \cdot Q_{hm}, \quad (86)$$

где χ^{δ} – балансовый коэффициент, учитывающий неравномерность расхода теплоты на горячее водоснабжение в течение суток, принимается $\chi^{\delta} = 1,2$.

Суммарный перепад температур сетевой воды в водоподогревателях верхней и нижней ступеней δ в течение всего отопительного периода постоянен и определяется согласно [4] по формуле:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = (Q_{hm}^{\delta} / Q_{o,max}) (\tau_{1,o}' - \tau_{2,o}'). \quad (87)$$

Задаваясь величиной недогрева водопроводной воды до температуры греющей воды в нижней ступени водоподогревателя $\Delta t_n'' = 5 - 10^{\circ}\text{C}$, определяют температуру нагреваемой водопроводной воды после нижней (первой) ступени водоподогревателя t_n'' при температуре наружного воздуха, соответствующей точке излома температурного графика t_o'' :

$$t_n'' = \tau_{2,o}'' - \Delta t_n'', \quad (88)$$

где $\tau_{2,o}''$ – температура воды в обратном трубопроводе после системы отопления, соответствующая точке излома температурного графика, $^{\circ}\text{C}$.

Перепад температур сетевой воды в нижней ступени водоподогревателя δ_2 при различных температурах наружного воздуха определяют:

$$\text{при } t_n'' \quad \delta_2'' = \delta \cdot \frac{(t_n'' - t_c)}{(t_h - t_c)}; \quad (89)$$

$$\text{при } t_n \quad \delta_2 = \delta_2'' \cdot \frac{(\tau_{2,o}'' - t_c)}{(\tau_{2,o}' - t_c)}. \quad (90)$$

Здесь t_h – температура горячей воды, поступающей в систему горячего водоснабжения, $^{\circ}\text{C}$;

t_c – температура холодной водопроводной воды в отопительный период, $^{\circ}\text{C}$.

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

$$\tau_{2,n} = \tau_{2,o} - \delta_2 \quad \tau_{2,n} = \tau_{2,o} - \delta_2; \quad (91)$$

$$\tau_{2,n}'' = \tau_{2,o}'' - \delta_2''. \quad (92)$$

Перепад температур сетевой воды в верхней (второй) ступени водоподогревателя определяют:

$$\text{при } t_n \quad \delta_1 = \delta - \delta_2; \quad (93)$$

$$\text{при } t_n'' \quad \delta_1'' = \delta - \delta_2''. \quad (94)$$

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

$$\tau_{1,n} = \tau_{1,o} + \delta_1; \quad (95)$$

$$\tau_{1,n}'' = \tau_{1,o}'' + \delta_1''. \quad (96)$$

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

Выбор схемы включения водоподогревателей горячего водоснабжения на ЦТП производят согласно [8] на основе:

$$\rho^M = Q_{h,max}/Q_{o,max} \quad (97)$$

При применении в тепловом пункте регуляторов расхода воды на отопление с регулированием отпуска теплоты в тепловых сетях по отопительно-бытовому температурному графику используются схемы:

для $\rho^M < 0,2$ и $\rho^M > 1,0$ – параллельная;

для $0,2 \leq \rho^M \leq 1,0$ – двухступенчатая смешанная.

При применении в тепловом пункте регуляторов расхода воды с регулированием отпуска теплоты в тепловых сетях по повышенному температурному графику используются схемы:

для $\rho^M < 0,2$ и $\rho^M > 1,0$ – параллельная;

для $0,2 \leq \rho^M \leq 1,0$ – двухступенчатая последовательная.

При применении в тепловом пункте электронных регуляторов расхода теплоты на отопление независимо от графика регулирования отпуска теплоты используются схемы:

для $\rho^M < 0,2$ и $\rho^M > 1,0$ – параллельная;

для $0,2 \leq \rho^M \leq 1,0$ – двухступенчатая смешанная с ограничением максимального расхода воды из тепловой сети на ввод.

14.2. Регулирование отпуска теплоты в открытых системах теплоснабжения

В двухтрубных водяных тепловых сетях открытых систем теплоснабжения центральное качественное регулирование отпуска теплоты, как и в закрытых системах, осуществляют по нагрузке отопления или по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

Если тепловая нагрузка на жилищно-коммунальные нужды составляет менее 65% суммарной тепловой нагрузки, а $\rho^{cp} = Q_{hm}/Q_{o,max} < 0,15$, регулирование отпуска теплоты принимают по нагрузке отопления. При этом в тепловой сети поддерживается отопительно-бытовой температурный график, который строится на основе решения формул (83) и (84). Для поддержания температуры горячей воды $t_h = 60^\circ\text{C}$ отопительный график срезается на уровне 60°C , полученный график температур воды в тепловой сети называется отопительно-бытовым. Температура наружного воздуха, соответствующая точке излома графика, обозначается t''_n . Точка излома графика делит его на две части с различными режимами регулирования: в диапазоне температур наружного воздуха от t''_n до t_o осуществляется центральное качественное регулирование отпуска теплоты, в диапазоне температур от $+8^\circ\text{C}$ до t''_n осуществляется местное регулирование всех видов тепловых нагрузок.

Если тепловая нагрузка жилищно-коммунального сектора составляет 65% и более суммарной тепловой нагрузки и

$\rho^{cp} = Q_{hm}/Q_{o,max} \geq 0,15$, то регулирование отпуска теплоты осуществляют по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. При этом в тепловой сети поддерживается скорректированный температурный график. При регулировании отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения потребители системы отопления и горячего водоснабжения присоединяются к тепловым сетям по принципу связанной подачи теплоты.

Расчет скорректированного температурного графика заключается в определении температуры воды в подающей и обратной магистралях в диапазоне температур наружного воздуха от $+8^\circ\text{C}$ до t_n^* , при которой температура воды в обратной магистрали равна 60°C и по балансовой нагрузке горячего водоснабжения, $Q_{hm}^\delta = \chi^\delta \cdot Q_{hm}$; $\chi^\delta = 1,1$.

При температуре воды в обратной магистрали больше 60°C водоразбор на горячее водоснабжение осуществляют только из обратной линии тепловой сети, и тогда в местную

отопительную систему поступает расчетный расход сетевой воды $G_{o,max}$. Это позволяет оставить регулирование отпуска теплоты в интервале температур наружного воздуха от t_n^* до t_o по отопительно-бытовому температурному графику.

При температурах наружного воздуха от $+8^\circ\text{C}$ до t_n^* , когда водоразбор на горячее водоснабжение осуществляют как из подающей, так и из обратной линий теплосети, поступление воды в систему отопления меньше расчетного расхода. В этом случае для удовлетворения отопительной нагрузки температура воды в подающем теплопроводе должна быть выше, чем это требуется по отопительно-бытовому графику. Температуру сетевой воды в подающем $\tau_{1,n}$ и обратном $\tau_{2,n}$ теплопроводах для скорректированного графика определяют по формулам:

$$\tau_{1,n} = t_i + \frac{\bar{Q}_o}{\bar{G}_o} \cdot (\delta\tau'_o + \Delta t'_o \cdot \frac{\bar{G}_o}{\bar{Q}_o^{0.2}} - 0,5 \cdot \Theta'); \quad (98)$$

$$\tau_{2,n} = t_i + \frac{\bar{Q}_o}{\bar{G}_o} \cdot (\Delta t'_o \cdot \frac{\bar{G}_o}{\bar{Q}_o^{0.2}} - 0,5 \cdot \Theta'). \quad (99)$$

Здесь \bar{Q}_o – относительный расход теплоты на отопление, представляющий отношение теплового потока на отопление при нерасчетных условиях к максимальному тепловому потоку:

$$\bar{Q}_o = Q_o / Q_{o,max} = (t_i - t_n) / (t_i - t_o);$$

\bar{G}_o – относительный расход сетевой воды на отопление, представляющий отношение расхода сетевой воды на отопление при расчетных условиях к максимальному расходу воды, $\bar{G}_o = G_o / G_{o,max}$. Относительный расход сетевой воды на отопление \bar{G}_o в диапазоне температур наружного воздуха $+8^\circ\text{C} - t_n^*$, когда в систему отопления поступает расход воды меньше расчетного, определяют по формуле:

$$\bar{G}_o = \frac{1 - 0,5 \cdot \rho^\delta \cdot \frac{\Theta'}{t_h - t_c}}{1 + \frac{t_h - t_i}{t_h - t_c} \cdot \frac{\rho^\delta}{\bar{Q}_o} - \frac{\Delta t'_o}{t_h - t_c} \cdot \frac{\rho^\delta}{\bar{Q}_o^{0.2}}}, \quad (100)$$

где $\rho^\delta = Q_{hm}^\delta / Q_{o,max}$.

Строятся графики: $\tau_{1,n} = f(t_n)$, $\tau_{2,n} = f(t_n)$.

14.3. Регулирование вентиляционной нагрузки

Регулирование отпуска теплоты на вентиляцию можно осуществить изменением расхода сетевой воды или нагреваемого воздуха. Если заданием не определен способ регулирования отпуска теплоты на вентиляцию, применяют способ регулирования изменением расхода сетевой воды.

На основании графиков расхода теплоты на вентиляцию $Q_v = f(t_n)$ и температуры воды в подающей магистрали $\tau_1 = f(t_n)$ весь отопительный период можно разбить на три диапазона:

I диапазон – от $t_n = +8^\circ\text{C}$ до t_n'' , когда температура сетевой воды в подающей магистрали постоянна, а расход теплоты на вентиляцию изменяется. В этом диапазоне температур наружного воздуха дополнительно к центральному регулированию осуществляют местное количественное регулирование путем изменения расхода сетевой воды через калорифер.

Температуру воды после калорифера $\tau_{2,v}$ определяют из уравнения:

$$\frac{(\tau_{1,o} + \tau_{2,v}) - (t_n + t_i)}{(\tau_{1,o}'' + \tau_{2,v}'') - (t_n'' + t_i)} \left(\frac{\tau_{1,o}'' - \tau_{2,v}''}{\tau_{1,o} - \tau_{2,v}} \right)^{0.15} = \left(\frac{t_i - t_n}{t_i - t_n''} \right)^{0.85}, \quad (101)$$

где $\tau_{1,o}''$ – температура сетевой воды в подающей магистрали при t_n'' ; $\tau_{2,v}''$ – температура воды после калорифера при t_n'' .

Данное уравнение решается методом последовательных приближений или графоаналитическим способом.

II диапазон – от t_n'' до t_v °C, когда с понижением температуры t_n температура сетевой воды в подающей магистрали и расход теплоты на вентиляцию увеличиваются. В этом диапазоне осуществляется центральное качественное регулирование отпуска теплоты.

Температура воды после калориферов при t_n'' :

$$\tau_{2,v}'' = \tau_{1,o}'' - \frac{Q_v''}{c \cdot G_{v,max}}, \quad (102)$$

где $G_{v,max}$ – расчетный расход сетевой воды на вентиляцию;

Q_v'' – тепловая нагрузка на вентиляцию при t_n'' , кВт, определяемая по выражению

$$Q_v'' = Q_{v,max} \cdot \frac{(t_i - t_n'')}{(t_i - t_o)}. \quad (103)$$

III диапазон – от t_v до t_o °C, когда с понижением температуры наружного воздуха температура сетевой воды в подающей магистрали увеличивается, а расход теплоты на вентиляцию остается постоянным. В этом диапазоне в дополнение к центральному качественному регулированию применяется местное количественное регулирование вентиляционной нагрузки.

Температуру воды после калориферов определяют из уравнения:

$$\frac{(\tau_{1,o}''' + \tau_{2,v}') - (t_n + t_i)}{(\tau_{1,o}''' + \tau_{2,v}') - (t_v + t_i)} \left(\frac{\tau_{1,o}''' - \tau_{2,v}'''}{\tau_{1,o} - \tau_{2,v}} \right)^{0.15} = 1, \quad (104)$$

где $\tau_{1,o}'''$ – температура сетевой воды в подающей магистрали при температуре наружного воздуха t_v ;

$\tau_{2,v}'''$ – температура воды после калориферов при температуре наружного воздуха t_v , принимается $\tau_{2,v}''' = \tau_{2,o}'''$;

$\tau_{2,o}'''$ – температура сетевой воды после отопительной установки.

Расходы воды на вентиляцию при различных температурах наружного воздуха определяют по формуле:

$$G_v = \frac{Q_v}{c \cdot (\tau_{1,o} - \tau_{2,v})}, \quad (105)$$

где Q_v , $\tau_{1,o}$, $\tau_{2,v}$ – соответственно тепловая нагрузка на вентиляцию, температура воды в подающей магистрали и температура воды после калориферов при соответствующей температуре наружного воздуха.

