

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

АРХИТЕКТУРНО–СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

(наименование института полностью)

Центр

«Центр инженерного оборудования»

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Теплогасоснабжение и вентиляция

(направленность (профиль)/ специализации)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему

г. Октябрьск. Реконструкция теплоснабжения.

Участок 2.

Обучающийся

М.Д. Кузьмин

(инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.А. Анциферов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти, 2024

Аннотация

В данной бакалаврской работе запроектирована реконструкция магистральных трубопроводов тепловых сетей города Октябрьск Самарской области на основании утвержденного задания на проектирование.

В процессе работы были определены расчетные расходы сетевой воды, разработан график регулирования отпуска тепла, график часового и годового потребления тепла, построена расчетная и монтажная схема теплопровода, произведен гидравлический расчет системы теплоснабжения и подобраны диаметры трубопроводов. На основании гидравлического расчета построен пьезометрический график. Для определения глубины заложения теплотрассы построен продольный профиль. Также в проекте подобраны материалы, трубы и арматура для тепловых сетей. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части. Разработаны мероприятия по организации монтажных работ и инструкции по безопасности на производстве.

Содержание

Введение.....	5
1 Исходные данные	6
1.1 Характеристика объекта, климатологические и грунтовые условия	6
1.2 Тепловая нагрузка.....	7
1.3 Графики годового и часового потребления тепла	10
1.4 Методика регулировки отпусков теплоты	11
2 Тепловые сети.....	18
2.1 Определение расчетных расходов сетевой воды в закрытой системе теплоснабжения.....	18
2.2 Конструирование тепловой сети, построение расчетной и монтажной схем теплопроводов	20
2.3 Гидравлический расчет водяной тепловой сети	24
2.4 Построение пьезометрического графика тепловой сети	37
2.5 Определение эффективности тепловой изоляции	40
2.6 Построение продольного профиля.....	50
2.7 Компенсация температурных удлинений.....	54
2.8 Подбор сетевых насосов.....	55
3 Автоматизация индивидуального теплового пункта	59
4 Организация монтажных работ	61
4.1 Определение объемов работ	61
4.2 Определение трудоемкости работ	64
5 Безопасность и экологичность технического объекта	66
Список используемых источников.....	70
Приложение А Определение расходов сетевой воды	74
Приложение Б Определение расходов теплоты и сетевой воды на горячее водоснабжение.....	75
Приложение В Определение местного сопротивления.....	76

Приложение Г Схема автоматизированного теплового пункта	79
Приложение Д Определение типов, размеров и количества лотков каналов.	80
Приложение Ж Гидравлические характеристики сети и сетевых насосов.....	81
Приложение И Определение объемов строительного-монтажных работ.....	83
Приложение К Определение трудоемкости строительного-монтажных работ	88

Введение

«Централизованное теплоснабжение – это система, обеспечивающая теплом здания и сооружения, представляющая собой совокупность составляющих элементов: теплоисточника, тепловых сетей и местных систем теплоснабжения отдельных зданий и сооружений» [2]. Надежная работа таких систем имеет большое значение, поскольку от них зависит создание комфортных условий для жизни людей и для работы технологических процессов. С увеличением благосостояния населения растет потребность в тепле, поэтому необходимо обеспечить надежную систему теплоснабжения для всех потребителей. Цель настоящего исследования заключается в реконструкции централизованной системы теплоснабжения города Октябрьск, участка 2, обеспечивающей бесперебойную поставку тепла потребителям.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: разработать графики потребления тепла, выбрать метод регулирования и построить график отпуска тепла; рассчитать расходы сетевой воды, спроектировать тепловую сеть, провести гидравлический расчет, определить эффективность изоляции; разработать тепловую схему, определить трудоемкость монтажных работ; соблюсти требования безопасности и экологичности объекта.

1 Исходные данные

1.1 Характеристика объекта, климатологические и грунтовые условия

«Город Октябрьск расположен в западной части Самарской области на территории с координатами $53^{\circ}11'0.72''$ северной широты и $48^{\circ}46'8.55''$ восточной долготы. Население города составляет около 26 300 человек. По характеру рельефе местность равнинная, максимальный перепад геодезических отметок 8 метров» [27].

«Проект разработан на основании генплана города Октябрьск Самарской области и проектных тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение отдельных зданий» [29].

«Геологические данные района:

- Вид грунтов – суглинок;
- Уровень грунтовых вод – 10,2;
- Глубина промерзания грунта – 1,54м;
- Температура грунта среднегодовая $t_{гр}=6,8^{\circ}\text{C}$.

Климатологические данные зависят от географического местоположения жилого района и принимаются согласно «СП Строительная климатология» [27] для города Октябрьск (к расчетам принимаются параметры для г. Самара)» [29]. Для выполнения выпускной квалификационной работы необходимы следующие данные:

- Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления и вентиляции $t_{н.о}=-27^{\circ}\text{C}$;
 - Средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{от}=-4,7^{\circ}\text{C}$;
 - Продолжительность отопительного периода $n_o=196$ сут;
 - Внутри помещений требуется поддерживать $t_{в}=20^{\circ}\text{C}$
- Источником теплоснабжения является Котельная № 14

«Параметры теплоносителя котельной:

- Подающая магистраль 150 °С
- Обратная магистраль 70 °С

В таблице 1 приведены данные по «Справочнику по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей о продолжительности стояния температур» [15].

Таблица 1 – Продолжительность стояния температур

t °С	Температура наружная °С							
	-27 -25	-25 -20	-20 -15	-15 -10	-10 -5	-5 0	0 +5	+5 +8
n, ч	41	280	478	584	844	997	968	609
Σn	41	321	799	1383	2277	3224	4192	4801

1.2 Тепловая нагрузка

В «городе есть как жилые, так и общественные здания, максимальная этажность застройки – 5 этажей. Строительный объект представляет собой тепловую сеть на Участке №2 города Октябрьск, которая обеспечивает теплоснабжение для 39 здания перечисленных в таблице 2. Централизованным источником теплоснабжения является котельная. По заданию на проектирование система теплоснабжения – двухтрубная, закрытая. Подключение потребителей осуществляется по зависимой схеме. Горячее водоснабжение объектов осуществляется от теплообменников, подключенных по двухступенчатой схеме. Температура в системе ГВС 65°С» [26].

Таблица 2 – Тепловые нагрузки зданий.

№	Объект	Расчетный тепловой поток (кВт)			
		Отопление	Вентиляция	ГВС	Всего
1	Жилой дом	199	–	21,9	220,9
2	Жилой дом	199	–	21,9	220,9

Продолжение таблицы 2

№	Объект	Расчетный тепловой поток (кВт)			
		Отопление	Вентиляция	ГВС	Всего
3	Жилой дом	199	–	21,9	220,9
4	Жилой дом	199	–	21,9	220,9
5	Жилой дом	199	–	21,9	220,9
6	Жилой дом	199	–	21,9	220,9
7	Магазин	451,25	270,75	32	754
8	Жилой дом	290,58	–	37,7	328,28
9	Жилой дом	290,58	–	37,7	328,28
10	Жилой дом	157,31	–	13,57	170,88
11	Жилой дом	157,31	–	13,57	170,88
12	Жилой дом	157,31	–	13,57	170,88
13	Жилой дом	157,31	–	13,57	170,88
14	Жилой дом	157,31	–	13,57	170,88
15	Жилой дом	170,34	–	15,08	185,42
16	Жилой дом	170,34	–	15,08	185,42
17	Жилой дом	170,34	–	15,08	185,42
1	Жилой дом	199	–	21,9	220,9
2	Жилой дом	199	–	21,9	220,9
3	Жилой дом	199	–	21,9	220,9
4	Жилой дом	199	–	21,9	220,9
5	Жилой дом	199	–	21,9	220,9
6	Жилой дом	199	–	21,9	220,9
7	Магазин	451,25	270,75	32	754
8	Жилой дом	290,58	–	37,7	328,28
9	Жилой дом	290,58	–	37,7	328,28
10	Жилой дом	157,31	–	13,57	170,88
11	Жилой дом	157,31	–	13,57	170,88
12	Жилой дом	157,31	–	13,57	170,88
13	Жилой дом	157,31	–	13,57	170,88
14	Жилой дом	157,31	–	13,57	170,88
15	Жилой дом	170,34	–	15,08	185,42
16	Жилой дом	170,34	–	15,08	185,42
17	Жилой дом	170,34	–	15,08	185,42
18	Жилой дом	170,34	–	15,08	185,42
19	Жилой дом	170,34	–	15,08	185,42
20	Жилой дом	170,34	–	15,08	185,42
21	Жилой дом	170,34	–	15,08	185,42
22	Жилой дом	170,34	–	15,08	185,42
23	Жилой дом	170,34	–	15,08	185,42
24	Жилой дом	200,57	–	21,87	222,44

Продолжение таблицы 2

№	Объект	Расчетный тепловой поток (кВт)			
		Отопление	Вентиляция	ГВС	Всего
25	Жилой дом	200,57	–	21,87	222,44
26	Жилой дом	215,1	–	24,13	239,23
27	Жилой дом	215,1	–	24,13	239,23
28	Жилой дом	226,29	–	25,64	251,93
29	Жилой дом	229,63	–	26,39	256,02
30	Жилой дом	226,29	–	25,64	251,93
31	Жилой дом	206,91	–	22,62	229,53
32	Жилой дом	206,91	–	22,62	229,53
33	Жилой дом	219,94	–	24,88	244,82
34	Жилой дом	210,25	–	23,37	233,62
35	Жилой дом	215,1	–	24,13	239,23
36	Жилой дом	313,96	–	42,73	356,69
37	Жилой дом	179,02	–	16,09	195,11
38	Жилой дом	179,02	–	16,09	195,11
39	Магазин	94,56	56,74	6,8	158,1
35	Жилой дом	215,1	–	24,13	239,23
36	Жилой дом	313,96	–	42,73	356,69
37	Жилой дом	179,02	–	16,09	195,11
38	Жилой дом	179,02	–	16,09	195,11
39	Магазин	94,56	56,74	6,8	158,1
35	Жилой дом	215,1	–	24,13	239,23
36	Жилой дом	313,96	–	42,73	356,69
37	Жилой дом	179,02	–	16,09	195,11
38	Жилой дом	179,02	–	16,09	195,11
39	Магазин	94,56	56,74	6,8	158,1
Итого		7885,24	327,49	811,37	9024,1
Итого с учетом потерь тепла в тепловых сетях (8%) :		8516,06	353,69	876,28	9746,03

Данный проект предусматривает прокладку подземной двухтрубной теплосети в соответствии с утвержденным техническим заданием. Линия будет укладываться в специальные непроходимые лотки. Система горячего водоснабжения будет закрытой. Температура теплоносителя для системы отопления составит 95–70°C.