По рассчитанным значениям температуры воды после калориферов и расхода сетевой воды на вентиляцию строят графики: $\tau_{2,v} = f(t_n)$ и $G_v = f(t_n)$.

15. Определение расчетных расходов теплоносителя

в тепловых сетях

15.1. Закрытые системы теплоснабжения

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

$$G_{o,max} = \frac{3,6 \cdot Q_{o,max}}{c \cdot (\tau_{1,o}' - \tau_{2,o}')}; \quad (106)$$

$$G_{v,max} = \frac{3,6 \cdot Q_{v,max}}{c \cdot (\tau_{1,o}' - \tau_{2,o}')}. \quad (107)$$

Здесь $\tau_{1,o}'$, $\tau_{2,o}'$ – расчетные температуры сетевой воды соответственно в подающем и обратном теплопроводах, °C;

$Q_{o,max}$, $Q_{v,max}$ – максимальные тепловые потоки соответственно на отопление и вентиляцию, кВт;

c – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·К).

Расчетные расходы сетевой воды на горячее водоснабжение, т/ч, зависят от схемы присоединения водоподогревателей и определяются по следующим формулам:

а) при параллельной схеме присоединения водоподогревателей среднечасовой

$$G_{hm} = \frac{3,6 \cdot Q_{hm}}{c \cdot (\tau''_{1,o} - \tau''_{3,o})}, \quad (108)$$

максимальный

$$G_{h,max} = \frac{3,6 \cdot Q_{h,max}}{c \cdot (\tau''_{1,o} - \tau''_{3,o})}; \quad (109)$$

б) при двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей среднечасовой

$$G_{hm} = \frac{3,6 \cdot Q_{hm}}{c \cdot (\tau''_{1,o} - \tau''_{2,o})} \left(\frac{55 - t''_n}{55 - t_c} + 0,2 \right), \quad (110)$$

максимальный

$$G_{h,max} = \frac{3,6 \cdot 0,55 \cdot Q_{h,max}}{c \cdot (\tau''_{1,o} - \tau''_{2,o})}. \quad (111)$$

Здесь $\tau''_{1,o}$ – температура воды в подающем теплопроводе в точке излома температурного графика, °С;

$\tau''_{2,o}$ – температура воды в обратном теплопроводе в точке излома температурного графика, °С;

$\tau''_{3,o}$ – температура воды после параллельно включенного водоподогревателя для точки излома температурного графика, °С, рекомендуется принимать $\tau''_{3,o} = 30$ °С.

Суммарный расчетный расход сетевой воды, т/ч, в двухтрубных тепловых сетях при регулировании по отопительной нагрузке:

$$G_d = G_{o,max} + G_{v,max} + K_3 \cdot G_{hm}, \quad (112)$$

где K_3 – коэффициент, учитывающий долю среднего расхода воды на горячее водоснабжение, принимается в зависимости от мощности системы теплоснабжения (для систем с тепловым потоком $\Sigma Q \geq 100$ МВт $K_3 = 1,0$; для систем с тепловым потоком $\Sigma Q < 100$ МВт при отсутствии баков-аккумуляторов $K_3 = 1,2$; при наличии баков-аккумуляторов $K_3 = 1,0$).

Для потребителей при $Q_{hm}/Q_{o,max} > 1$ при отсутствии баков-аккумуляторов, а также с тепловым потоком $Q < 10$ МВт, суммарный расчетный расход воды определяется по формуле:

$$G_d = G_{o,max} + G_{v,max} + G_{h,max}. \quad (113)$$

При центральном качественном регулировании отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения расчетный расход сетевой воды в двухтрубных тепловых сетях определяется:

$$G_d = G_{o,max} + G_{v,max}. \quad (114)$$

Расчетный расход воды, т/ч, в неотапительный период определяют по формуле:

$$G_d^s = \beta \cdot G_{h,max}, \quad (115)$$

где $G_{h,max}$ – максимальный расход сетевой воды на горячее водоснабжение, при всех схемах присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения, определяемый по формуле (109);

β – коэффициент, учитывающий изменение расхода воды на горячее водоснабжение в неотапительный период по отношению к отопительному, принимаемый для жилищно-

коммунального сектора равным 0,8 (для курортных и южных городов $\beta = 1,5$; для промышленных предприятий $\beta = 1,0$).

15.2. Открытые системы теплоснабжения

Расчетные расходы сетевой воды, т/ч, на отопление и вентиляцию определяют по формулам (106) и (107), на горячее водоснабжение – по следующим выражениям: среднечасовой

$$G_{hm} = \frac{3,6 \cdot Q_{hm}}{c \cdot (t_h - t_c)}; \quad (116)$$

максимальный

$$G_{hm} = \frac{3,6 \cdot Q_{h,max}}{c \cdot (t_h - t_c)}. \quad (117)$$

Суммарный расчетный расход сетевой воды, т/ч, в двухтрубных тепловых сетях при качественном регулировании отпуска теплоты по отопительной нагрузке определяется по формуле (112), где коэффициент K_3 принимается равным:

для систем с тепловым потоком $\Sigma Q \geq 100$ МВт $K_3 = 0,6$;

$\Sigma Q < 100$ МВт $K_3 = 0,8$.

Для потребителей с $\rho^M = Q_{h,max}/Q_{o,max} > 1$ при отсутствии баков-аккумуляторов, а также с тепловым потоком 10 МВт и менее, суммарный расчетный расход воды определяют по формуле (113).

При качественном регулировании отпуска теплоты по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения расчетный расход сетевой воды в двухтрубных сетях определяется без учета нагрузки на горячее водоснабжение по формуле (114).

В неотапительный период расчетные расходы воды в подающем и обратном теплопроводах не одинаковы. Расход сетевой воды в подающем трубопроводе определяют по формуле:

$$G_d^s = \beta \cdot G_{h,max}, \quad (118)$$

где β – коэффициент, учитывающий изменение расхода воды на горячее водоснабжение в неотапительный период по отношению к отопительному, принимаемый для жилищно-коммунального сектора равным 0,8 (для курортных и южных городов $\beta = 1,5$; для промышленных предприятий $\beta = 1,0$). При этом максимальный расход воды на горячее водоснабжение определяют по формуле:

$$G_{hm} = \frac{3,6 \cdot Q_{h,max}}{c \cdot (t_h - t_c^s)}, \quad (119)$$

где t_c^s – температура холодной воды в летний период, принимаемая равной 15°C .

15.3. Графики водоразборов на горячее водоснабжение

Расход сетевой воды на горячее водоснабжение представляет собой сумму водоразборов из подающего G_{h1} и обратного G_{h2} теплопроводов:

$$G_{hm} = G_{h1} + G_{h2}. \quad (120)$$

Величины водоразбора из подающего G_{h1} и обратного G_{h2} трубопроводов:

$$G_{h1} = \beta \cdot G_{hm}; \quad (121)$$

$$G_{h2} = (1-\beta) \cdot G_{hm}. \quad (122)$$

Здесь β – доля водоразбора из подающего трубопровода,

$$\beta = \frac{(t_h - \tau_2)}{(\tau_1 - \tau_2)}, \quad (123)$$

где τ_1, τ_2 – температура сетевой воды в подающем и обратном теплопроводах при текущей температуре наружного воздуха.

Водоразбор на горячее водоснабжение в открытых системах осуществляется следующим образом:

I диапазон температур наружного воздуха от $+8^{\circ}\text{C}$ до t'_n , когда $\tau_1 = \text{const} = 60^{\circ}\text{C}$, $\beta = 1$ и $G_{h1} = G_{hm}$;

II диапазон температур наружного воздуха от t'_n до t_n^* , водоразбор осуществляется из подающего G_{h1} и обратного G_{h2} трубопроводов;

III диапазон температур наружного воздуха от t_n^* до t_o , когда $\tau_2 \geq 60^{\circ}\text{C}$, $\beta = 0$ и $G_{h1} = 0$, а водоразбор из обратного трубопровода определяется по формуле:

$$G_{h2} = \gamma \cdot G_{hm}, \quad (124)$$

где $\gamma = (t_h - t_c) / (\tau_{2,o} - t_c)$ – доля водоразбора из обратного трубопровода.

Определив водоразбор из подающего и обратного теплопроводов при различных температурах наружного воздуха, строят графики $G_{h1} = f(t_n)$ и $G_{h2} = f(t_n)$.

16. Выбор конструкции тепловой сети и разработка монтажной схемы

Проектирование тепловых сетей начинается с выбора трассы и способа их прокладки. В городах и других населенных пунктах трасса должна предусматриваться в отведенных для инженерных сетей технических полосах, параллельно красным линиям улиц, дорогам и проездам, вне проезжей части и полосы зеленых насаждений, а внутри микрорайонов и кварталов — вне проезжей части дорог. При выборе трассы теплопроводов необходимо учитывать экономичность и надежность работы тепловых сетей. Наиболее экономичной является тупиковая схема.

С целью повышения надежности работы теплосетей целесообразно устраивать резервирование подачи теплоты потребителям за счет совместной работы нескольких источников теплоты, а также устройства блокировочных перемычек между магистралями тепловых сетей при подземной прокладке.

При выборе трассы тепловых сетей необходимо выдерживать нормативные расстояния от их строительных конструкций до зданий, сооружений и инженерных коммуникаций.

При выборе трассы предусматривается один ввод тепловых сетей в каждый квартал. Допускается подключать рядом расположенные кварталы из одной тепловой камеры. В курсовом проекте необходимо применять унифицированные типовые конструкции сборных железобетонных каналов, размеры которых зависят от диаметров теплопроводов. Выбор труб и арматуры при проектировании осуществляют по рабочему давлению и температуре теплоносителя. Для тепловых сетей рекомендуется применять электросварные стальные прямошовные трубы по ГОСТ 10704-91. Соединяют трубы с помощью сварки. Основным видом запорной арматуры являются стальные задвижки с ручным приводом при диаметре до 500 мм и электрическим при диаметре более 500 мм.

Монтажная схема разрабатывается после выбора трассы, способа прокладки тепловых сетей и предварительного гидравлического расчета, по которому определяют диаметры теплопроводов.

Монтажная схема вычерчивается в две линии, причем подающий теплопровод располагается с правой стороны по ходу движения теплоносителя от источника теплоты. В местах ответвлений к кварталам или зданиям предусматривают тепловые камеры.

Разработка монтажной схемы заключается в расстановке на трассе тепловых сетей неподвижных опор, компенсаторов и запорно-регулирующей арматуры. На участках между узловыми камерами, т.е. камерами в узлах ответвлений, размещают неподвижные опоры, расстояние между которыми зависит от диаметра теплопровода, типа компенсатора и способа прокладки тепловых сетей. На участке между двумя неподвижными опорами предусматривают компенсатор. Повороты трассы теплосети под углом $90-130^{\circ}$ используют для самокомпенсации температурных удлинений, а в местах поворотов под углом более 130° устанавливают неподвижные опоры.

Камеры тепловых сетей могут выполняться из сборных бетонных и железобетонных элементов, монолитными или из кирпича. Их габаритные размеры определяют из условия

удобства и безопасности обслуживания и обеспечения нормативных расстояний между строительными конструкциями и оборудованием [8, прил.7, табл.3].

В курсовом проекте необходимо выполнить рабочие чертежи оборудования одной из тепловых камер. Разработку строительных конструкций разрешается не производить. Могут быть выбраны унифицированные сборные железобетонные камеры. Неподвижную опору располагают на теплопроводах большего диаметра. Для спуска в камеру и выхода из нее предусматривают не менее двух люков, металлические лестницы или скобы. При площади камеры по внутреннему обмеру более 6 м^2 устанавливается четыре люка. Дно устраивается с уклоном 0,02 в сторону прямка для сбора и удаления воды. На всех ответвлениях теплопроводов в камере устанавливают отключающую арматуру. Переход на другой диаметр труб осуществляют в пределах камеры. Минимальная высота камеры принимается 2 м.

С целью уменьшения высоты камеры и заглубления тепловых сетей задвижки могут устанавливаться под углом 45° или горизонтально. В местах установки секционирующих задвижек со стороны источника теплоты устраивается перемычка между подающим и обратным теплопроводами диаметром, равным 0,3 диаметра теплопровода. На перемычке устанавливается две задвижки, а между ними – спускной контрольный вентиль $d = 25 \text{ мм}$. Допускается увеличивать расстояние между секционирующими задвижками до 1500 м на трубопроводах $d = 400 - 500 \text{ мм}$ при условии заполнения секционированного участка водой или спуска ее в течение 4 ч, для трубопроводов $d \geq 600 \text{ мм}$ – до 3000 м при условии заполнения участка водой или спуска воды в течение 5 ч, а для надземной прокладки $d \geq 900 \text{ мм}$ – до 5000 м.

При установке задвижек большого диаметра с электроприводом независимо от способа прокладки тепловых сетей вместо тепловых камер могут устраиваться надземные павильоны. В камерах на ответвлениях к отдельным зданиям при диаметре ответвлений до 50 мм и длине до 30 м запорную арматуру допускается не устанавливать. При этом должна предусматриваться запорная арматура, обеспечивающая отключение группы зданий с суммарной тепловой нагрузкой до 0,6 МВт.

Тепловая камера должна быть изображена в плане и в двух разрезах. В случаях, когда конструкция и расположение оборудования в камере ясны – из плана и одного разреза.

17. Гидравлический расчет водяных тепловых сетей

В задачу гидравлического расчета входит определение диаметров теплопроводов, давления в различных точках сети и потерь давления на участках. Последние устанавливают методом удельных потерь давления на трение и приведенных длин. Согласно [8, п.5.8], удельные потери давления на трение должны определяться на основании технико-экономических расчетов. В курсовом проекте, когда располагаемый перепад давления в тепловой сети не задан, удельные потери давления в магистральных трубопроводах следует принимать в пределах 30 – 80 Па/м, для ответвлений – по располагаемому давлению, но не более 300 Па/м. Если известно располагаемое давление в тепловых сетях, расчет выполняют в два этапа (предварительный и окончательный).

При предварительном расчете потери давления в местных сопротивлениях определяют задаваясь долей от потерь давления по длине α_1 , которая может быть принята по [8, прил.5] или найдена по формуле:

$$\alpha = 0,019\sqrt{G_d}, \quad (125)$$

где G_d – расход сетевой воды на головном участке теплопровода, кг/с.

При окончательном расчете, когда известны диаметры теплопроводов и все местные сопротивления, падение давления в местных сопротивлениях находят по сумме коэффициентов местных сопротивлений или суммарной их эквивалентной длине.

Гидравлический расчет водяных тепловых сетей производят для зимнего, летнего режимов, а также для аварийного режима в зимний период.

Гидравлический расчет закрытых систем теплоснабжения выполняют для подающего теплопровода, принимая диаметр обратного теплопровода и падение давления в нем такими же, как и в подающем.

Гидравлический расчет открытых систем теплоснабжения для зимнего периода выполняют для двух режимов: 1) при отсутствии водоразбора на горячее водоснабжение, когда расчетные расходы теплоносителя, а следовательно, и потери давления в подающем и обратном теплопроводах будут равными (расчет производят только для подающего теплопровода); 2) при максимальном водоразборе на горячее водоснабжение из обратного теплопровода (расчет выполняют для подающего и обратного теплопроводов).

Предварительный и окончательный расчеты можно совместить. При этом расчет производят в следующей последовательности: выбирают на трассе тепловых сетей расчетную магистраль, как правило, наиболее протяженную и загруженную, соединяющую источник теплоты с дальними потребителями; разбивают тепловую сеть на расчетные участки, определяют расчетные расходы теплоносителя G_d и измеряют по генплану длину участков; задавшись удельными потерями давления на трение R (30 – 80 Па/м), исходя из расходов теплоносителя на участках, по таблицам или номограммам, составленным для труб с коэффициентом эквивалентной шероховатости $K_s=0,5$ мм, находят диаметр теплопровода, действительные удельные потери давления на трение и скорость движения теплоносителя, которая должна быть не более 3,5 м/с. Если задан располагаемый перепад давления по всей сети ΔP (Па), определяют средние удельные потери давления (Па/м):

$$R_m = \frac{\Delta P}{(1 + \alpha_1) \sum_{i=1}^n l_i}, \quad (126)$$

где $\sum_{i=1}^n l_i$ – суммарная протяженность расчетной магистрали, м. По R_m принимают диаметры

теплопроводов, находят действительные удельные потери давления и скорость теплоносителя. Определив диаметры расчетных участков тепловой сети, разрабатывают монтажную схему теплопроводов, размещая по трассе запорную арматуру, неподвижные опоры, компенсаторы; по монтажной схеме устанавливают местные сопротивления на расчетных участках, находят сумму коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \xi$ и эквивалентную длину l_3 местных сопротивлений. Приведенную длину l' расчетного участка тепловой сети определяют как сумму $l' = l + l_3$. Потери давления на расчетных участках тепловой сети находят как $\Delta p = R \cdot l'$. Далее вычисляют суммарные потери давления в подающем теплопроводе расчетной магистрали, ответвления и другие магистрали рассчитывают по располагаемому перепаду давлений в точке присоединения ответвлений к расчетной магистрали. При этом невязка между потерями давления в ответвлениях и располагаемым давлением не должна превышать 10%. Когда невозможно уравнивать потери давления в рассчитываемых магистралях, избыточное давление гасится на абонентских вводах диафрагмами.

Гидравлический расчет теплопроводов для летнего периода сводится к определению потерь давления на расчетных участках сети при известных диаметрах теплопроводов по летним расчетным расходам теплоносителя. При этом для закрытых систем теплоснабжения из-за одинакового расхода сетевой воды в подающем и обратном теплопроводах гидравлический расчет выполняют только для подающей линии теплосети. Для открытых систем теплоснабжения при различных расходах теплоносителя в подающем и обратном теплопроводах гидравлический расчет выполняют отдельно для каждого теплопровода.

Гидравлический расчет ведут по форме 3.

Ном ер уч- ка	G_d , кг/ с	d_n , мм	R , Па/ м	v , м/с	l , м	l_{Σ} , м	l' , м	Δp , кПа	$\Sigma \Delta p$, кПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

18. Разработка графиков давлений и выбор схем присоединения абонентов к тепловым сетям

Пьезометрический график позволяет: определить напор и располагаемый напор в любой точке сети; учесть взаимное влияние рельефа местности, высоты присоединенных потребителей и потерь напора в сети при разработке гидравлического режима; выбрать схемы присоединения потребителей; подобрать сетевые и подпиточные насосы, авторегуляторы.

Пьезометрический график строится для статического и динамического режимов системы теплоснабжения. При его построении за начало координат принимают отметку оси сетевых насосов, условно считая, что она совпадает с отметкой земли на выходе теплопровода из ТЭЦ. По оси ординат откладывают значения напоров в подающей и обратной магистралях тепловой сети, отметки рельефа местности и высоты присоединяемых потребителей; по оси абсцисс строят профиль местности и откладывают длину расчетных участков теплопровода. Ось теплотрассы условно принимают совпадающей с поверхностью земли.

После построения профиля местности и нанесения высот присоединяемых потребителей начинают разработку графика напоров при гидростатическом режиме, когда циркуляция теплоносителя в тепловой сети отсутствует и напор в системе поддерживается подпиточными насосами. При таком режиме график напоров представляет собой прямую, параллельную оси абсцисс. Построение линии статического напора ведут из условия заполнения водой отопительных установок всех потребителей и создания в их верхних точках избыточного напора 5 м. Максимальный статический напор в тепловой сети при присоединении отопительных установок по зависимым схемам не должен превышать 60 м по условию механической прочности чугунных отопительных приборов.

При выполнении проекта следует стремиться к установлению одинакового статического напора для всей системы теплоснабжения, когда невозможно достигнуть этого условия, систему теплоснабжения разделяют на несколько статических зон или присоединяют потребителей по независимой схеме.

После построения линии статического напора приступают к разработке графиков напоров при гидродинамическом режиме, когда циркуляция теплоносителя в тепловой сети осуществляется сетевыми насосами. Построение пьезометрического графика при данном режиме начинают с нанесения линий максимальных и минимальных пьезометрических напоров для подающей и обратной магистралей тепловых сетей. Максимальный напор в подающем теплопроводе не должен превышать 160 м по условию прочности стальных трубопроводов и арматуры. Минимальный напор должен обеспечивать невоскипание теплоносителя при его циркуляции в сети. Условия невоскипания определяют в зависимости от расчетной температуры воды. Для обратного теплопровода максимальный пьезометрический напор при зависимых схемах присоединения потребителей не должен превышать 60 м по условию механической прочности чугунных радиаторов, при независимых схемах - по условию прочности водоподогревателей. Минимальный пьезометрический напор для обратной магистрали должен обеспечивать избыточный напор в сети для защиты системы от подсоса воздуха и предупреждения кавитации насосов. Минимальный напор принимают равным 5-7 м. Линии максимальных и минимальных напоров наносят параллельно профилю поверхности земли по длине трассы. Линии действительных напоров подающего и обратного теплопроводов не должны выходить за линии предельных значений напоров.

При построении пьезометрического графика необходимо учитывать, что требуемый напор у всасывающего патрубка сетевого насоса зависит от марки насоса. Располагаемый напор для квартала определяется суммой потерь напора в водоподогревательной установке ЦТП, внутриквартальной сети и в системе отопления, что составляет около 25-35 м при зависимой схеме включения систем отопления и 20-25 м – при независимой. На графике необходимо показывать потери напора у источника теплоты, которые принимаются равными 25-30 м.

Пьезометрические графики строят для зимнего и летнего режимов, а для открытых систем теплоснабжения – дополнительно для режима максимального водоразбора на горячее водоснабжение из обратного теплопровода.

В проекте необходимо изложить требования, предъявляемые к гидравлическому режиму в тепловой сети исходя из надежности ее работы.

19. Разработка и построение продольного профиля тепловых сетей

Продольный профиль участка теплосети строится в масштабах вертикальном 1:100 и горизонтальном 1:5000 или 1:1000. Построение начинают с определения минимальной глубины тепловой камеры по трассе с учетом габаритных размеров устанавливаемого в них оборудования. Следует стремиться к минимальной глубине заложения каналов или теплопроводов. С этой целью в тепловых камерах допускается установка задвижек в горизонтальном положении или под углом 45°. Количество сопряжения участков с обратными уклонами должно быть по возможности наименьшим. Уклон теплопроводов независимо от способа прокладки должен составлять не менее 0,002. При прокладке теплопроводов по конструкциям мостов при пересечении рек, оврагов уклоны могут не предусматриваться.

На продольном профиле показывают: отметки поверхности земли (проектные – сплошной линией, существующие – штриховой); все пересекаемые инженерные сети и сооружения с отметками верха их конструкции при расположении проектируемой тепловой сети сверху и с отметками низа инженерных сетей и конструкций при нижнем расположении тепловых сетей; отметки низа трубы тепловой сети, дна и потолка канала; глубину заложения теплопровода; уклон и длину участков тепловой сети; диаметр теплопровода и тип канала; дается развернутый план трассы с указанием углов поворота, ответвлений, неподвижных опор, компенсаторов, компенсаторных ниш и тепловых камер. При проектировании продольного дренажа указываются отметки лотка, диаметр и уклон дренажных труб. При надземном способе прокладки на продольном профиле даются отметки верха несущей конструкции и низа теплопровода. В самых низких точках теплопроводов предусматривают дренажные выпуски, а в самых высоких – устройства для выпуска воздуха. Необходимо соблюдать допустимые расстояния по вертикали от конструкций тепловой сети до инженерных коммуникаций. Профиль строится в виде таблицы по форме 4.

Форма 4

Проектные отметки земли, м							
Натурные отметки земли, м							
Отметки потолка канала, м							
Отметки дна канала, м							
Уклон , Длина участка , м							
Разрез / Сечение канала							
План трассы							

20. Подбор основного оборудования теплоподготовительной установки ТЭЦ

Для обеспечения отопительно-вентиляционной нагрузки и нагрузки горячего водоснабжения на современных ТЭЦ устанавливают конденсационные турбины с отопительным отбором

типа Т. Все конденсационные турбины укомплектованы двумя горизонтальными подогревателями ПСГ. Подогревательная установка сетевой воды в данном случае состоит из четырех ступеней подогрева: встроенного в конденсатор теплофикационного пучка, подогревателей первой и второй ступеней и пикового котла. Теплофикационный пучок конденсатора чаще всего используют для предварительного нагрева подпиточной воды при открытых системах теплоснабжения и сетевой воды при закрытых системах. В качестве пиковых котлов применяют водогрейные котлы ПВТМ и КВГМ, устанавливаемые на территории станции и в тепловом районе.

Распределение тепловой нагрузки ТЭЦ между основными и пиковыми подогревателями производят, исходя из заданного коэффициента теплофикации α_t , который показывает долю расчетной тепловой нагрузки ТЭЦ, удовлетворяемой за счет отборов турбин.

Расчетная тепловая нагрузка отборов теплофикационных турбин:

$$Q_{\text{тур}} = \alpha_t \cdot Q_{\text{ТЭЦ}}, \quad (127)$$

а пикового источника:

$$Q_{\text{пик}} = Q_{\text{ТЭЦ}}(1 - \alpha_t). \quad (128)$$

Оптимальный α_t при постоянной технологической нагрузке равен – 0,7-0,8; при сезонной тепловой нагрузке для ТЭЦ высокого давления – 0,5-0,7, среднего давления – 0,4-0,5.