1.3 Графики годового и часового потребления тепла

«Построение часового и годового графиков теплового потребления необходимо для решения ряда вопросов централизованного теплоснабжения: определения расходов топлива, выбора оборудования источников теплоты, выбора режима загрузки и графика ремонта этого оборудования, выбора параметров теплоносителя, а также для технико-экономических расчетов при проектировании и эксплуатации системы теплоснабжения» [29].

«Для построения графика часовых расходов теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение (рис.1) в зависимости от температуры наружного воздуха и график годового расхода теплоты по продолжительности стояния температур наружного воздуха. Значения расчетных расходов теплоты составляют:

- на отопление $Q'_0 = 8,516$ МВт,
- вентиляцию $Q'_в = 0,354$ МВт,
- горячее водоснабжение $Q_{г.в} = 0,877$ МВт» [18]/

«Расчетные температуры наружного воздуха для проектирования отопления и вентиляции $t_n = -27^\circ\text{C}$ » [27].

Определяем расходы теплоты на отопление и вентиляцию при $t_n = +8^\circ\text{C}$:

$$Q_0 = Q'_0 \cdot \frac{t_B - t_n}{t_B - t_{н.о}} = 8,516 \cdot \frac{20 - 8}{20 + 27} = 2,175 \text{ МВт} \quad (1)$$

$$Q_в = Q'_в \cdot \frac{t_B - t_n}{t_B - t_{н.в}} = 0,354 \cdot \frac{20 - 8}{20 + 27} = 0,091 \text{ МВт} \quad (2)$$

«В летний период тепловые нагрузки на отопление и вентиляцию отсутствуют, остается нагрузка на горячее водоснабжение, значение которой определяем по формуле» [18]:

$$Q_{г.в}^л = \beta \cdot Q_{г.в} \cdot \frac{65 - t_{х.л}}{65 - t_{х.з}} = 0,8 \cdot 2,4 \cdot 0,877 \cdot \frac{65 - 15}{65 - 5} = 1,4 \text{ МВт} \quad (3)$$

«где β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на ГВС в неотапительный период по отношению к отопительному периоду, $\beta = 0,8$ » [18].

«Наносим на график часового расхода теплоты на отопление и ГВС значения тепловых потоков: максимальные и рассчитанные для отопления при $t_n=+8^{\circ}\text{C}$, и для ГВС в неотапительный период. Суммируем ординаты часовых графиков по видам тепловых нагрузок, строим суммарный график часового расхода теплоты $Q_{\text{сум}}$ » [18].

«Чтобы построить годовой график по месяцам используем данные по продолжительности стояния температур наружного воздуха (Рисунок 1)» [18].

1.4 Методика регулировки отпусков теплоты

Система теплоснабжения – это взаимосвязанный комплекс потребителей тепла, отличающихся как характером, так и величиной теплопотребления. Режим расхода тепла многочисленными потребителями различный. Тепловая нагрузка отопительных установок изменяется в зависимости от температур наружного воздуха. Расход тепла на горячее водоснабжение не зависит от температуры наружного воздуха, но изменяется как по часам суток, так и по дням недели. В этих условиях необходимо искусственное изменение параметров и расхода теплоносителя в соответствии с фактическими потребностями абонентов. Регулирование тепловой нагрузки помогает решить данный вопрос и повышает качество теплоснабжения [2].

По заданию городе Октябрьск «система теплоснабжения двухтрубная, закрытая, подключение потребителей по зависимой схеме» [18].

«Для определения расчетных расходов сетевой воды был построен график центрального качественного регулирования отпуска теплоты по совместной нагрузке отопления, горячего водоснабжения и вентиляции. Расчетная температура сетевой воды в подающей и обратной магистралях принимаются равным параметрам теплоносителя» [18] котельной №14 : $\tau'_{1,0}=150$ $\tau'_{2,0}=70$.

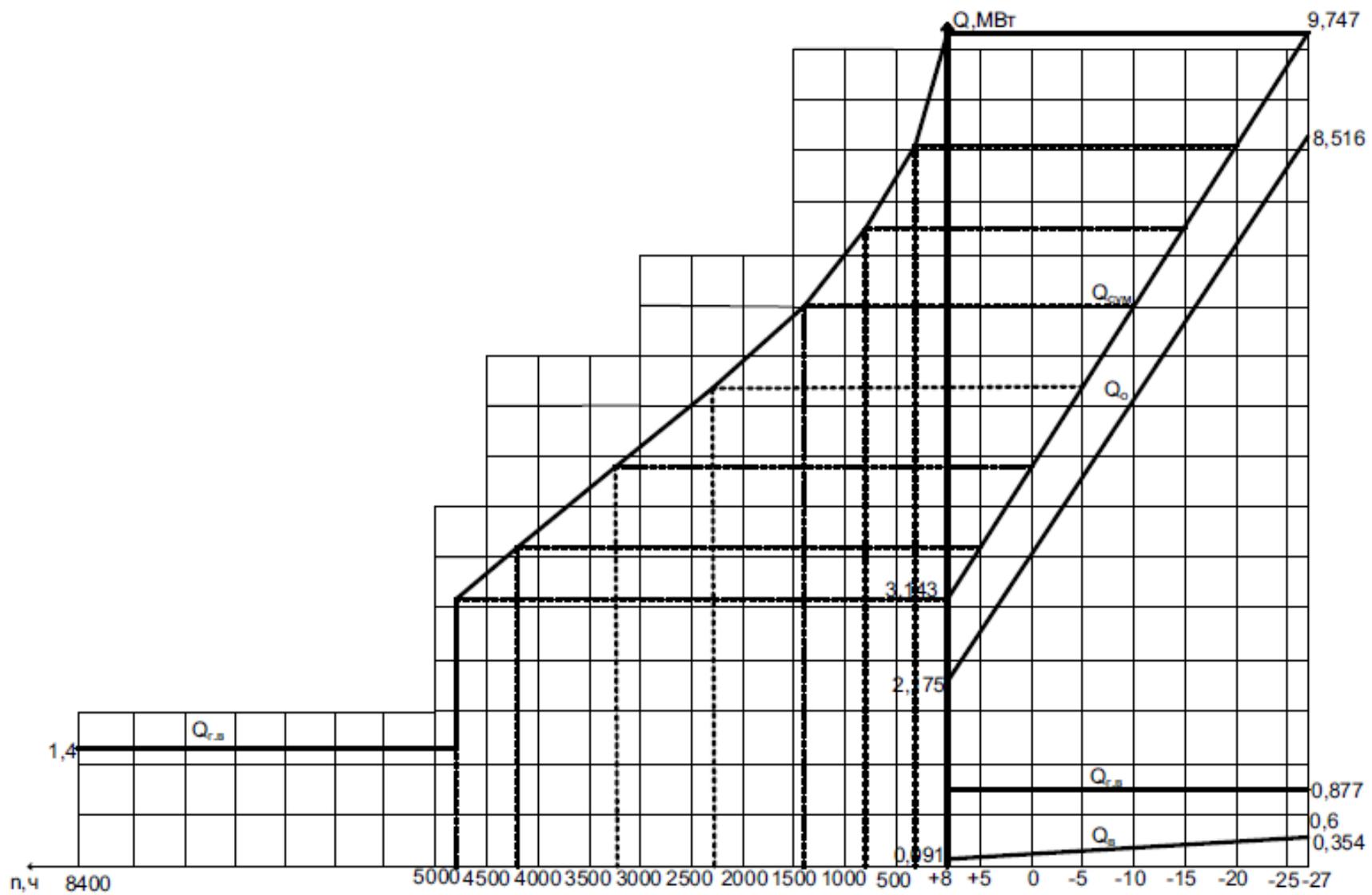


Рисунок 1 – «График часовых и годового расходов теплоты» [18]

«Температура воды в подающей и обратной магистралях, в диапазоне температур наружного воздуха +8... – 27, определены по следующим выражениям» [18]:

$$\tau_{1.0} = t_B + \Delta t'_0 \cdot \left(\frac{t_B - t_H}{t_B - t_{H.0}}\right)^{0,8} + \left(\delta\tau'_0 - \frac{\theta'}{2}\right) \cdot \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{H.0}}, \quad (4)$$

$$\tau_{2.0} = t_B + \Delta t'_0 \cdot \left(\frac{t_B - t_H}{t_B - t_{H.0}}\right)^{0,8} - \frac{\theta'}{2} \cdot \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{H.0}} \quad (5)$$

«где t_B – температура воздуха в отапливаемых помещениях, $t_B = 20^\circ\text{C}$ » [18];

« $\Delta t'_0$ – температурный напор нагревательного прибора (при расчетной температуре воды в отопительной системе $\tau'_3 = 95$ и $\tau'_{2.0} = 70$)» [18];

$$\Delta t'_0 = \frac{\tau'_3 + \tau'_{2.0}}{2} - t_B = \frac{95 + 70}{2} - 20 = 62,5^\circ\text{C} \quad (6)$$

« $\delta\tau'_0$ – расчетный перепад температур воды в тепловой сети» [18]

$$\delta\tau'_0 = \tau'_{1.0} - \tau'_{2.0} = 150 - 70 = 80^\circ\text{C} \quad (7)$$

« t_H – текущая температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$ » [18]

« θ' – расчетный перепад температур воды в местной системе отопления» [18].

$$\theta' = \tau'_3 - \tau'_{2.0} = 95 - 70 = 25^\circ\text{C}. \quad (8)$$

«Путем изменения температуры наружного воздуха t_H от +8 до -27°C , мы определяем числовые значения температур воды в подающем и обратном тепловых трубах – $\tau_{1.0}$ и $\tau_{2.0}$ » [18].