По $Q_{\text{тур}}$ находят количество теплофикационных турбин (по номинальной нагрузке теплофикационных отборов) и сетевых подогревателей. По целому числу турбин определяют фактическую теплопроизводительность турбин и фактический коэффициент теплофикации α_t .

На годовом графике продолжительности тепловой нагрузки показывается базовая и пиковая части тепловой нагрузки ТЭЦ. С помощью этого графика находят температуру наружного воздуха, при которой включаются в работу пиковые котлы, а также число часов работы пикового источника теплоты в течение отопительного периода.

Далее производят распределение тепловой нагрузки $Q_{\text{тур}}$ между подогревателями нижней и верхней ступеней:

$$Q_n = Q_{\text{тур}} \cdot \frac{\tau_n - \tau_2''}{\tau_b - \tau_2''}; \quad (129)$$

$$Q_b = Q_{\text{тур}} \cdot \frac{\tau_b - \tau_n}{\tau_b - \tau_2''}. \quad (130)$$

Здесь τ_n , τ_b – температура сетевой воды после подогревателей соответственно нижней и верхней ступеней, °С, и определяется:

$$\tau_n = t_n^H - \Delta t_n^H; \quad (131)$$

$$\tau_b = t_b^B - \Delta t_b^B. \quad (132)$$

Здесь t_n^B , t_n^H – температура насыщенного пара при давлении пара в отборах для верхней и нижней ступеней.

Так как в подогреватели нижней и верхней ступеней поступает пар из регулируемых отборов турбин с давлением 0,05-0,25 МПа, сетевую воду можно нагревать до температуры 115-118°С. До расчетной температуры сетевая вода нагревается в пиковых котлах. Температуру нагрева воды после подогревателей нижней и верхней ступеней можно принимать по температуре насыщения пара из отборов турбин, учитывая недогрев в подогревателях нижней $\Delta t_n^H = 5-7^\circ\text{C}$ и верхней $\Delta t_b^B = 8-15^\circ\text{C}$ ступеней.

Температура сетевой воды на входе в подогреватель нижней ступени отличается от температуры воды в обратном теплопроводе у станции ввиду добавки подпиточной воды, а также за счет предварительного нагрева в теплофикационном пучке конденсатора.

Для закрытых систем теплоснабжения:

$$\tau_2'' = 20 + \frac{\tau_2^m \cdot G_d + \tau_{\text{подп}} \cdot G_{\text{подп}}}{G_d + G_{\text{подп}}}, \quad (133)$$

где 20°C – ориентировочный перепад температуры сетевой воды в теплофикационном пучке конденсатора;

τ_2^m – средняя температура сетевой воды в обратном трубопроводе при расходе G_d и расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления t_o , определяется по [7, форм. (4.63а)];

$G_{\text{подп}}$ – расчетный расход подпиточной воды с температурой $\tau_{\text{подп}}$, принимаемой равной 40°C в зимний период и 65°C в летний.

Для открытых систем теплоснабжения при предварительном нагреве подпиточной воды в теплофикационном пучке конденсатора:

$$\tau_2'' = \frac{\tau_2^m \cdot G_d + (\tau_{\text{подп}} + 20) \cdot G_{\text{подп}}}{G_d + G_{\text{подп}}}. \quad (134)$$

В этом случае τ_2^m определяют по [7, форм. (4.63а)].

Зная теплопроизводительность подогревателей нежней и верхней ступеней и расход сетевой воды, производят поверочный расчет водоподогревателей, заключающийся в определении коэффициентов теплопередачи.

Среднелогарифмическая разность температур сетевой воды у подогревателей:

$$\Delta t_m^H = \frac{(t_H^H - \tau_2'') - (t_H^H - \tau_H)}{\ln \left[\frac{(t_H^H - \tau_2'')}{(t_H^H - \tau_H)} \right]}; \quad (135)$$

$$\Delta t_m^B = \frac{(t_H^B - \tau_H) - (t_H^B - \tau_B)}{\ln \left[\frac{(t_H^B - \tau_H)}{(t_H^B - \tau_B)} \right]}. \quad (136)$$

Коэффициент теплопередачи подогревателей:

$$k_H = \frac{Q_H}{F \cdot \Delta t_m^H}; \quad (137)$$

$$k_B = \frac{Q_B}{F \cdot \Delta t_m^B}. \quad (138)$$

Подбор пиковых котлов производят по величине суммарной пиковой тепловой нагрузки $Q_{\text{пик}}$.

Число пиковых котлов определяют по формуле:

$$n_k = \frac{Q_{\text{пик}}}{Q_{\text{пик}}^{\text{ед}}}, \quad (139)$$

где $Q_{\text{пик}}^{\text{ед}}$ – единичная теплопроизводительность одного пикового котла.

В качестве пиковых котлов применяют водогрейные котлы типов ПТВМ и КВГМ. Подобранные по тепловому максимуму пиковые котлы проверяют на гидравлический максимум; при этом учитывают, что пиковые котлы включают параллельно.

В расчетно-пояснительной записке приводится принципиальная схема теплоподготовительной установки ТЭЦ и подпитки тепловой сети с описанием принципа работы и обоснованием выбора теплотехнического оборудования.

Подбор сетевых и других насосов производится по их характеристикам: напору и расходу. По принятому напору и расчетной подаче определяют число параллельно или последовательно работающих насосов. Минимальное количество устанавливаемых сетевых насосов принимают не менее определенных по СНиП 41-02-2003. При соответствующем обосновании допускается предусматривать установку отдельных групп сетевых и подпиточных насосов для отопительного и летнего периодов.

Требуемый напор сетевых насосов H_p при суммарных расчетных расходах сетевой воды складывается из потерь напора в водоподогревательной установке источника теплоты и пиковой котельной $\Delta H_{\text{п.у}}$, суммарных потерь напора в подающем и обратном теплопроводах тепловой сети (от источника теплоты до наиболее удаленного потребителя) $\Delta H_{l,\text{tot}}$ и потерь напора в ЦТП или у абонента $\Delta H_{\text{аб}}$:

$$H_p = \Delta H_{п.у} + \Delta H_{l,tot} + \Delta H_{аб} . \quad (140)$$

Потери напора в подогревательной установке ТЭЦ зависят от ее компоновки. В водоподогревательных установках турбин типа Т и ПТ потери напора в пучке конденсатора, в подогревателях нижней и верхней ступеней компенсируются работой бустерных насосов, а в пиковых котлах, в тепловой сети и у абонентов – работой сетевых насосов. Потери напора в пучке конденсатора, в подогревателях нижней и верхней ступеней составляют 20-25 м. Потери напора в пиковых котлах – 10 м.

Потери напора у абонента можно определить по формуле:

$$\Delta H_{аб} = \Delta H_k + \Delta H_c, \quad (141)$$

где ΔH_c – потери напора в микрорайонных сетях;

ΔH_k – потери напора в абонентской установке, которые зависят от схемы включения абонентской установки.

Потери ΔH_k можно принимать следующие:

- при зависимом присоединении отопительных и вентиляционных установок без применения элеваторов, а также при независимом присоединении с помощью поверхностных подогревателей 6-10 м;
- при присоединении отопительных установок с помощью элеватора 15-20 м;
- при последовательном включении водоводяных подогревателей горячей воды и элеваторного узла 20-25 м.

Напор сетевых насосов для летнего периода:

$$H_p^s = H_p \cdot \left(\frac{G_d^s}{G_d} \right)^2, \quad (142)$$

где G_d^s , G_d – расходы сетевой воды соответственно в летний и зимний периоды.

Требуемый напор подпиточных насосов устанавливается исходя из необходимости поддержания определенного статического напора в тепловой сети, напора в обратном трубопроводе и обеспечения условий невоскипания воды в трубопроводе тепловой сети.

Для закрытых систем:

$$H_{п.р} = H_{ст} + \Delta H_{подп} - H_б, \quad (143)$$

где $H_{ст}$ – статический напор в тепловой сети, м;

$\Delta H_{подп}$ – потери напора в подпиточной линии, м;

$H_б$ – высота установки подпиточных баков относительно оси подпиточных насосов, м.

Для открытых систем теплоснабжения исходя из летнего режима работы:

$$H_{п.р} = H_{ст} + \Delta H_{l,tot}^s - H_б, \quad (144)$$

где $\Delta H_{l,tot}^s$ – сумма потерь напора в тепловой сети и в подпиточной линии, м.

Принятый напор подпиточных насосов должен проверяться для условий работы в отопительный и летний периоды года.

Подача подпиточных насосов для закрытых систем теплоснабжения определяется из условий восполнения утечки воды, принимаемой равной 0,75% объема воды в теплопроводах тепловой сети, а также присоединенных к ним систем отопления и вентиляции зданий. Кроме того, должна предусматриваться аварийная подпитка водопроводной водой в размере до 2% объема воды в теплопроводах и системах отопления и вентиляции зданий.

Подача подпиточных насосов для открытых систем теплоснабжения составляет 0,75% объема воды в тепловой сети, системах отопления, вентиляции и горячего водоснабжения плюс максимальный часовой расход воды на горячее водоснабжение.

Количество подпиточных насосов в закрытых системах принимают не менее двух, в открытых – не менее трех, один из которых резервный.

21. Механический расчет теплопроводов

В курсовом проекте требуется определить вертикальную и горизонтальную нормативные нагрузки на одну из неподвижных опор и рассчитать по одному компенсатору каждого типа из принятых в проекте.

При расчете горизонтальной нагрузки на неподвижную опору необходимо учитывать: силы трения в подвижных опорах трубопроводов; силы трения в сальниковых компенсаторах; неуравновешенные силы внутреннего давления при применении сальниковых компенсаторов на участках теплопроводов, имеющих запорную арматуру, переходы, повороты или заглушки; силы упругой деформации при гибких компенсаторах и при самокомпенсации; силы трения трубопроводов об оболочку или силы трения оболочки о грунт при бесканальном способе прокладки; горизонтальную ветровую нагрузку при надземной прокладке теплопроводов. Горизонтальная осевая нагрузка на промежуточную неподвижную опору определяется как сумма сил, действующих с каждой стороны. Причем меньшая сумма сил, за исключением неуравновешенных сил внутреннего давления, принимается с коэффициентом 0,7. При равенстве суммарных сил с каждой стороны опоры в качестве расчетной принимается равнодействующая сил с одной стороны опоры с коэффициентом 0,3.

Горизонтальная осевая нагрузка на концевую неподвижную опору определяется как равнодействующая всех горизонтальных сил на опоре [8, прил.8].

Силы трения в сальниковом компенсаторе, N , определяют по выражению:

$$N_f^s = 2\pi P_p l_c d_n \mu_c, \quad (145)$$

где P_p – рабочее давление теплоносителя; l_c – длина сальниковой набивки по оси компенсатора, м; d_n – наружный диаметр патрубка компенсатора, м; μ_c – коэффициент трения сальниковой набивки о стакан, среднее значение которого можно принимать $\mu_c = 0,15$.

Силы трения в подвижных опорах, N , находят по формуле:

$$N_f^{op} = \mu G_h l, \quad (146)$$

где μ – коэффициент трения на подвижных опорах, принимается в зависимости от конструкции и типа опоры: для катковой или шариковой $\mu = 0,1$; для скользящих – в зависимости от конструкций. При трении стали по стали $\mu = 0,3-0,4$; стали по бетону – 0,6; чугуна по стали – 0,35; G_h – сила тяжести единицы длины теплопровода с изоляцией и водой, Н/м. Значение принимают по [7, прил.23]; l – длина участка теплопровода от рассматриваемой неподвижной опоры до компенсатора или до угла поворота, м.

Неуравновешенные силы внутреннего давления, N , возникают при применении сальниковых компенсаторов. Силы внутреннего давления передаются только на те опоры, которые расположены между неуравновешенным компенсатором и поворотом трубы, на участке с задвижкой при ее закрытии и на конечном участке с заглушкой, а также между двумя смежными участками с переходом диаметров труб.

Рассчитывают силы внутреннего давления по формуле:

$$N_p^c = a P_p F_b, \quad (147)$$

где P_p – рабочее давление теплоносителя, Па; F_b – площадь поперечного сечения трубопровода по внутреннему диаметру; a – коэффициент, равный единице, если на опору действует неуравновешенное усилие от внутреннего давления. Для опор, уравновешенных от сил внутреннего давления, коэффициент $a = 0$. Для случаев с переходом диаметров труб:

$$N_p^c = a P_p (F_{b,1} - F_{b,2}). \quad (148)$$

Распорные усилия сильфонных компенсаторов от внутреннего давления N_p^c , N ,

определяют по выражению:

$$N_p^c = P_p F_s,$$

(149)

где F_s – эффективная площадь поперечного сечения компенсатора:

$$F_s = \frac{\pi}{16(d_H^s - d_B^s)}, \quad (150)$$

где d_H^s , d_B^s – соответственно наружный и внутренний диаметры гибкого элемента компенсатора, м.