При -27°C :

$$\tau_{1.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20 + 27}{20 + 27}\right)^{0,8} + \left(80 - \frac{25}{2}\right) \cdot \frac{20 + 27}{20 + 27} = 150^\circ\text{C}$$

$$\tau_{2.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20 + 27}{20 + 27}\right)^{0,8} - \frac{25}{2} \cdot \frac{20 + 27}{20 + 27} = 7^\circ\text{C}$$

При $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\tau_{1.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20+25}{20+27}\right)^{0,8} + \left(80 - \frac{25}{2}\right) \cdot \frac{20+25}{20+27} = 144,9^{\circ}\text{C}$$

$$\tau_{2.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20+25}{20+27}\right)^{0,8} - \frac{25}{2} \cdot \frac{20+25}{20+27} = 68,4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

При $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\tau_{1.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20+20}{20+27}\right)^{0,8} + \left(80 - \frac{25}{2}\right) \cdot \frac{20+20}{20+27} = 132,4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\tau_{2.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20+20}{20+27}\right)^{0,8} - \frac{25}{2} \cdot \frac{20+20}{20+27} = 64,3\text{ }^{\circ}\text{C}$$

При $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\tau_{1.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20+15}{20+27}\right)^{0,8} + \left(80 - \frac{25}{2}\right) \cdot \frac{20+15}{20+27} = 119,6\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\tau_{2.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20+15}{20+27}\right)^{0,8} - \frac{25}{2} \cdot \frac{20+15}{20+27} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$$

При $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\tau_{1.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20+10}{20+27}\right)^{0,8} + \left(80 - \frac{25}{2}\right) \cdot \frac{20+10}{20+27} = 106,7\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\tau_{2.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20+10}{20+27}\right)^{0,8} - \frac{25}{2} \cdot \frac{20+10}{20+27} = 55,6\text{ }^{\circ}\text{C}$$

При $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\tau_{1.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20+5}{20+27}\right)^{0,8} + \left(80 - \frac{25}{2}\right) \cdot \frac{20+5}{20+27} = 93,6\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\tau_{2.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20+5}{20+27}\right)^{0,8} - \frac{25}{2} \cdot \frac{20+5}{20+27} = 51\text{ }^{\circ}\text{C}$$

При $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\tau_{1.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20-0}{20+27}\right)^{0,8} + \left(80 - \frac{25}{2}\right) \cdot \frac{20-0}{20+27} = 80,3\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\tau_{2.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20-0}{20+27}\right)^{0,8} - \frac{25}{2} \cdot \frac{20-0}{20+27} = 46,2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

При $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\tau_{1.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20-5}{20+27}\right)^{0,8} + \left(80 - \frac{25}{2}\right) \cdot \frac{20-5}{20+27} = 66,6\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\tau_{2.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20-5}{20+27}\right)^{0,8} - \frac{25}{2} \cdot \frac{20-5}{20+27} = 41\text{ }^{\circ}\text{C}$$

При $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\tau_{1.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20-8}{20+27}\right)^{0,8} + \left(80 - \frac{25}{2}\right) \cdot \frac{20-8}{20+27} = 58,2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\tau_{2.0} = 20 + 62,5 \cdot \left(\frac{20-8}{20+27}\right)^{0,8} - \frac{25}{2} \cdot \frac{20-8}{20+27} = 37,8\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Результаты расчётов заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – «Значения температур сетевой воды в подающем и обратном теплопроводах» [18].

τ	Температура сетевой воды при $t_n, ^\circ\text{C}$								
	+8	+5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-27
$\tau_{1.0}$	58,2	66,6	80,3	93,6	106,7	119,6	132,4	144,9	150
$\tau_{2.0}$	37,8	41	46,2	51	55,6	60	64,3	68,4	70

«По полученным значениям $\tau_{1.0}$ и $\tau_{2.0}$ строим график температур воды в подающей и обратной магистралях тепловой сети (Рисунок 2)» [18].

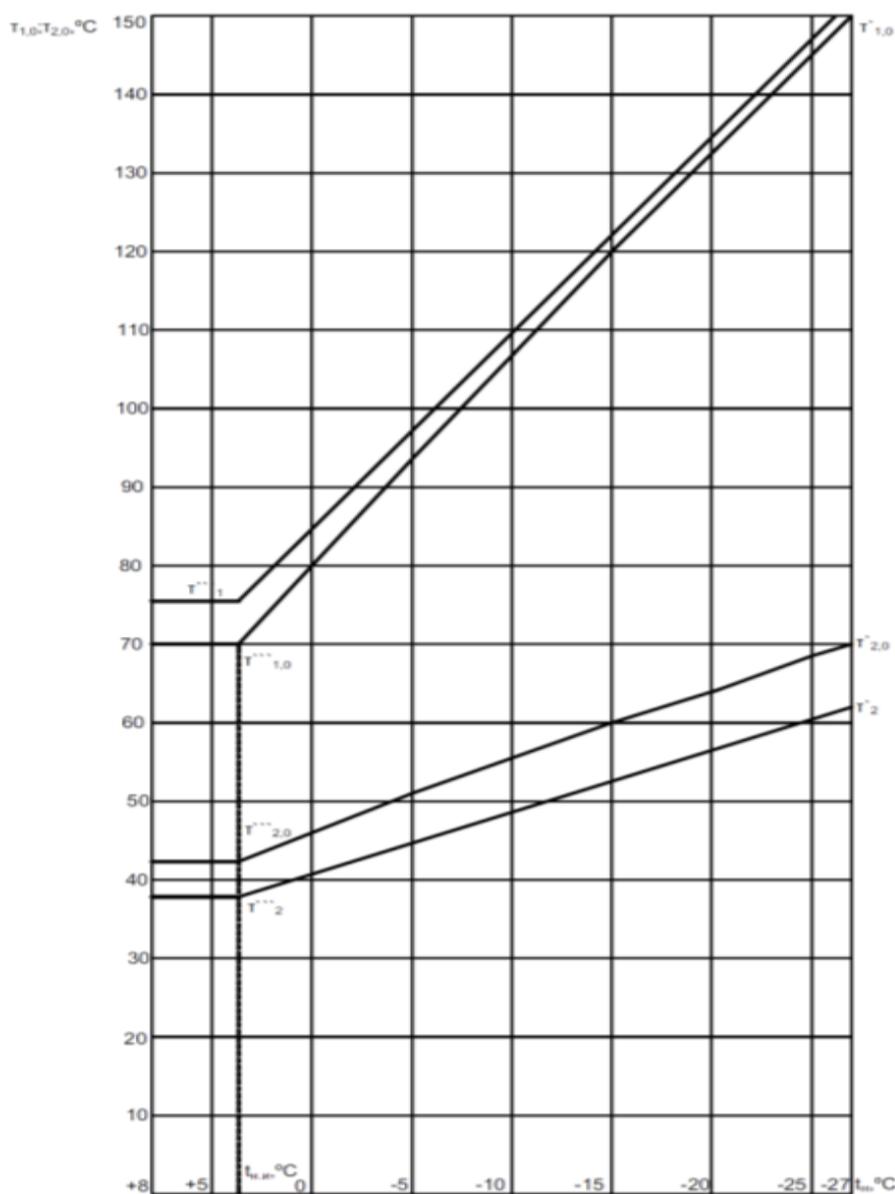


Рисунок 2 – «График температур воды в тепловой сети при центральном качественном регулировании закрытых систем по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения» [18]

Из Графика находим, что $t_{н.и} = +3,75 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, $\tau''' = 42,5 \text{ }^\circ\text{C}$.
 «Задаемся величиной недогрева водопроводной воды до температуры греющей воды в нижней ступени подогревателя $\Delta t''' = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ » [18].

«Тогда температура нагреваемой водопроводной воды после нижней будет равна:

$$t_n''' = \tau''' - \Delta t''' = 42,5 - 10 = 32,5 \text{ }^\circ\text{C} \quad (9)$$

Определяем перепад температур сетевой воды δ_2 в нижней ступени подогревателя» [18]:

при наружной температуре $t_{н.и}$:

$$\delta_2''' = \frac{1,2 * Q_{г.в.} * (t_n''' - t_{х.в.}) * (\tau_{1.0} - \tau_{2.0})}{Q_o * (t_{г.} - t_{х.в.})} \quad (10)$$

$$\delta_2''' = \frac{1,2 * 0,877 * (32,5 - 5) * (150 - 70)}{8,516 * (65 - 5)} = 4,53 \text{ }^\circ\text{C}$$

при наружной температуре $t_{н.о}$:

$$\delta_2' = \delta_2''' * (\tau_{2.0} - t_{х.в.}) * (\tau_{2.0}''' - t_{х.з.}) \quad (11)$$

$$\delta_2' = 4,53 * \frac{70 - 5}{42,5 - 5} = 7,852 \text{ }^\circ\text{C}$$

«Определим температуру сетевой воды в обратной магистрали повышенного температурного графика» [18]:

$$\tau_2 = \tau_{2.0} - \delta_2' = 70 - 7,852 = 62,15 \text{ }^\circ\text{C} \quad (12)$$

$$\tau_2''' = \tau_{2.0}''' - \delta_2''' = 42,5 - 4,53 = 37,97 \text{ }^\circ\text{C} \quad (13)$$

«Суммарный перепад температур сетевой воды в подогревателях нижней и верхней ступени» [18]:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = 1,2 * \frac{Q_{г.в.}}{Q_o} * (\tau_{1.0} - \tau_{2.0}) \quad (14)$$

$$\delta = 1,2 * \frac{0,877}{8,516} * (150 - 70) = 9,89 \text{ }^\circ\text{C}$$

«Находим перепад температур сетевой воды в верхней ступени подогревателя при $t_{н.о}$ и $t_{н.и}$ » [18]:

$$\delta_1 = \delta - \delta_2' = 9,89 - 7,852 = 2,04 \text{ }^\circ\text{C} \quad (15)$$

$$\delta''_1 = \delta - \delta_2'' = 9,89 - 4,53 = 5,36^{\circ}\text{C} \quad (16)$$

«Определяем температуру сетевой воды в подающей магистрали тепловой сети для повышенного температурного графика» [18]:

$$\tau'_1 = \tau'_{1.0} + \delta'_1 = 150 + 2,04 = 152,04^{\circ}\text{C} \quad (17)$$

$$\tau''_1 = \tau''_{1.0} + \delta''_1 = 70 + 5,36 = 75,36^{\circ}\text{C} \quad (18)$$

Полученные значения наносим на график температур воды.

Вывод по разделу 1

Определены основные параметры для дальнейшего расчета системы теплоснабжения, построены температурные графики, выбран способ регулирования отпуска теплоты.

2 Тепловые сети

2.1 «Определение расчетных расходов сетевой воды в закрытой системе теплоснабжения» [18]

«Расходы сетевой воды на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение квартала для закрытой системы теплоснабжения при центральном качественном регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения определяется согласно методике описанной в справочнике проектировщика» [21]. Расходы теплоты принимаем из таблицы 2. «Расчетный расход сетевой воды на отопление, т/ч» [18]:

$$G_0 = \frac{3,6 * Q_0}{c * (\tau_{1,0} - \tau_{2,0})} \quad (19)$$

«где Q_0 – это расчетный расход теплоты на отопление жилых и общественных зданий, кВт» [18].

« $\tau_{1,0}$ и $\tau_{2,0}$ – расчетный перепад температур сетевой воды в подающей и обратной магистралях при $t_{н,0}$, равный» [18]

$$\theta = 150 - 70 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

« c – теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/(кг $^\circ$ К)» [18]

$$G_0 = \frac{3,6 * 8516}{4,19 * 80} = 91,46 \text{ т/ч}$$

«Расчетный расход сетевой воды на вентиляцию в т/ч для каждого здания определяется при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования вентиляции и отопления $t_{н,0}$ по формуле» [18]:

$$G_B = \frac{3,6 * Q_B}{c * (\tau_{1,0} - \tau_{2,0})} \quad (20)$$

$$G_B = \frac{3,6 * 354}{4,19 * 82,04} = 3,71 \text{ т/ч}$$

«где Q_B – расчетный расход теплоты на вентиляцию, кВт» [18].

«Среднечасовой расход сетевой воды на горячее водоснабжение каждого здания, т/ч по формуле» [18]:

$$G_{Г.В}^{ср} = \frac{3,6 * Q_{Г.В}^{ср}}{c * (\tau_{1,0} - \tau_{2,0})} * \left(\frac{65 - t_n'''}{65 - t_{х,3}} + 0,2 \right) \quad (21)$$

«где t_n''' – температура нагреваемой воды после подогревателя первой ступени» [18];

« $Q_{Г.В}^{cp}$ – среднечасовой тепловой поток на горячее водоснабжение в отопительный период, кВт» [18];

« $\tau_{1.0}'''$ и $\tau_{2.0}'''$ – температуры сетевой воды в подающей и обратной магистралях тепловой сети в точке излома отопительно–бытового температурного графика» [18],

$$\tau_{1.0}''' = 70^{\circ}\text{C}, \quad \tau_{2.0}''' = 42,5^{\circ}\text{C} \quad (22)$$
$$G_{Г.В}^{cp} = \frac{3,6 * 877}{4,19 * (70 - 42,5)} * \left(\frac{65 - 32,5}{65 - 5} + 0,2 \right) = 20,32 \text{ т/ч}$$

«Суммарный расход сетевой воды в сетях при регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения определяется как сумма расчетных расходов воды на отопление и вентиляцию» [18]:

$$G_p = G_o + G_b \quad (23)$$

«Суммарный расход сетевой воды, т/ч, в распределительных сетях участка с числом жителей менее 6000 человек при двухступенчатой последовательной схеме присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения определяется с проверкой по формуле» [18]:

$$G_p = G_{Г.В}^{cp} + \frac{3,6 * (Q_o''' + Q_b''')}{c * (\tau_1''' - \tau_{2,0}''')} \quad (24)$$

«где Q_o''' и Q_b''' – расходы теплоты на отопление и вентиляцию при температуре наружного воздуха, соответствующей точке излома графика температур воды» [18];

« τ_1''' – температура сетевой воды в подающей магистрали при $t_{н.и.}$, берется по повышенному графику температур воды» [18], $\tau_1''' = 75,36^{\circ}\text{C}$;

« $\tau_{2,0}'''$ – температура сетевой воды в обратной магистрали при $t_{н.и.}$, берется по отопительно–бытовому графику» [18], $\tau_{2,0}''' = 42,5^{\circ}\text{C}$.

$$G_p = 20,32 + \frac{3,6 * (2944,4 + 122,4)}{4,19 * (75,36 - 42,5)} = 100,51 \text{ т/ч}$$

Выбираем по большему значению $100,51 > 95,2$

Расчетные расходы сетевой воды всех потребителей участка сведены в таблицу А.1 (Приложение А)

Расчетные расходы теплоты и сетевой воды на горячее водоснабжения для летнего периода сведены в таблицу Б.1 (Приложение Б)

2.2 Конструирование тепловой сети, построение расчетной и монтажной схем теплопроводов

В данной бакалаврской работе проектируются магистральные тепловые сети в соответствии с рекомендациями СП 124.13330.2012 [26]. «Построение расчетной схемы теплопроводов начинается с обозначения точки врезки тепловых сетей. Далее указывается трасса тепловых сетей внутри участка, проставляются номера объектов застройки, на расчетных участках указываются его номер, длина и расчетный расход теплоносителя» [18]. Расчетная схема представлена на рисунке 3

«После составления расчетной схемы тепловой сети приступаем к построению монтажной схемы магистрального трубопровода, на которой показываются узлы ответвлений, компенсаторы, запорная арматура, неподвижные опоры. Подающий теплопровод располагаем на схеме с правой стороны по ходу движения теплоносителя от источника теплоты» [18].

«Определив диаметры трубопроводов, в результате гидравлического расчета, размещают на монтажной схеме неподвижные опоры. Расстояние между неподвижными опорами устанавливается в зависимости от диаметра трубопровода, типа компенсатора, способа прокладки тепловых сетей, температуры и давления горячей воды. Опоры по своему назначению подразделяют на подвижные и неподвижные. Подвижные опоры воспринимают вес теплопровода и обеспечивают ему свободное перемещение на строительных конструкциях. Неподвижные опоры служат для разделения теплопроводов на участки, независимые друг от друга в восприятии усилий от температурных деформаций и внутреннего давления» [2].

«Ввиду проектирования тепловых сетей в населенной местности, предусматривается подземная прокладка в непроходных каналах и П-образные компенсаторы» [18].

«На участке между двумя неподвижными опорами предусматривается П-образный компенсатор. Повороты трассы тепловой сети под углом до 120°

используются для самокомпенсации температурных удлинений трубопроводов. Расстояние между неподвижными опорами на участках самокомпенсации принимаются не более 60% от наибольших допустимых расстояний для П-образных компенсаторов. В качестве запорной арматуры выбраны стальные задвижки» [18].

«Запорную арматуру предусматриваем на трубопроводах выводов тепловых сетей от источника теплоты, а также в узлах на трубопроводах ответвлений диаметром более 100 мм» [26].

«В нижних точках трубопроводов тепловых сетей предусматриваем штуцеры с запорной арматурой для спуска воды (спускные устройства). Спускные устройства должны обеспечить продолжительность опорожнения участка для трубопроводов $D_y \leq 300$ мм – не более 2 ч; для трубопроводов $D_y=350-500$ мм – не более 4 ч; для трубопроводов $D_y \geq 600$ мм – не более 5 ч [26]. Спуск воды осуществляется в дренажные колодцы» [18].

«В высших точках трубопроводов тепловых сетей предусматриваем штуцера с запорной арматурой для выпуска воздуха (воздушники), условный проход которых принимаем по СП 124.13330.2012 [26, Приложение 10]» [18].

«В данном проекте используются подвижные опоры скользящего типа и неподвижные щитовые опоры. Неподвижные опоры устанавливаем в местах размещения ответвлений, секционирующих задвижек, на участках самокомпенсации с углами поворота 90–130°. Промежуточные неподвижные опоры расставляем на протяженных прямолинейных участках. Максимальные расстояния между неподвижными опорами не должны превышать величин, указанных в справочнике проектировщика [21, Таблица 3.7]. Расстояние между подвижными опорами принято в зависимости от диаметра трубопровода [3, Таблица 3.1]» [18].

«Построение расчетной схемы заключается в разделении теплосети на расчетные участки. Расчетный участок – это отрезок теплопровода между двумя ответвлениями, на протяжении которого не изменяется расход теплоносителя. Расчетные участки нумеруем и указываем расходы и длины участков» [18]. Расчетные схемы в зимний и летний период представлены на рисунке 3 и рисунке 4.

Монтажная схема представлена в графической части работы на 2–м листе.