Силы упругой деформации от температурных удлинений при гибких компенсаторах и самокомпенсации N_K , Н, определяют расчетом труб на компенсацию температурных деформаций [1, С.173-184].

При бесканальной прокладке теплопроводов возникают большие усилия от трения поверхности теплопровода или поверхности теплоизоляции в грунте. Величину сил трения $N_{тр}$, Н, определяют по зависимости:

$$N_{тр} = \frac{2EF}{l} \cdot \left(\alpha \Delta t - \frac{\Delta l}{l} \right), \quad (151)$$

где E – модуль продольной упругости, для стали $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па; F – площадь поперечного сечения стенки трубы, м²; α – коэффициент линейного удлинения стали, $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ 1/°С; Δt – перепад температуры стенки трубопровода от расчетной до температуры во время монтажа, °С; Δl – расчетное температурное удлинение, м, участка теплопровода длиной l м, от опоры до компенсатора.

Для расчета усилия на неподвижную опору рекомендуется методика, изложенная в [7, С.267-268]. В [1, С.172] приводятся расчетные формулы для определения горизонтальных нагрузок на неподвижные опоры для наиболее распространенных схем. Вертикальная нагрузка определяется в соответствии с [8, прил.8, п. 1]. Расчет сальниковых и линзовых компенсаторов можно производить по методике, изложенной в [4, С.240, 241]. При этом расчетную компенсирующую способность сальникового компенсатора всегда следует принимать меньше предусмотренной конструкцией на $z = 50$ мм для каждого стакана компенсатора [3, п.7.31].

При разработке монтажной схемы выбирают типы компенсаторов и места их установки, причем по возможности предусматриваются участки с естественной самокомпенсацией (углы поворотов от 90 до 130°, Z-образные участки и др.).

При бесканальной прокладке участки естественной самокомпенсации необходимо размещать в каналах для обеспечения поперечных смещений трубопроводов. Расчет участков самокомпенсации можно производить по выражениям [10, форм.(9.13)-(9.18)].

П-образные компенсаторы следует рассчитывать по методике, изложенной в [7, С.275-277], причем при применении жестких сварных отводов расчет несколько упрощается.

Определение напряжений в компенсаторе допускается производить по упрощенным выражениям [10, форм.(9.12), (9.19), (3.20)]. Для увеличения компенсирующей способности П-образных компенсаторов их устанавливают с предварительной растяжкой, которую учитывают с помощью коэффициента ϵ , [8, табл.5], к расчетному тепловому удлинению компенсируемого участка. При определении теплового удлинения за расчетную температуру окружающей среды следует принимать температуру наружного воздуха для проектирования отопления t_o , если устанавливают размеры гибких компенсаторов или определяют расчетные напряжения в компенсаторах. Действительные напряжения находят приняв за расчетную температуру наружного воздуха во время монтажа теплопровода t_m . В целях облегчения конструктивного расчета П-образных компенсаторов составлены номограммы [4, рис.VIII.7].

При проверочных расчетах компенсаторов максимальные компенсационные напряжения не должны превышать допускаемых. Для предварительной оценки можно ориентироваться на усредненные допускаемые компенсационные напряжения при

$\tau=150^{\circ}\text{C}$ и $P_p = 1,6 \text{ МПа}$: для гибких компенсаторов с $\sigma_{\text{доп}} = 110 \text{ МПа}$; для участков самокомпенсации с $\sigma_{\text{доп}} = 80 \text{ МПа}$.

22. Тепловой расчет теплоизоляционной конструкции

При тепловом расчете требуется: выбрать толщину основного слоя изоляционной конструкции, рассчитать потери теплоты теплопроводами, определить падение температуры теплоносителя по длине теплопровода и рассчитать температурное поле вокруг трубопровода.

Толщина основного слоя изоляционной конструкции выбирается на основе технико-экономического расчета или по нормам потерь теплоты, а при заданной конечной температуре теплоносителя – в соответствии с перепадом температур.

При расчете тепловых потерь и эффективности изоляционной конструкции толщину основного слоя изоляции допускается принимать согласно с [9, прил.11, 12] или определять исходя из норм потерь теплоты:

$$\delta_n = d_n (e^{2\pi\lambda_n R_n} - 1) / 2, \quad (152)$$

где λ_n – коэффициент теплопроводности основного слоя, Вт/(м·°C); R_n – термическое сопротивление основного слоя изоляции, (м·°C)/Вт;

$$R_n = (\tau_m - t_{\text{ок}}) / q k_1, \quad (153)$$

где τ_m – расчетная среднегодовая температура теплоносителя, °C; $t_{\text{ок}}$ – расчетная температура окружающей среды, °C; q – норма потерь теплоты, Вт/м, принимаемая по табл.2 и [9, прил.4-8]; d_n – наружный диаметр теплопровода, м; k_1 – коэффициент, учитывающий изменение стоимости теплоты и теплоизоляционных конструкций в зависимости от района строительства и способа прокладки трубопровода, принимается по табл.3.

При выборе основного слоя теплоизоляционной конструкции следует руководствоваться следующим: для канальной и надземной прокладок принимать основной слой теплоизоляции с плотностью не более 400 кг/м^3 и теплопроводностью не более $0,07 \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}\text{C)}$, и ее следует принимать с учетом коэффициента увлажнения K [9, табл.3] или табл.5):

$$\lambda_n = \lambda K, \quad (154)$$

где λ – теплопроводность материала основного слоя, Вт/(м·°C) [9, прил.2].

Для теплоизоляционной конструкции из уплотняющих материалов толщину теплоизоляционного слоя определяют с учётом коэффициента уплотнения K_c [9, прил.13]:

$$\delta_n = \delta K_c \frac{(d_n + \delta)}{(d_n + 2\delta)}. \quad (155)$$

Нормы плотности теплового потока, Вт/м, через изолированную поверхность трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при числе часов работы в год более 5000 Таблица 2

Условный проход труб d , мм	Тип прокладки							
	открытый воздух		тоннель		непроходной канал		бесканальная	
	средняя температура теплоносителя, °C							
	50	100	50	100	50	90	50	90
25	13	25	10	22	10	23	24	44
32	14	27	11	24	11	24	25	47
40	15	29	12	26	12	25	27	50
50	17	31	13	28	13	28	29	54
65	19	36	15	32	15	34	33	60
80	21	39	16	35	16	36	34	61
100	24	43	18	39	17	41	35	65

125	27	49	21	44	18	42	39	72
150	30	54	24	49	19	44	43	80
200	37	65	29	59	22	54	48	89
250	43	75	34	68	25	64	51	96
300	49	84	39	77	28	70	56	105
350	55	93	44	85	30	75	60	113
400	61	102	48	93	33	82	63	121
450	65	109	52	101	36	93	67	129
500	71	119	57	109	38	98	72	138
600	82	136	67	125	41	109	80	156
700	92	151	74	139	43	126	86	170
800	103	167	84	155	45	140	93	186
900	113	184	93	170	54	151		
1000	124	201	102	186	57	158		

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

2. При применении в качестве теплоизоляционного слоя пенополиуретана, фенольного поропласта ФЛ, полимербетона q определяют с учетом коэффициента k_2 , табл. 4.

Значение коэффициента k_1

Таблица 3

Район строительства	Способ прокладки трубопровода			
	открытый воздух	тоннель	непроходной канал	бесканальная
Европейский район СНГ / 1.1-1.5, 11.1-11.2/	1,0	1,0	1,0	1,0
Урал /V11.1-V11.3/	1,02	1,03	1,03	1,0
Казахстан /X1.1-X1.3/	1,04	1,06	1,04	1,02
Средняя Азия /V1.1-V1.3, X11.1-X11.4/	1,04	1,04	1,02	1,02
Западная Сибирь /V111.1-V111.5/	1,03	1,05	1,03	1,02

Значение коэффициента k_2

Таблица 4

Материал теплоизоляционного слоя	Условный проход трубопроводов, мм			
	25 -65	80 - 150	200 - 300	350 – 500
Полимербетон	0,7	0,8	0,9	1,0
Пенополиуретан, фенольный поропласт ФЛ	0,5	0,6	0,7	0,8

При определении толщины основного слоя изоляции по нормам плотности теплового потока, а также при расчете потерь теплоты теплопроводами за расчетную температуру теплоносителя для водяных тепловых сетей принимают среднегодовую температуру воды. Среднегодовая температура воды в каждом теплопроводе определяется по выражению:

$$\tau_m = \frac{\tau_{m1}n_1 + \tau_{m2}n_2 + \dots + \tau_{m12}n_{12}}{n_1 + n_2 + \dots + n_{12}}, \quad (156)$$

где $\tau_{m1}, \tau_{m2}, \dots, \tau_{m12}$ – средняя температура теплоносителя по месяцам, определяемая по графику центрального качественного регулирования в зависимости от среднемесячных температур воздуха; n_1, n_2, \dots, n_{12} – количество часов в году по месяцам.

Значение коэффициента увлажнения K

Таблица 5

Материал теплоизоляционного слоя	Тип грунта		
	маловлажный	влажный	насыщенный водой
Армопенобетон	1,15	1,25	1,4
Битумоперлит	1,1	1,15	1,3
Битувермикулит	1,1	1,15	1,3
Битумокерамзит	1,1	1,15	1,25
Пенополиуретан	1,0	1,05	1,1
Полимербетон	1,05	1,1	1,15
Фенольный поропласт ФЛ	1,05	1,1	1,15

За расчетную температуру окружающей среды $t_{ок}$ принимают: в тоннелях, проходных каналах – 40°C ; при бесканальной прокладке, а также при прокладке в непроходных каналах – среднегодовую температуру грунта на глубине заложения оси теплопровода; при надземной прокладке – среднегодовую температуру наружного воздуха.

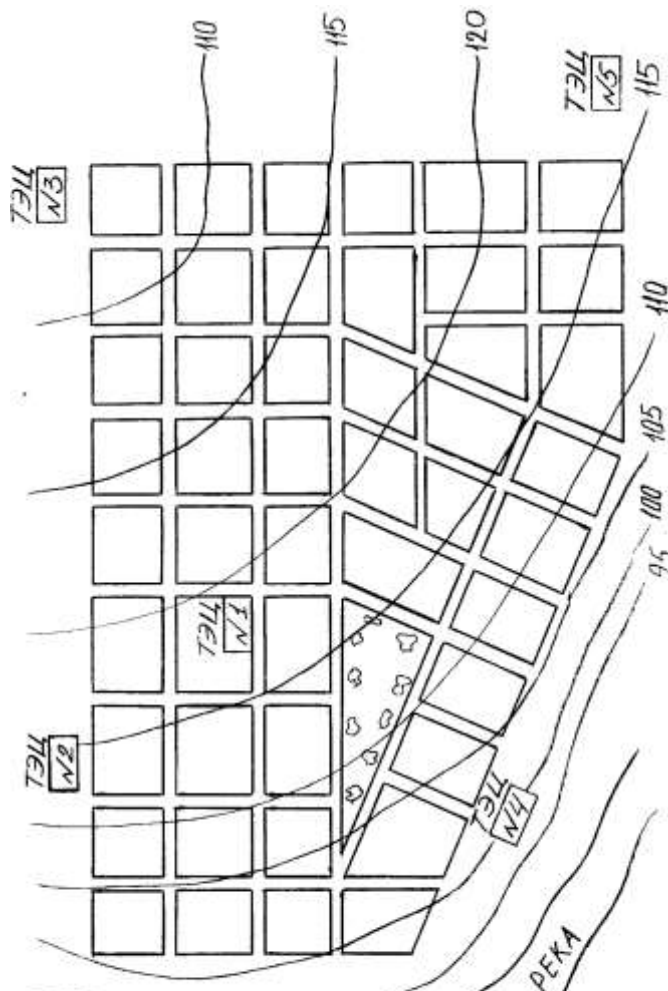
Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{и}$ на поверхностях тепловой изоляции и канала следует принимать по [6, прил.9]. Для теплопроводов, прокладываемых в каналах и от воздуха канала к стенке канала $\alpha_{и} = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Падение температуры воды по длине теплопровода необходимо определять из предположения постоянства удельных теплотерь. В этом случае температура теплоносителя в конце участка находится по [7, форм.(10.36)] или [4, форм.(X.29)]. Температурное поле грунта вокруг теплопроводов можно рассчитать по выражениям [4, форм.(X.18), (X.19)]; [3, форм.(10.29), (10.30)], при этом температуру теплоносителя для водяных тепловых сетей следует принимать по графику центрального регулирования при среднемесячной температуре наружного воздуха расчетного месяца.

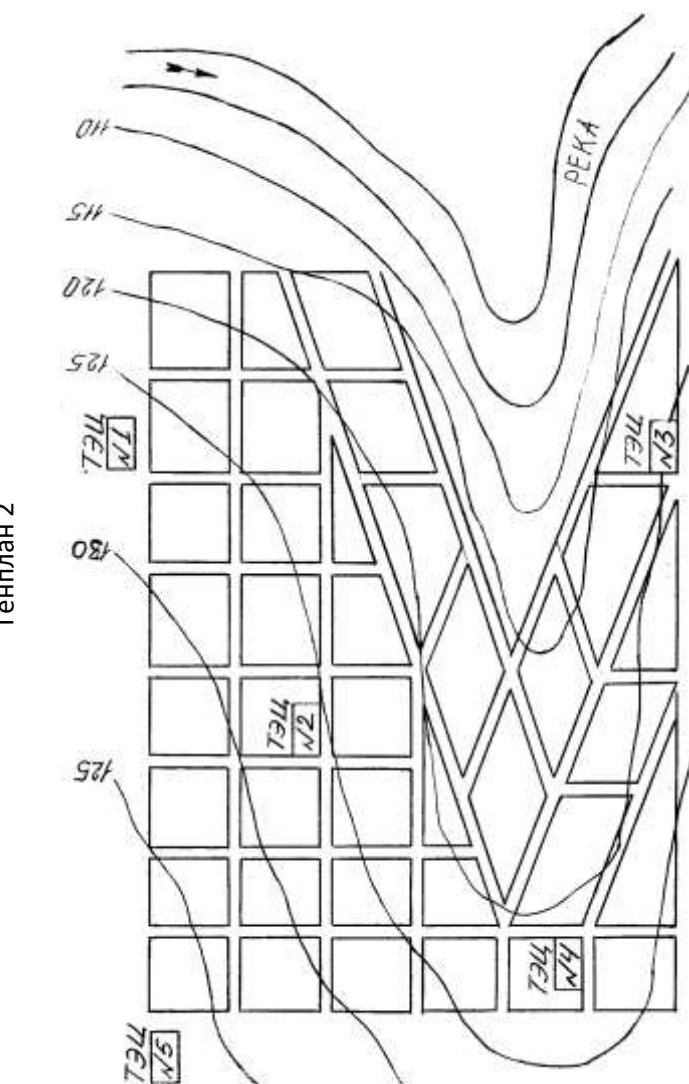
Оптимальную толщину основного слоя изоляционной конструкции рассчитывают исходя из минимальных приведенных затрат, рассматривая несколько вариантов с различной толщиной изоляционного слоя. Можно воспользоваться методикой и примером [4, С.395-396].

Приложения

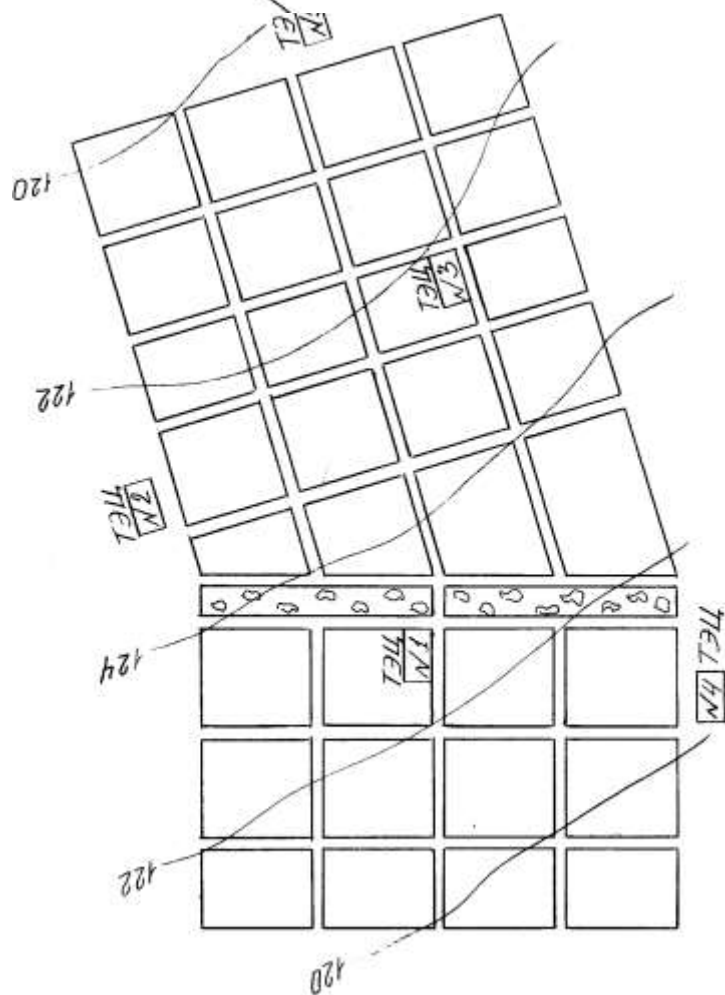
Генплан 1

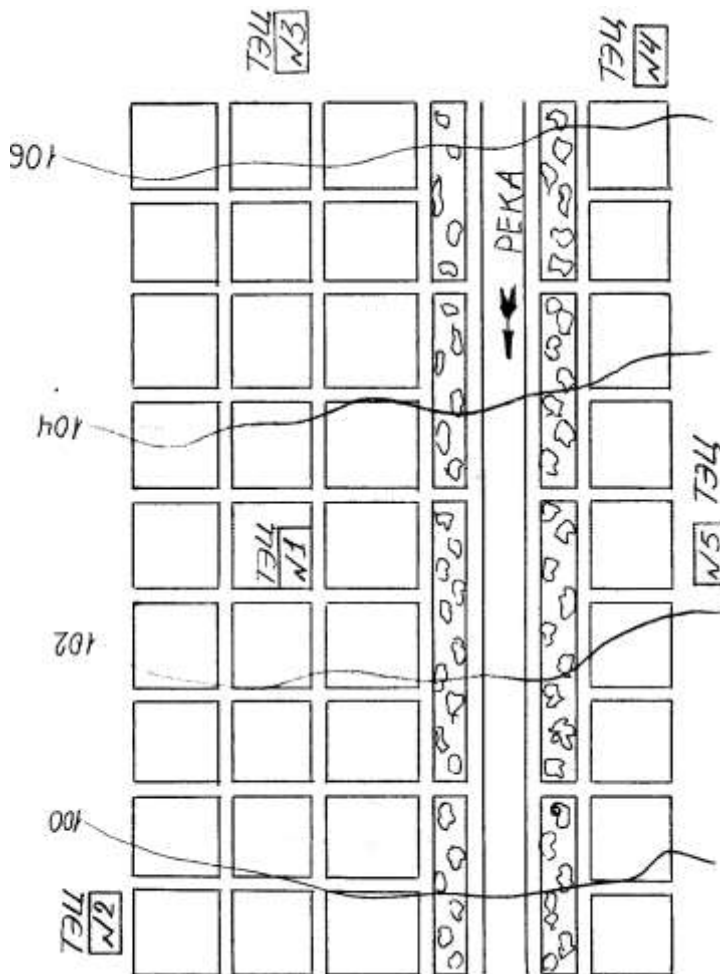


Генплан 2



Генплан 3





Методические рекомендации по подготовке к лабораторным занятиям

Ведущей целью лабораторных работ является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей). Содержанием лабораторных работ могут быть экспериментальная проверка формул, методик расчета, установление и подтверждение закономерностей, ознакомление с методиками проведения экспериментов, установление свойств веществ, их качественных и количественных характеристик, наблюдение развития явлений, процессов и др. В ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с различными приборами, установками, лабораторным оборудованием, аппаратурой, которые могут составлять часть профессиональной практической подготовки, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследование, оформлять результаты).

Лабораторные работы могут носить репродуктивный, частично - поисковый и поисковый характер.

Работы, носящие репродуктивный характер, отличаются тем, что при их проведении студенты пользуются подробными инструкциями, в которых указаны: цель работы, пояснения (теория, основные характеристики), оборудование, аппаратура, материалы и их характеристики, порядок выполнения работы, таблицы, выводы (без формулировки), контрольные вопросы, учебная и специальная литература.

Работы, носящие частично - поисковый характер, отличаются тем, что при их проведении студенты не пользуются подробными инструкциями, им не дан порядок выполнения необходимых действий, и требуют от студентов самостоятельного подбора оборудования, выбора способов выполнения работы в инструктивной и справочной литературы и др.

Работы, носящие поисковый характер, характеризуются тем, что студенты должны решить новую для них проблему, опираясь на имеющиеся у них теоретические знания.

Формы организации студентов на лабораторных работах: фронтальная, групповая и индивидуальная.

При фронтальной форме организации занятий все студенты выполняют одновременно одну и ту же работу.

При групповой форме организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2 - 5 человек.

При индивидуальной форме организации занятий каждый студент выполняет индивидуальное задание.

Оформление письменного отчета по выполненной работе в соответствии с требованиями. Письменный отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать следующие сведения:

- название работы и сведения об авторе отчета (курс, имя, фамилия);
- цель работы и формулировка используемого метода анализа;
- описание выполнения лабораторных исследований или расчетов;
- список используемой литературы.

Оценки за выполнение лабораторных работ учитывается как показатель текущей успеваемости обучающегося.

различной формы.

Лабораторное занятие 1. Определение удельной тепловой характеристики зданий различной формы.

Цель работы. Опытное определение влияния конфигурации и размеров здания на его удельную тепловую характеристику.

Основы теории. Удельная тепловая характеристика здания является показателем его теплотехнических качеств. Она представляет собой величину потерь тепла единицей объема здания в единицу времени при разности температур между внутренним и наружным воздухом в один градус:

$$q = \frac{Q}{V \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})} \quad (1.1)$$

где Q – расчетные потери через наружные ограждения всей помещениями здания, Вт;

V – объем отапливаемого здания по наружному обмеру, м³;

$t_{\text{в}} - t_{\text{н}}$ – расчетная разность температур для основных помещений здания, °С.

Опытное определение q проводится обычно на уменьшенной модели здания. Теплотери для рассматриваемого здания Q и его модели $Q_{\text{м}}$ связаны между собой соотношением

$$Q = Q_{\text{м}} \cdot \frac{\sum k \cdot F \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{м}})}{\sum k_{\text{м}} \cdot F_{\text{м}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{м}})'} \quad (1.2)$$

где F и $F_{\text{м}}$ k и $k_{\text{м}}$ - соответственно площади и коэффициенты теплопередачи наружных ограждений здания и модели, м² и Вт/м²·°С;

$t_{\text{м}}$ – среднее значение температуры теплоносителя и модели, определяемое в опыте, °С.

Т.к. $\frac{\sum k_m \cdot F_m}{\sum k \cdot F} = M_k \cdot M^2$, то потери здания определяются как

$$Q = \frac{Q_m \cdot (t_b - t_n)}{M_k \cdot M^2 \cdot (t_m - t_b)} \quad (1.3)$$

где M – линейный масштаб модели, M_k – масштаб коэффициентов теплопередачи.

Описание экспериментальной установки:

Стенд, элементом которого является модельная установка, представлен на рис.1.

В данной работе модельное исследование проводится для четырех конфигураций здания, представляющих в плане квадрат, круг, вытянутый прямоугольник, угловую конфигурацию. Модели имеют одинаковый объем V_m 0,0125 м³ по наружному обмеру, но разную поверхность F_m . Отношение площади наружной поверхности к объему для изучаемых моделей приведены в таблице 1.

Линейный масштаб моделей M 1:200. Масштаб коэффициентов теплопередачи M_k 10:1.

таблица 1.

№ модели	1	2	3	4
$F_m/V_m, \text{ м}^{-1}$	26	24	32	32

Нагретая в котле вода насосом подается в общий коллектор. Из коллектора горячая вода поступает в объемные модели. Слив воды из моделей осуществляется в канализацию.

Проведение опыта:

Групповую установку моделей зданий заполняют котловой водой. Температура фиксируется через каждые пять минут – всего необходимо произвести не менее шести замеров. Показания термодатчиков и термометра, служащего для измерения температуры окружающего воздуха, записываются в таблицу.

Обработка полученных данных:

Потери тепла для модели определяются по формуле:

$$Q_m = \frac{c \cdot G \cdot (t_{m1} - t_{m6})}{(t_6 - t_1) \cdot 60}, \quad (1.4)$$

где c – теплоемкость воды, Дж/кг⁰С, G – масса воды в модели, кг; τ_1 и τ_6 – соответственно начальное и конечное время измерений.