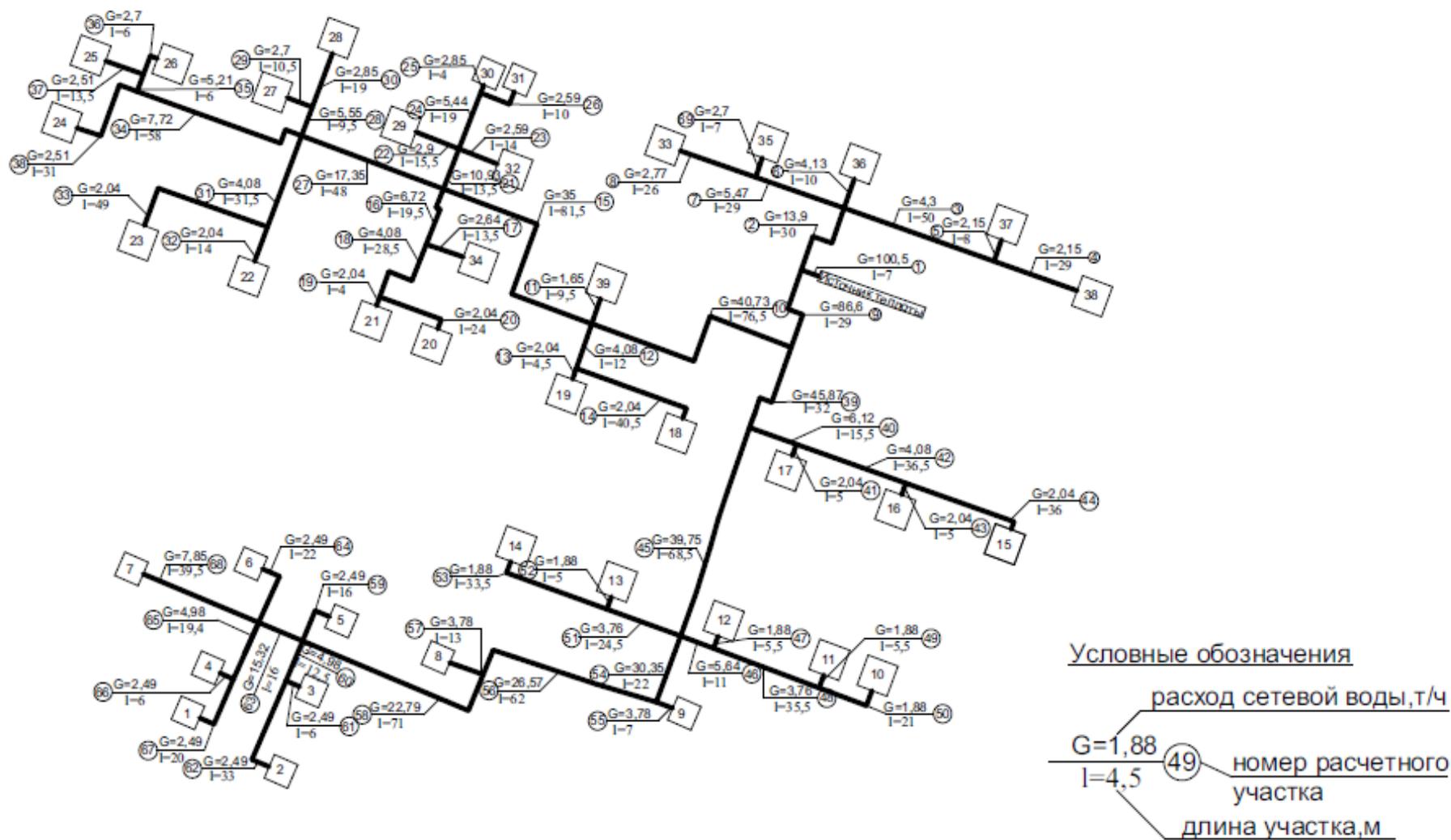


Рисунок 3 – «Расчетная схема тепловой сети для зимнего периода» [18]

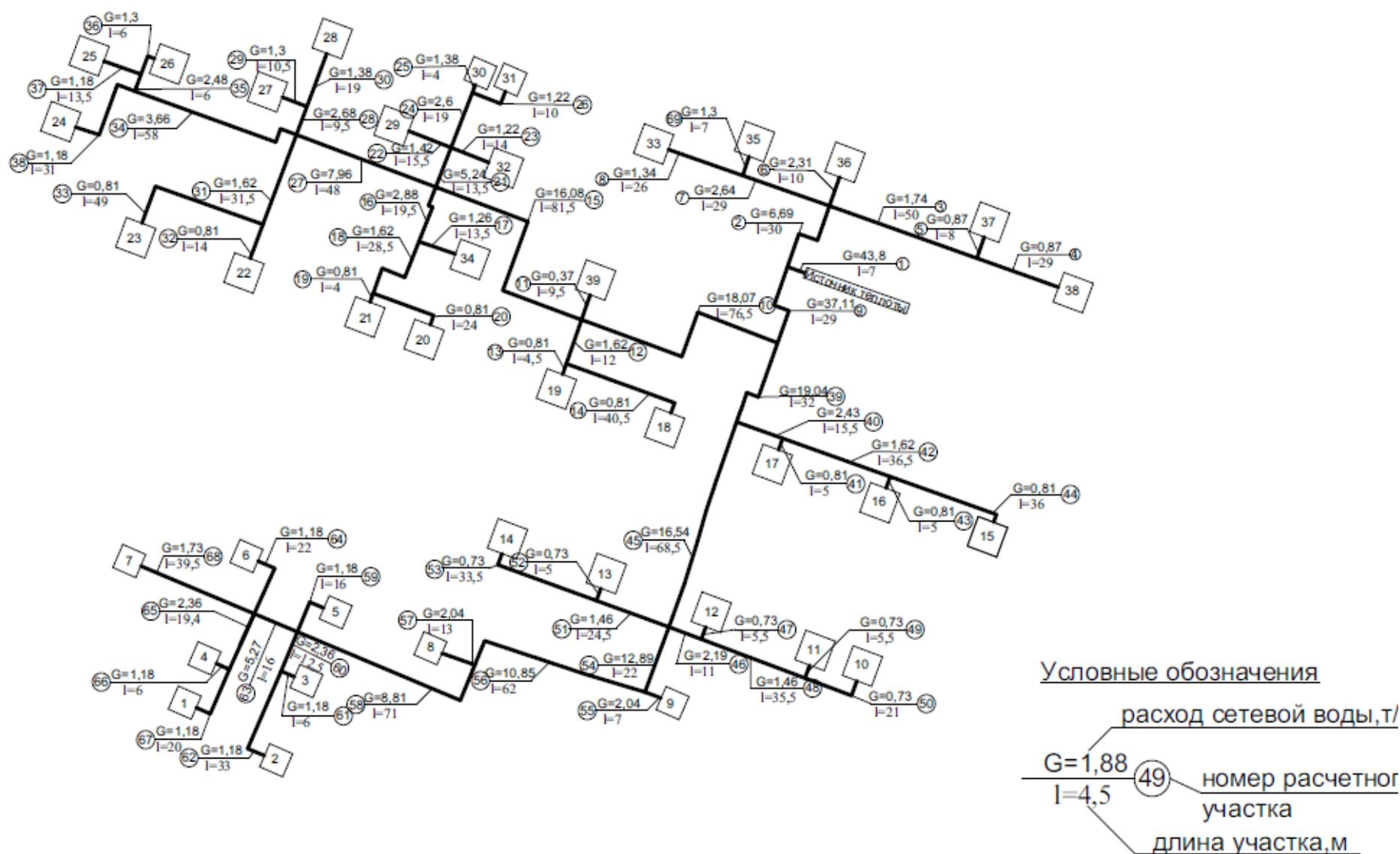


Рисунок 4 – «Расчетная схема тепловой сети для летнего периода» [18]

2.3 Гидравлический расчет водяной тепловой сети

«Основной задачей гидравлического расчета тепловых сетей является определение диаметров трубопроводов и потерь давления при заданных расходах теплоносителя» [18].

«Диаметры трубопроводов подобраны по суммарным расчетным часовым расходам теплоносителя на холодный период» [18].

«Потери давления на участках тепловой сети определяются методом удельных потерь давления на трение и приведенных длин. Удельные потери давления на трение в магистральных теплопроводах принимаем 30...80 Па/м» [18].

«Поскольку в закрытой системе теплоснабжения расходы теплоносителя в подающем и обратном теплопроводах одинаковы, гидравлический расчет выполняется для подающего теплопровода. Потери давления в обратном теплопроводе равны теплотерям давления в подающем теплопроводе» [18].

«Гидравлический расчет водяных тепловых сетей произведен согласно методике приведенной в справочнике проектировщика [21] и СП 124.13330.2012 [26]» [18]. Пример гидравлического расчета водяных тепловых сетей представлен для расчетного участка №1.

«Общие потери давления на участке (линейные и в местных сопротивлениях), определяются по формуле» [18]:

$$\Delta P = R * (l_{\phi} + l_{\text{э}}) \quad (25)$$

«где l_{ϕ} – длина участка трубопровода на плане в м» [18];

« $l_{\text{э}}$ – эквивалентная длина местных сопротивлений в м» [18];

« R – удельные потери на трения Па/м определяются по формуле» [18]:

$$R = 0,06257 * \frac{G^2}{D_{\text{в}}^5 * \gamma} \quad (26)$$

где G – расчетный расход теплоносителя на рассчитываемом участке в т/ч;

D_B – внутренний диаметр трубы в м;

γ – средний удельный вес теплоносителя на рассчитываемом участке трубопровода в кгс/м³;

λ – коэффициент гидравлического сопротивлений.

«Эквивалентная длина местных сопротивлений определяется по формуле» [21]:

$$l_э = \Sigma \xi * \frac{D_B}{\lambda} \quad (27)$$

«где $\Sigma \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений» [21].