таблица 2.

№ опыта	Время измерения τ , мин	Температура воды в моделях, °С				Температура окружающего воздуха t_b , °С
		1	2	3	4	
1	2	3	4	5	6	7
Среднее значение t_m и t_b , °С						

Зная Q_m можно определить потери тепла моделируемых зданий. Определив Q , находятся удельные тепловые характеристики рассматриваемых зданий. Удельные тепловые характеристики определяются для $t_n = -10$ °С; -20 °С; -30 °С и представляются графической зависимостью $q=q(F/V)$.

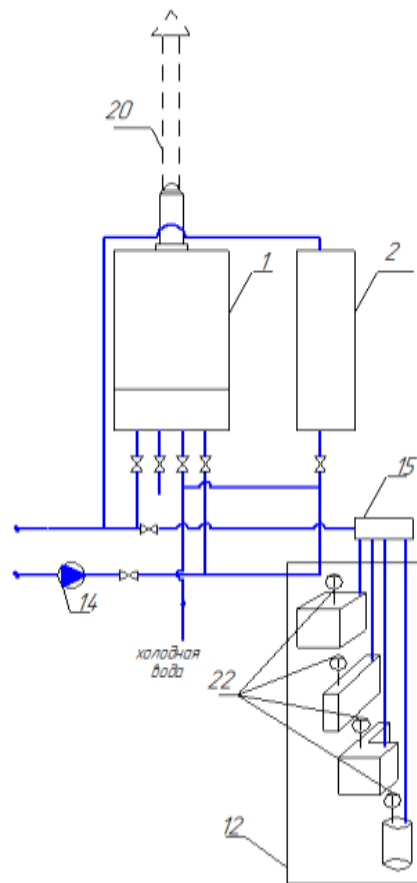


Рис.1. Модельная установка:

1- настенный газовый котел “Ariston 23-M1”; 2- электроприбор отопительный “Эван С1-5”;
12- групповая установка моделей зданий; 14- насос; 15- коллектор; 20- дымоход; 22- блок устройств для измерения и контроля температур

Лабораторное занятие 2. Регулирование теплоотдачи отопительных приборов.

Цель работы. Определение зависимости теплоотдачи отопительных приборов от температуры и расхода воды.

Основы теории. Коэффициент теплопередачи $\kappa_{\text{пр}}$ характеризует интенсивность переноса тепла от теплоносителя в отапливаемое помещение через стенки отопительного прибора.

$\kappa_{\text{пр}}$ определяют, обычно, совместным решением уравнения теплового баланса:

$$Q_{\text{пр}} = c \cdot G_{\text{пр}} (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}); \quad (1)$$

и уравнения теплопередачи:

$$Q_{\text{пр}} = \kappa_{\text{пр}} A_{\text{пр}} (t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}), \quad (2)$$

где c - удельная массовая теплоемкость воды, равная $c = 4187 \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$;

$G_{\text{пр}}$ - количество теплоносителя, проходящего через отопительный прибор, кг/с;

$t_{\text{вх}}$, $t_{\text{вых}}$, $t_{\text{в}}$ - соответственно температура воды на входе и выходе из отопительного прибора и воздуха в помещении, $^\circ\text{C}$; $A_{\text{пр}}$ - площадь теплоотдающей поверхности отопительного прибора, м^2 ; $t_{\text{ср}}$ - средняя температура воды в отопительном приборе, $^\circ\text{C}$.

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}) \quad (3)$$

Из (1) и (2) коэффициент теплопередачи отопительного прибора определяется как

$$\kappa_{\text{пр}} = \frac{c \cdot G_{\text{пр}} (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}})}{A_{\text{пр}} \left(\frac{(t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}})}{2} - t_{\text{в}} \right)} \quad (4)$$

Важным показателем теплотехнической эффективности отопительного прибора является величина удельного теплового потока

$$q_{\text{пр}} = \kappa_{\text{пр}} \cdot \Delta t_{\text{ср}} \quad (5)$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2} - t_{\text{в}} \quad (6)$$

Одной из экономических характеристик отопительного прибора является показатель теплового напряжения металла прибора

$$m = \frac{Q_{\text{пр}}}{\Delta t_{\text{ср}} \cdot M} \quad (7)$$

где $\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{ср}} - t_{\text{в}}$ - разность между средней температурой теплоносителя и температурой окружающей среды $^{\circ}\text{C}$; M - масса отопительного прибора, кг.

Чем больше m , тем более экономичен прибор по расходу металла.

Проведение опытов. Схема стенда для испытания отопительных приборов приведена на рис. 3. Первоначально система отопления заполняется холодной водой при следующем положении запорно-регулирующей арматуры: шаровые краны 14, 15, 16, 18, 19, 20 – открыты, а 21, 22 – закрыты. Воздух удаляется из системы с помощью автоматического воздухоотводчика 9. Заполнив систему теплоносителем, включают генератор тепла 1 и циркуляционный насос 8. Горячая вода по подающему магистральному теплопроводу 2 поступает в отопительные приборы: низкий конвектор «Уют» 3, секционный радиатор «Cahdor Super» 4, стальной панельный радиатор «Radson» 5. Проходя отопительные приборы, горячая вода отдает часть теплоты воздуху помещения. Охлажденная вода из приборов движется по обратному магистральному теплопроводу 6 в электродкотел 1. Значения температур воды на входе $t_{\text{вх}}$ и выходе $t_{\text{вых}}$ из приборов фиксируются с помощью датчиков 23, 24, 25. Расход теплоносителя через отопительные приборы $G_{\text{пр}}$ определяются по показаниям счетчиков 11, 12, 13.

Постоянство расхода воды в системе отопления обеспечивается неизменным уровнем воды в закрытом расширительном баке 7.

Испытания приборов проводятся только при установившемся режиме.

Температуру воздуха в помещении измеряют термометром на расстоянии 2 м от фронта отопительного прибора и на уровне 1,5 м от пола.

Определив экспериментальные значения $t_{\text{вх}}$, $t_{\text{вых}}$, $G_{\text{пр}}$ по формулам (4), (5), (6) рассчитывают, соответственно, коэффициент теплопередачи $\kappa_{\text{пр}}$, плотность теплового потока $q_{\text{пр}}$ и тепловую напряженность металла m для каждого типа отопительного прибора.

Измерения проводятся при 3-4 значениях расхода воды через приборы, который устанавливается регулирующими клапанами 13, 14, 15 и 3-4 значениях температуры горячей воды в системе, величина которой устанавливается на пульте управления электродкотла.

Результаты измерений и вычислений заносятся в табл. 3.1 и представляются в виде графиков $\kappa_{\text{пр}} = \kappa(G_{\text{пр}}, t_{\text{ср}})$, $q_{\text{пр}} = q(G_{\text{пр}}, t_{\text{ср}})$.

Таблица 1

№ Опы- та	Тип отопи- тельного прибора	$A_{\text{пр}}$, м^2	M , кг	$t_{\text{вх}}$, $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{вых}}$, $^{\circ}\text{C}$	$G_{\text{пр}}$, кг/с	$\kappa_{\text{пр}}$, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$q_{\text{пр}}$, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	m , $\frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

По данным табл. 1 дается сравнительная оценка характеристик исследованных типов отопительных приборов.

Лабораторное занятие 3. Исследование работы теплообменников.

Цель работы. Определение коэффициента теплопередачи пластинчатого теплообменника.

Коэффициент теплопередачи k_t характеризует интенсивность переноса тепла от греющего теплоносителя нагреваемому теплоносителю стенки пластин.

Лабораторное занятие 4. Исследование работы центробежных насосов.

Цель работы. Построение характеристики центробежного насоса.

Гидравлической характеристикой насоса называется зависимость напора, создаваемого насосом, от объемной подачи насоса.

Проведение опыта:

На опытной установке меняют расход воды и измеряют давление на нагнетательном патрубке центробежного насоса.

Обработка полученных данных:

По полученным данным строят зависимость напора насоса от расхода воды.

Лабораторное занятие 5. Исследование работы элеватора.

Цель работы. Определение коэффициента смешения элеватора.

Для присоединения систем отопления с расчетной температурой воды ниже температуры в подающем теплопроводе тепловой сети по зависимой схеме устанавливают элеваторы. Они обеспечивают постоянство коэффициента смешения при изменениях теплового и гидравлического режимов магистральных сетей. Принцип работы водоструйного элеватора заключается в использовании энергии воды подающей магистрали.

Проведение опыта:

На опытной установке измеряют расход и температуру воды перед элеватором, после элеватора и в обратном трубопроводе.

Обработка полученных данных:

По данным определяют коэффициент смешения водоструйного элеватора.

Лабораторное занятие 6. Определение потерь напора в трубопроводах на модели тепловой сети.

Цель работы. Изучения влияния изменения местных сопротивлений на характеристику тепловой сети.

Сопротивление сети зависит от геометрических размеров, абсолютной шероховатости внутренней поверхности трубопроводов, эквивалентной длины местных сопротивлений и плотности теплоносителя.

Проведение опыта:

На опытной установке изменяя степень открытия регулирующих кранов изменяют сопротивление абонентских установок. Измеряют давления в подающем и обратном теплопроводах всех абонентских систем.

Обработка полученных данных:

Определив падения давления по участкам сети определяют сопротивления участков и строят характеристику сети.

Лабораторное занятие 7. Расчет пьезометрического графика модели тепловой сети.

Цель работы. Построение характеристики тепловой сети.

При проектировании и эксплуатации разветвленных тепловых сетей широко используется пьезометрический график, на котором в конкретном масштабе нанесены рельеф местности, высота присоединенных зданий, напор в сети, по нему легко

определить напор (давление) и располагаемый напор (перепад давлений) в любой точке сети и абонентских системах.

Проведение опыта:

Включается опытная установка, в которой все присоединенные абоненты подключены к тепловой сети. Снимаются показания манометров, установленных в соответствующих точках.

Обработка полученных данных:

По соответствующим показаниям манометров строится пьезометрический график моделируемой тепловой сети.

Лабораторное занятие 8. Определение характеристик сопротивления для узлов систем поквартирного теплоснабжения.

Цель работы. Исследование влияния гидравлических сопротивлений замыкающего участка и подводок к отопительным приборам на величину коэффициента затекания.

Основы теории. Расход воды через прибор однотрубной системы отопления равен:

$$G_{\text{пр}} = \alpha \cdot G_{\text{ст}}, \quad (4.1)$$

где α - коэффициент затекания теплоносителя в прибор; $G_{\text{ст}}$ - расход воды, протекающей по стояку, кг/с.

Коэффициент затекания α зависит от сопротивлений элементов приборного узла. На него оказывают влияние способ присоединения отопительных приборов к стояку; расположение замыкающего участка (осевой или смещенный); естественное давление в малом циркуляционном кольце, образованном отопительным прибором с ответвлениями к нему и замыкающим участком.

Коэффициент затекания α определяет экономичность и эффективность работы системы отопления. Чем выше этот коэффициент, тем экономичнее система.

Проведение опыта:

Опыт проводится на установке. Расход теплоносителя $G_{\text{пр}}$ через отопительный прибор определяется по показаниям счетчика при открытом замыкающем участке. Для определения расхода теплоносителя через стояк закрывают замыкающий участок. Эксперимент проводится при разных расходах воды через прибор, который устанавливается с помощью шарового крана.