Скорость теплоносителя определяется по формуле:

$$v = 0,354 * \frac{G}{\gamma * D_B^2}. \quad (28)$$

«Коэффициент гидравлического сопротивления λ находится по формулам зависящим от числа Рейнольдса Re и предельного значения числа Рейнольдса $Re_{пр}$ которые находятся по формулам» [21]:

$$Re = \frac{v * D_B}{\nu} \quad (29)$$

«где ν – кинематическая вязкость теплоносителя в м²/сек определяется по формуле» [21]:

$$\nu = \frac{\mu * g}{\gamma} \quad (30)$$

«где μ – динамическая вязкость теплоносителя в кгс*сек/м²» [21];

g – ускорение свободно падающего тела равное 9,8 м/сек².

Предельное значение числа Рейнольдса определяется по формуле:

$$Re_{пр} = 560 * \frac{D_B}{k_э} \quad (31)$$

«где $k_э$ – эквивалентная шероховатость трубы в м» [21].

Коэффициент гидравлического сопротивления λ находится по формулам:

При $Re \geq Re_{пр}$:

$$\lambda = \frac{1}{(1,14 + 2lg \frac{D_B}{k_э})^2} \quad (32)$$

При $Re < Re_{пр}$:

$$\lambda = \frac{1}{\left[-2 \lg \left(\frac{2,51}{Re * \sqrt{\lambda}} + \frac{k_э}{3,7 * D_B} \right)\right]^2} \quad (33)$$

«Величина невязки между потерями давления в ветках не должна превышать 10%. При невозможности уравнивать потери давления в ветках изменением диаметров труб избыточное давление гасится на абонентских вводах» [18].

«Гидравлический расчет теплопроводов для летнего периода сводится к определению потерь давления на расчетных участках сети при известных диаметрах теплопроводов (определенных для зимнего режима) и летних расчетных расходах теплоносителя. Поскольку система теплоснабжения закрытая и расходы воды в подающем и обратном теплопроводах одинаковы, гидравлический расчет выполняем только для подающей линии теплосети» [18].

«Учитывая повышение температуры холодной воды $t_{хл}$ до 15 °С для летнего периода» [18].

«Зная расчетные расходы воды (таблица 2) и потери напора по участкам для зимнего периода, определяем сопротивление каждого участка сети по формуле» [18]:

$$S = \frac{H}{G_p^2} \quad (34)$$

«где H – потери напора на участке в зимний период, м» [18];

« G_p – расчетный расход воды на участке для отопительного периода, т/ч» [18].

«Аналогично находим сопротивления других участков. Зная S и летние расчетные расходы воды по участкам, определяем потери напора на участках для летнего периода, м, по формуле» [18]:

$$H_{л} = S * G_p^{л2} \quad (35)$$

Расчет местных сопротивлений на участках сети представлен в таблице В.1 (Приложение В)

Гидравлический расчет водяной тепловой сети сведен для холодного периода сведен в таблицу 4, а для теплого в таблицу 5.

Таблица 4 – «Гидравлический расчет магистральных трубопроводов тепловой сети» [18]

№ уч-ка	Расход воды, G, т/ч	Ду, м	Факт-кая длина уч-ка l _ф , м	Экви-тная длина уч-ка, l _э , м	Приведенная длина уч-ка l _{пр} =l _ф +l _э	Ск-сть воды, v, м/с	Re	λ	Уд-ные потери дав-ния R Па/м	Потери дав-ния на уч-ке R*l _{пр}	Потери напора на уч-ке H, м	Сумма потерь давления ΣR*l _{пр} , Па	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Главная ветвь													
1	100,5	0,205	6	5,04	11,04	0,88	905396	0,0247	44,95	496,22	0,05	496,22	
9	86,6	0,205	29	21,00	50,00	0,76	780172	0,0247	33,37	1668,71	0,17	2164,94	
39	45,87	0,15	32	9,52	41,52	0,75	564760	0,0269	48,71	2022,27	0,21	4187,20	
45	39,75	0,15	68,5	21,00	89,50	0,65	489409	0,0269	36,58	3273,56	0,33	7460,77	
54	30,35	0,125	22	11,88	33,88	0,72	448410	0,0284	55,93	1894,78	0,19	9355,55	
56	26,57	0,125	62	10,56	72,56	0,63	392562	0,0284	42,86	3110,14	0,32	12465,69	
58	22,79	0,125	71	8,36	79,36	0,54	336714	0,0284	31,53	2502,59	0,26	14968,28	
63	15,32	0,1	16	6,93	22,93	0,57	282934	0,0303	46,47	1065,63	0,11	16033,90	
68	7,85	0,082	39,5	14,54	54,04	0,43	176800	0,0322	34,98	1890,35	0,19	17924,26	
Второстепенная ветвь 65–67													
65	4,98	0,069	19,4	10,80	30,20	0,39	133293	0,0340	35,24	1064,34	0,11	1064,34	
67	2,49	0,069	20	3,60	23,60	0,19	66646	0,0340	8,81	207,93	0,02	1272,27	
ΔP _{68–ΔP65–67}		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			618,08					
Ответвление 66													
66	2,49	0,05	6	3,54	9,54	0,37	91972	0,0379	49,03	467,72	0,05	467,72	
ΔP _{67–ΔP66}		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			358,29					
Ответвление 64													

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
64	2,49	0,05	22	3,26	25,26	0,37	91972	0,0379	49,03	1238,44	0,13	1238,44
ΔP66–ΔP64		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			651,91				
Второстепенная ветвь 60–62												
60	4,98	0,069	12,5	4,00	16,50	0,39	133293	0,0340	35,24	581,51	0,06	581,51
62	2,49	0,05	33	7,93	40,93	0,37	91972	0,0379	49,03	2006,70	0,20	2588,21
ΔP63–68–ΔP60–62		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			367,77				
Ответвление 61												
61	2,49	0,0395	6	1,80	7,80	0,59	116420	0,0411	172,83	1348,13	0,14	1348,13
ΔP62–ΔP61		46,48	Невязка %	2,32	На вводе гасим давление Па			979,86				
Ответвление 59												
59	2,49	0,04	16	1,37	17,37	0,57	114965	0,0409	161,58	2806,90	0,29	2806,90
ΔP63–68–ΔP59		149,08	Невязка %	5,04								
Ответвление 57												
57	3,78	0,04	13	1,50	14,50	0,87	174525	0,0409	372,36	5399,38	0,55	5399,38
ΔP58–68–ΔP57		59,19	Невязка %	1,08								
Ответвление 55												
55	3,78	0,033	7	0,81	7,81	1,28	211546	0,0438	1043,62	8153,38	0,83	8153,38
ΔP56–68–ΔP55		415,33	Невязка %	4,85								
Второстепенная ветвь 51–53												
51	3,76	0,05	24,5	7,81	32,31	0,56	138881	0,0379	111,79	3612,07	0,37	3612,07
53	1,88	0,0395	33,5	1,13	34,63	0,45	87900	0,0411	98,52	3412,11	0,35	7024,18
ΔP54–68–ΔP51–53		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			3439,31				

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Ответвление 52													
52	1,88	0,033	5	1,04	6,04	0,64	105213	0,0438	258,15	1559,90	0,16	1559,90	
ΔP53–ΔP52		46,47	Невязка %	1,36	На вводе гасим давление Па			5245,05					
Второстепенная ветвь 46–50													
46	5,64	0,05	11	2,61	13,61	0,83	208322	0,0379	251,54	3423,41	0,35	3423,41	
48	3,76	0,05	35,5	6,50	42,00	0,56	138881	0,0379	111,79	4695,35	0,48	8118,77	
50	1,88	0,04	21	1,17	22,17	0,43	86801	0,0409	92,11	2042,18	0,21	10160,95	
ΔP54–68–ΔP46–50		302,54	Невязка %	2,89									
Ответвление 49													
49	1,88	0,033	5,5	0,97	6,47	0,64	105213	0,0438	258,15	1670,53	0,17	1670,53	
ΔP50–ΔP49		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			371,65					
Ответвление 47													
47	1,88	0,033	5,5	0,97	6,47	0,64	105213	0,0438	258,15	1670,53	0,17	1670,53	
ΔP48–50–ΔP47		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			5067,00					
Второстепенная ветвь 40–44													
40	6,12	0,05	16,5	2,61	19,11	0,90	226052	0,0379	296,17	5659,87	0,58	5659,87	
42	4,08	0,05	36,5	6,50	43,00	0,60	150701	0,0379	131,63	5660,20	0,58	11320,07	
44	2,04	0,05	37	3,90	40,90	0,30	75351	0,0379	32,91	1345,94	0,14	12666,02	
ΔP45–68–ΔP40–44		1071,04	Невязка %	7,80									
Ответвление 43													
43	2,04	0,0395	5	1,80	6,80	0,48	95380	0,0411	116,00	788,89	0,08	788,89	
ΔP44–ΔP43		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			557,06					

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ответвление 41												
41	2,04	0,033	5	1,04	6,04	0,69	114168	0,0438	303,96	1836,72	0,19	1836,72
ΔP42–44–ΔP41		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			5169,42				
Второстепенная ветвь 10–38												
10	40,73	0,15	76,5	14,00	90,50	0,67	501475	0,0269	38,40	3475,37	0,35	3475,37
15	35	0,15	81,5	14,56	96,06	0,57	430927	0,0269	28,36	2723,97	0,28	6199,34
27	17,35	0,1	48	17,00	65,00	0,64	320425	0,0303	59,61	3874,33	0,40	10073,67
34	7,72	0,082	58	14,72	72,72	0,42	173872	0,0322	33,83	2460,24	0,25	12533,90
38	2,51	0,05	31	3,43	34,43	0,37	92711	0,0379	49,82	1715,25	0,17	14249,15
ΔP39–68–ΔP10–38		1510,17	Невязка %	9,58								
Второстепенная ветвь 35–37												
35	5,21	0,069	6	4,00	10,00	0,40	139449	0,0340	38,57	385,74	0,04	385,74
37	2,51	0,05	13,5	3,91	17,41	0,37	92711	0,0379	49,82	867,34	0,09	1253,08
ΔP38–ΔP35–37		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			462,18				
Ответвление 36												
36	2,7	0,04	6	1,17	7,17	0,62	124661	0,0409	189,98	1362,48	0,14	1362,48
ΔP37–ΔP36		-32,96	Невязка %	-3,80								
Второстепенная ветвь 31–33												
31	4,08	0,069	31,5	6,00	37,50	0,32	109204	0,0340	23,66	887,09	0,09	887,09
33	2,04	0,05	49	4,56	53,56	0,30	75351	0,0379	32,91	1762,56	0,18	2649,65
ΔP34–38–ΔP31–33		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			1525,84				
Ответвление 32												
32	2,04	0,0395	14	1,25	15,25	0,48	95380	0,0411	116,00	1769,40	0,18	1769,40
ΔP33–ΔP32		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			1519,00				

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Второстепенная ветвь 28–30												
28	5,55	0,069	9,5	4,00	13,50	0,43	148549	0,0340	43,77	590,93	0,06	590,93
30	2,85	0,05	19	1,97	20,97	0,42	105269	0,0379	64,23	1346,82	0,14	1937,75
ΔP34–38–ΔP28–30	0,00	Невязка %	0,00	На вводе газим давление Па				2237,74				
Ответвление 32												
29	2,7	0,0395	10,5	1,80	12,30	0,64	126239	0,0411	203,21	2499,56	0,25	2499,56
ΔP30–ΔP29	0,00	Невязка %	0,00	На вводе газим давление Па				1085,00				
Второстепенная ветвь 21–26												
21	10,93	0,069	13,5	4,00	17,50	0,85	292548	0,0340	169,77	2970,93	0,30	2970,93
24	5,44	0,069	19	10,80	29,80	0,42	145605	0,0340	42,05	1253,22	0,13	4224,15
26	2,59	0,0395	10	1,32	11,32	0,61	121096	0,0411	186,99	2116,77	0,22	6340,92
ΔP27–38–ΔP21–26	0,00	Невязка %	0,00	На вводе газим давление Па				1708,89				
Ответвление 25												
25	2,85	0,033	4	1,53	5,53	0,97	159499	0,0438	593,27	3280,43	0,33	3280,43
ΔP26–ΔP25	0,00	Невязка %	0,00	На вводе газим давление Па				545,22				
Ответвление 23												
23	2,59	0,0395	14	1,80	15,80	0,61	121096	0,0411	186,99	2954,48	0,30	2954,48
ΔP24–26–ΔP23	0,00	Невязка %	0,00	На вводе газим давление Па				2124,40				
Ответвление 22												
22	2,9	0,0395	15,5	1,80	17,30	0,69	135590	0,0411	234,43	4055,70	0,41	4055,70
ΔP24–26–ΔP22	0,00	Невязка %	0,00	На вводе газим давление Па				1023,18				
Второстепенная ветвь 16–20												
16	6,72	0,069	19,5	6,00	25,50	0,52	179865	0,0340	64,17	1636,41	0,17	1636,41
18	4,08	0,05	28,5	2,73	31,23	0,60	150701	0,0379	131,63	4110,89	0,42	5747,30

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
20	2,04	0,05	24	3,26	27,26	0,30	75351	0,0379	32,91	897,08	0,09	6644,37	
ΔP27–38–ΔP16–20		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			1405,44					
Ответвление 19													
19	2,04	0,033	4	1,58	5,58	0,69	114168	0,0438	303,96	1696,22	0,17	1696,22	
ΔP20–ΔP19		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			606,29					
Ответвление 17													
17	2,64	0,04	13,5	2,71	16,21	0,61	121891	0,0409	181,63	2943,72	0,30	2943,72	
ΔP18–20–ΔP17		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			3469,69					
Второстепенная ветвь 12–14													
12	4,08	0,05	12	2,61	14,61	0,60	150701	0,0379	131,63	1923,15	0,20	1923,15	
14	2,04	0,0395	40,5	3,16	43,66	0,48	95380	0,0411	116,00	5065,27	0,52	6988,42	
ΔP15–38–ΔP12–14		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			3785,36					
Ответвление 13													
13	2,04	0,033	4,5	1,58	6,08	0,69	114168	0,0438	303,96	1848,09	0,19	1848,09	
ΔP14–ΔP13		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			7002,54					
Ответвление 11													
11	1,65	0,033	9,5	1,96	11,46	0,56	92341	0,0438	198,85	2278,91	0,23	2278,91	
ΔP15–38–ΔP11		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			8494,88					
Второстепенная ветвь 2–8													
2	13,9	0,082	30	7,66	37,66	0,76	313060	0,0322	109,68	4130,46	0,42	4130,46	
7	5,47	0,05	29	9,11	38,11	0,81	202043	0,0379	236,60	9016,89	0,92	13147,35	
8	2,77	0,05	26	3,25	29,25	0,41	102314	0,0379	60,67	1774,71	0,18	14922,06	
ΔP9–68–ΔP2–8		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			2505,97					

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Ответвление 69													
69	2,7	0,033	7	0,72	7,72	0,92	151104	0,0438	532,46	4111,97	0,42	4111,97	
ΔP8–ΔP69		168,71	Невязка %	9,51									
Ответвление 6													
6	4,13	0,033	10	0,72	10,72	1,40	231133	0,0438	1245,83	13358,53	1,36	13358,53	
ΔP7–8–ΔP6		-60,96	Невязка %	-0,56									
Второстепенная ветвь 3–4													
3	4,3	0,05	51	7,81	58,81	0,64	158827	0,0379	146,21	8598,67	0,88	8598,67	
4	2,15	0,04	30	1,55	31,55	0,50	99267	0,0409	120,46	3800,83	0,39	12399,50	
ΔP7–8–ΔP3–4		898,07	Невязка %	8,32									
Ответвление 5													
5	2,15	0,033	8	0,97	8,97	0,73	120324	0,0438	337,63	3028,88	0,31	3028,88	
ΔP4–ΔP5		0,00	Невязка %	0,00	На вводе гасим давление Па			771,95					

Таблица 5 – «Гидравлический расчет водяных тепловых сетей для летнего периода» [18]

«№ уч–ка	Расход воды в з.п. Гр,т/ч	Потери напора на уч–ке в з.п Н,м	Сопротивление уч–ков сети $S \cdot 10^6$,	Расход воды в л.п. Гр,т/ч	Потери напора на уч–ке в л.п Н,м	Сумм–ные потери напора $\sum H, м$ [18]
1	2	3	4	5	6	7
Главная ветвь						
1	100,5	0,05	5,01	43,80	0,010	0,01
9	86,6	0,17	22,69	37,11	0,031	0,04
39	45,87	0,21	98,01	19,04	0,036	0,08
45	39,75	0,33	211,26	16,54	0,058	0,13
54	30,35	0,19	209,76	12,89	0,035	0,17
56	26,57	0,32	449,23	10,85	0,053	0,22
58	22,79	0,26	491,33	8,81	0,038	0,26
63	15,32	0,11	462,98	5,27	0,013	0,27
68	7,85	0,19	3128,07	1,73	0,009	0,28
Второстепенная ветвь 65–67						
65	4,98	0,11	4376,16	2,36	0,024	0,02
67	2,49	0,02	3419,78	1,18	0,005	0,03
Ответвление 66						
66	2,49	0,05	7692,44	1,18	0,011	0,01
Ответвление 64						
64	2,49	0,13	20368,02	1,18	0,028	0,03
Второстепенная ветвь 60–62						
60	4,98	0,06	2390,95	2,36	0,013	0,01
62	2,49	0,20	33003,29	1,18	0,046	0,06
Ответвление 61						
61	2,49	0,14	22172,04	1,18	0,031	0,03
Ответвление 59						
59	2,49	0,29	46163,78	1,18	0,064	0,06
Ответвление 57						
57	3,78	0,55	38532,99	2,04	0,160	0,16
Ответвление 55						
55	3,78	0,83	58187,06	2,04	0,242	0,24
Второстепенная ветвь 51–53						
51	3,76	0,37	26052,68	1,46	0,056	0,06
53	1,88	0,35	98441,91	0,73	0,052	0,11
Ответвление 52						
52	1,88	0,16	45004,39	0,73	0,024	0,02
Второстепенная ветвь 46–50						
46	5,64	0,35	10974,22	2,19	0,053	0,05
48	3,76	0,48	33866,07	1,46	0,072	0,12
50	1,88	0,21	58918,43	0,73	0,031	0,16

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
Ответвление 49						
49	1,88	0,17	48196,11	0,73	0,026	0,03
Ответвление 47						
47	1,88	0,17	48196,11	0,73	0,026	0,03
Второстепенная ветвь 40–44						
40	6,12	0,58	15409,06	2,43	0,091	0,09
42	4,08	0,58	34672,40	1,62	0,091	0,18
44	2,04	0,14	32979,10	0,81	0,022	0,20
Ответвление 43						
43	2,04	0,08	19329,76	0,81	0,013	0,01
Ответвление 41						
41	2,04	0,19	45004,40	0,81	0,030	0,03
Второстепенная ветвь 10–38						
10	40,73	0,35	213,62	18,07	0,070	0,07
15	35	0,28	226,75	16,08	0,059	0,13
27	17,35	0,40	1312,41	7,96	0,083	0,21
34	7,72	0,25	4209,35	3,66	0,056	0,27
38	2,51	0,17	27762,11	1,18	0,039	0,31
Второстепенная ветвь 35–37						
35	5,21	0,04	1449,06	2,48	0,009	0,01
37	2,51	0,09	14038,29	1,18	0,020	0,03
Ответвление 36						
36	2,7	0,14	19057,95	1,3	0,032	0,03
Второстепенная ветвь 31–33						
31	4,08	0,09	5433,98	1,62	0,014	0,01
33	2,04	0,18	43187,30	0,81	0,028	0,04
Ответвление 32						
32	2,04	0,18	43354,89	0,81	0,028	0,03
Второстепенная ветвь 28–30						
28	5,55	0,06	1956,23	2,68	0,014	0,01
30	2,85	0,14	16908,04	1,38	0,032	0,05
Ответвление 32						
29	2,7	0,25	34962,96	1,30	0,059	0,06
Второстепенная ветвь 21–26						
21	10,93	0,30	2535,86	5,24	0,070	0,07
24	5,44	0,13	4318,20	2,6	0,029	0,10
26	2,59	0,22	32177,06	1,22	0,048	0,15
Ответвление 25						
25	2,85	0,33	41182,63	1,38	0,078	0,08
Ответвление 23						
23	2,59	0,30	44911,07	1,22	0,067	0,07
Ответвление 22						