Обработка полученных данных:

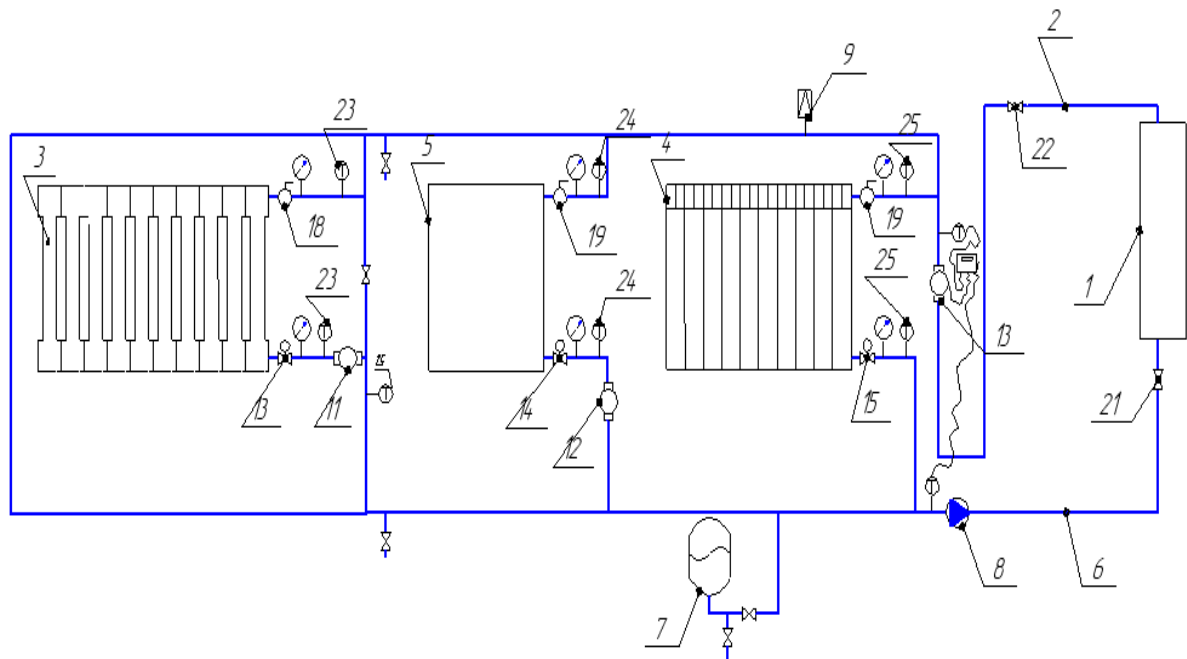
Опыт проводится на установке, схема и описание которой приведены на рис.3. Расход теплоносителя $G_{\text{пр}}$ через отопительный прибор 4 определяется по показаниям счетчика 15. Для определения расхода теплоносителя через стояк №2 необходимо из показаний счетчика 10 вычесть показания счетчиков 11 и 13. Эксперимент проводится при разных расходах воды через прибор, который устанавливается с помощью шарового крана 15.

Результаты замеров и расчетов сводятся в табл. 4.1 и представляются в виде графической зависимости коэффициента затекания от скорости воды в стояке $\alpha = \alpha(v)$ или $\alpha = \alpha(Re)$.

Таблица 4.1

Номер опыта	$G_{\text{пр}}$ кг/с	G_{10} кг/с	G_{11} кг/с	G_{13} кг/с	$G_{\text{ст}}$ кг/с	α	v м/с
1	2	3	4	5	6	7	8

Лабораторное занятие 9. Исследование статического режима тепловой сети.



Цель работы. Изучение влияния статического режима на выбор присоединения абонентских установок.

Гидростатический режим тепловой сети – это режим когда система заполнена водой с температурой до 100 °С и циркуляция отсутствует. На основе гидростатического режима из условия неперевышения допустимого давления во всех элементах оборудования, включая абонентские установки, проверяют возможность установления общей статической зоны для всей системы теплоснабжения, а также выявляют причины, препятствующие такому решению.

Проведение опыта:

Включается опытная установка, в которой все присоединенные абоненты подключены к тепловой сети. Снимаются показания манометров, установленных в соответствующих точках. Меняя давление в системе определяют давления в местах присоединения абонентских систем.

Обработка полученных данных:

Определив давление анализируют возможные схемы присоединения этих абонентов и вычерчивают соответствующие схемы.

Лабораторное занятие 10. Исследование динамического режима тепловой сети.

Цель работы. Изучение влияния динамического режима на выбор присоединения абонентских установок.

Гидродинамический режим – это режим циркуляции теплоносителя. При гидродинамическом режиме пьезометрические напоры в любой точке системы при любом расходе воды должны удовлетворять следующим требованиям: 1) не превышение допустимого давления из условия механической прочности всех элементов системы; 2) избыточное давление должно обеспечить невоскипание теплоносителя; 3) избыточное давление должно исключить явление кавитации насосов и подсосов воздуха в систему.

Проведение опыта:

Включается опытная установка, в которой все присоединенные абоненты подключены к тепловой сети. Снимаются показания манометров, установленных в соответствующих точках. Меняя расход воды в системе, сопротивление отдельных участков системы путем отключения абонентов определяют давления в местах присоединения абонентских систем.

Обработка полученных данных:

Определив давления в соответствующих точках системы на подающем и обратном трубопроводе сравнивают с допустимыми давлениями в трубопроводах и абонентских установках.

Лабораторное занятие 11. Определение КПД тепловой изоляции.

Цель работы. Оценка влияния изоляции на теплопотери отопительных труб.

При перемещении теплоносителей по трубам, проложенным в неотапливаемых помещениях, может значительно понизиться температура горячей воды (водяное отопление) и бесполезно сконденсироваться часть пара (паровое отопление). Для уменьшения бесполезных теплопотерь отопительные трубы в неотапливаемых помещениях покрывают тепловой изоляцией.

Основы теории. При перемещении теплоносителей по трубам, проложенным в неотапливаемых помещениях, может значительно понизиться температура горячей воды (водяное отопление) и бесполезно сконденсироваться часть пара (паровое отопление). Для уменьшения бесполезных теплопотерь отопительные трубы в неотапливаемых помещениях покрывают тепловой изоляцией.

Всякое покрытие горячей поверхности, которое способствует снижению потерь тепловой энергии в окружающую среду, называется тепловой изоляцией. Для тепловой изоляции могут быть использованы любые материалы с низким коэффициентом теплопроводности (газы, пористые материалы, асбест, пробка, стекловата, опилки и другие).

Качество тепловой изоляции оценивается коэффициентом полезного действия:

$$\eta_{из} = \frac{Q_{тр} - Q_{из}}{Q_{из}}, \quad (2.1)$$

где $Q_{тр}$ и $Q_{из}$ - теплопотери неизолированной и изолированной трубами, соответственно, Вт.

Толщина слоя тепловой изоляции $\delta_{из}$ определяется исходя из его термического сопротивления:

$$R_{из} = \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}, \quad (2.2)$$

где $\lambda_{из}$ - коэффициент теплопроводности материала изоляции, Вт/м·°C.

Величина $R_{из}$ должна быть не менее 0,86 м²·°C/Вт для труб $d_y \leq 25$ мм и 1,22 м²·°C/Вт для труб $d_y > 25$ мм.

Теплопотери, вызванные теплоотдачей с поверхности трубопровода, определяются изменением энтальпии теплоносителя

$$Q = cG(t_1 - t_2) \quad (2.3)$$

где c - удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/кг·°C, G - расход теплоносителя, кг/с, t_1 и t_2 - температуры в начале и конце рассматриваемого участка трубы, °C.

Описание экспериментальной установки:

Сравнительное исследование изолированного и неизолированного трубопроводов проводятся на лабораторном стенде, схема которого приведена на рис 1. Исследуемый контур состоит: регистр трубный изолированный (8), регистр трубный неизолированный (9), настенный теплообменный аппарат (6), расширительный бачок (7), фрагмент «теплый пол» (10), насос(14).

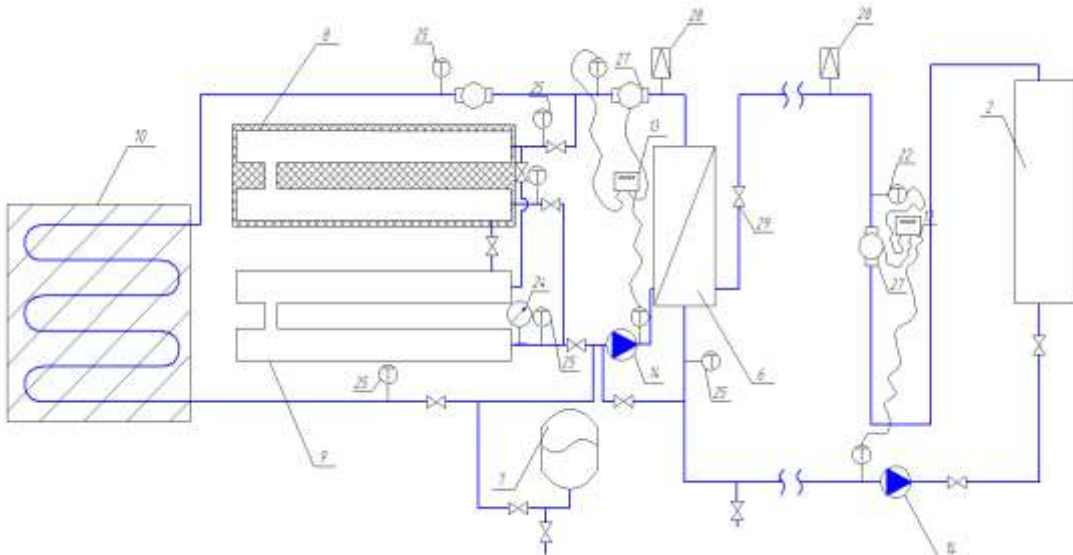
Рис. 1Проведение опыта:

Измеряется расход теплоносителя в контуре. Для этого необходимо весь поток теплоносителя пропустить через расходомер. После в контур включается изолированный трубный регистр. Снимаются показания измерителей температуры. После того, как получено достаточно показаний, изолированный трубный регистр отключают от контура. Включают в контур неизолированный регистр и снимают показания измерителей температуры.

Показания расходомера и измерителей температуры записываются в таблицу 3.

таблица 3.

№ опыт	Расход $G, \text{кг}$	Неизолированная труба			Изолированная труба			η
		$Q, \text{Вт}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$Q, \text{Вт}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	



Обработка результатов:

По средним значениям расхода G и температур t_1 и t_2 рассчитывается Q для обоих регистров и определяется η .

3. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**3.1. Рекомендуемая основная литература**

№	Название
	Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. 6-е изд., перераб.- М.: Издательство МЭИ, 2001 г., 472 с.
	Козин В.Е. и др. Теплоснабжение: учебное пособие.- М.: Высшая школа, 1980 г., 408 с.
	Подпороинов Б.Ф. Теплоснабжение [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б.Ф. Подпороинов. — Электрон. текстовые данные. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2011. — 267 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/28404.html

3.2. Рекомендуемая дополнительная литература

№	Название
---	----------

	Бирюзова Е.А. Теплоснабжение. Часть 1. Горячее водоснабжение [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.А. Бирюзова. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. — 192 с. — 978-5-9227-0420-1. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/19046.html
	Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов 2-4 курсов бакалавриата направлений 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 07.03.04 «Градостроительство», 08.03.01 «Строительство» и магистрантов направлений 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 07.04.04 «Градостроительство», 08.04.01 «Строительство» всех форм обучения / . — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. — 89 с. — 978-5-7731-0515-2. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/72948.html
	Теплоснабжение города [Электронный ресурс] : учебное пособие / . — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 58 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/55062.html
4.	Централизованное теплоснабжение [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению курсового проектирования и выпускной квалификационной работы по дисциплине «Централизованное теплоснабжение» для студентов бакалавриата всех форм обучения направления подготовки 08.03.01 Строительство / . — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 64 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/62641.html
5.	Бабкин В.Ф. Инженерные сети [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Ф. Бабкин, В.Н. Яценко, В.Ю. Хузин. — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. — 96 с. — 978-5-89040-428-2. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/22658.html
6.	Строительство, реконструкция, капитальный ремонт объектов капитального строительства. Инженерное оборудование зданий и сооружений и внешние сети. Теплоснабжение, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха [Электронный ресурс] : сборник нормативных актов и документов / . — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2015. — 379 с. — 978-5-905916-34-2. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/30242.html
7.	СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Актуализированная версия СНиП 41-02-2003 Профессиональная справочная система «Техэксперт»
8.	СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная версия СНиП 41-03-2003 Профессиональная справочная система «Техэксперт»
9.	СП 30.13330.2012 Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная версия СНиП 2.04.01-85 Профессиональная справочная система «Техэксперт»
10.	СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99* Профессиональная справочная система «Техэксперт»

3.3. Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы, интернет-ресурсы

№	Перечень
1.	Пакет офисных программ Microsoft Office
2.	Пакет офисных программ OpenOffice
3.	Операционная система Windows
4.	Autodesk, Autocad, Revit, Autodesk 3ds Max

5.	Профессиональная справочная система «Техэксперт»
1.	Научная библиотека ЧувГУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://library.chuvsu.ru
2.	Электронно-библиотечная система IPRBooks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru
3.	Электронная библиотечная система «Юрайт»: электронная библиотека для вузов и ссузов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.biblio-online.ru
4.	ЭБС «Издательство «Лань» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://e.lanbook.com/
1.	Минстрой России http://www.minstroyrf.ru/docs/
2.	Министерство строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Чувашской Республики http://minstroy.cap.ru/about
3.	Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) www.gost.ru
4.	Образовательное сообщество Autodesk http://www.autodesk.ru/adsk/servlet/pc/index?siteID=871736&id=18409945
5.	Единое окно к образовательным ресурсам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://window.edu.ru
6.	Российская государственная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rsl.ru
7.	Российская национальная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nlr.ru
8.	Научная электронная библиотека «Киберленинка» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cyberleninka.ru
9.	Сайт для проектировщиков www.dwg.ru