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
22	2,9	0,41	49174,80	1,42	0,099	0,10
Второстепенная ветвь 16–20						
16	6,72	0,17	3695,10	2,88	0,031	0,03
18	4,08	0,42	25181,84	1,62	0,066	0,10
20	2,04	0,09	21980,69	0,81	0,014	0,11
Ответвление 19						
19	2,04	0,17	41561,91	0,81	0,027	0,03
Ответвление 17						
17	2,64	0,30	43068,58	1,26	0,068	0,07
Второстепенная ветвь 12–14						
12	4,08	0,20	11780,55	1,62	0,031	0,03
14	2,04	0,52	124112,30	0,81	0,081	0,11
Ответвление 13						
13	2,04	0,19	45283,04	0,81	0,030	0,03
Ответвление 11						
11	1,65	0,23	85355,39	0,37	0,012	0,01
Второстепенная ветвь 2–8						
2	13,9	0,42	2179,92	6,69	0,098	0,10
7	5,47	0,92	30729,43	2,64	0,214	0,31
8	2,77	0,18	23585,30	1,34	0,042	0,35
Ответвление 69						
69	2,7	0,42	57516,82	1,30	0,097	0,10
Ответвление 6						
6	4,13	1,36	79860,31	2,31	0,426	0,43
Второстепенная ветвь 3–4						
3	4,3	0,88	47420,56	1,74	0,144	0,14
4	2,15	0,39	83844,45	0,87	0,063	0,21
Ответвление 5						
5	2,15	0,31	66815,55	0,87	0,051	0,05

2.4 Построение пьезометрического графика тепловой сети

«Распределение давлений в тепловых сетях изобразим в виде пьезометрического графика, который дает наглядное представление о напоре в любой точке тепловой сети и позволяет учесть многочисленные факторы (рельеф местности, высоту зданий) при выборе оптимального гидравлического режима» [2]

Пьезометрический график строится для закрытой двухтрубной тепловой сети от Котельной до УТ 17 и от УТ 5 до УТ 29 исходя из условий надежной и безопасной работы тепловых сетей. «Пьезометрический график строится на

основании данных гидравлического расчета для расчетного направления и характерных ответвлений для зимнего и летнего периода года. На основании пьезометрического графика можно определить напор и располагаемый напор в любой точке тепловых сетей; учесть взаимное влияние рельефа местности, высоты присоединенных потребителей и потерь напора в сети при разработке гидравлического режима; выбрать схемы присоединения потребителей; подобрать автоматические регуляторы и др» [18].

«Пьезометрический график строим в следующей последовательности:

1. Наносим профиль местности по расчетной магистрали;
2. Наносим высоты присоединяемых к тепловой сети зданий;
3. Наносим положение линий давлений в обратной магистрали;
4. Наносим линию давлений в подающей магистрали тепловой сети;
5. Наносим линию давлений при гидростатическом режиме» [18].

«Для зависимых схем присоединения потребителей максимальный пьезометрический статический напор не должен превышать 60 м из условия механической прочности. После построения профиля местности и нанесения высот присоединяемых потребителей строится пьезометрический график для гидростатического режима, т. е. когда отсутствует циркуляция теплоносителя в тепловых сетях, а напор в системе теплоснабжения поддерживается на заданном уровне подпиточными насосами. При таком режиме график напоров представляет собой прямую линию $S-S$, параллельную оси абсцисс» [18].

«При построении необходимо исходить из условия заполнения всех потребителей сетевой воды и создания у них избыточного напора 5 м» [18].

В этом проекте наибольшая отметка у здания №8, у которого полный статический напор в местной системе составит:

$$H_{ст} = H_3 + Z_1 \quad (36)$$

где H_3 – высота здания;

Z – геодезическая высота.

$$H_{ст}^8 = 15 + 1,3 = 16,3 \text{ м.}$$

Тогда величина полного статического напора для всей системы:

$$H_{ст} = 16,3 + 5 = 21,3 \text{ м.}$$

«После построения линии статического напора приступаем к разработке пьезометрического графика при гидродинамическом режиме, когда циркуляция теплоносителя в тепловой сети осуществляется сетевыми насосами. Разработку начинаем с построения пьезометрической линии обратной магистрали. Напор на всасывающей патрубке сетевых насосов $H_{вс}$ принимаем равным 20 м. Зная потери напора на расчетных участках, определяем значения полных напоров в обратной магистрали» [18]:

- в конце первого участка $H_1 = 20 + 0,05 = 20,05$ м;
- в конце девятого участка $H_9 = 20,05 + 0,17 = 20,22$ м;
- в конце тридцать девятого участка $H_{39} = 20,22 + 0,21 = 20,43$ м;
- в конце сорок пятого участка $H_{45} = 20,43 + 0,33 = 20,76$ м;
- в конце пятьдесят четвертого участка $H_{54} = 20,76 + 0,19 = 20,95$ м;
- в конце пятьдесят шестого участка $H_{56} = 20,95 + 0,32 = 21,27$ м;
- в конце пятьдесят восьмого участка $H_{58} = 21,27 + 0,26 = 21,53$ м;
- в конце шестьдесят третьего участка $H_{63} = 21,53 + 0,11 = 21,64$ м.

«Соединив полученные точки, получим ломаную линию A_1B_1 – пьезометрическая линия обратной магистрали. Максимальный пьезометрический напор в обратной магистрали в УТ 17 равен разности полного напора в обратной линии сети и геодезической отметки оси теплопровода, т.е. $21,62 - 1,58 = 20,04$ м, что меньше допустимого значения 60 м для зависимых схем присоединения потребителей. От точки B_1 откладываем вверх располагаемый напор на здание $H_{зд} = 21$ м, полученная точка B_2 характеризует полный напор в подающей магистрали в УТ 17 ($21,62 + 21 = 42,62$). «Зная потери напора на расчетных участках, аналогично пьезометрической линии обратной магистрали строим пьезометрическую линию подающей магистрали A_2B_2 » [18]:

- в начале шестьдесят третьего участка $H_{63} = 42,64 + 0,11 = 42,75$ м;
- в начале пятьдесят восьмого участка $H_{58} = 42,75 + 0,26 = 43,01$ м;
- в начале пятьдесят шестого участка $H_{56} = 43,01 + 0,32 = 43,33$ м;

- в начале пятьдесят четвертого участка $H_{54} = 43,33 + 0,19 = 43,52$ м;
- в начале сорок пятого участка $H_{45} = 43,52 + 0,33 = 43,85$ м;
- в начале тридцать девятого участка $H_{39} = 43,85 + 0,21 = 44,06$ м;
- в начале девятого участка $H_9 = 44,06 + 0,17 = 44,23$ м;
- в начале первого участка $H_1 = 44,23 + 0,05 = 44,28$ м.

«Точка A_2 характеризует напор на коллекторе подающей магистрали тепловой сети, равный 44,24 м. От точки A_2 откладываем вверх потери напора в теплоподготовительной установке источника теплоснабжения $H_{ит} = 20$ м. Полученная точка A_3 характеризует напор на нагнетательном патрубке сетевого насоса, равный $44,28 + 20 = 64,28$ м, что не превышает допустимого значения 160 м из условия прочности стальных трубопроводов и арматуры.

Напор, развиваемый сетевыми насосами, равен:

$$H_{сн} = H_{под} + H_{обр} + H_{зд} + H_{ит} = 1,64 + 1,64 + 21 + 20 = 44,28 \text{ м} \quad (37)$$

Минимальный пьезометрический напор в подающем теплопроводе в камере УТ 15 равен разности полного напора в подающей линии сети и геодезической высоты оси трубопровода, т.е. $42,75 - 2 = 40,75$ м, что превышает минимально допустимый пьезометрический напор 40 м из условия не вскипания теплоносителя с температурой 150 °С.

Таким образом, разработанный для статического и гидродинамического режимов пьезометрический график обеспечивает возможность присоединения всех абонентов по зависимой схеме.

Пьезометрические графики представлены на 3–м и 4–м листах графической части работы» [18].

2.5 Определение эффективности тепловой изоляции

«Тепловая изоляция для тепловых сетей должна предусматриваться для трубопроводов, арматуры, фланцевых соединений, компенсаторов и опор труб независимо от температуры теплоносителя и места прокладки» [18].

«Толщина основного слоя теплоизоляционной конструкции трубопроводов определяется по нормам плотности теплового потока или на основании технико-экономических расчетов, а при заданной конечной температуре теплоносителя – в соответствии с величиной перепада температур» [18].

Предельная толщина теплоизоляционной конструкции (включая защитное покрытие) не должна превышать величин, приведенных в СП 61.13330.2010 [28].

«При расчетах тепловой изоляции следует принимать:

Температуру воды в тепловой сети – среднюю за год;

Расчетную температуру окружающей среды – в тоннелях (проходных каналах) – 40°C, при надземной прокладке – среднюю годовую, в каналах или при глубине заложения оси теплопровода» [18].

Для основного слоя теплоизоляционных конструкций для всех видов прокладок, кроме бесканальной, следует принимать материалы со средней плотностью не более 400 кг/м³ и теплопроводностью не более 0,07 Вт/(м*°C) при температуре материала 25 °C.

В данной бакалаврской работе запроектирована конструкция тепловой изоляции трубопроводов матами минераловатными прошивными без обкладок по ГОСТ 21880–2011 с защитой гидроизоляционным рулонным кровельным материалом.

«Маты изготовлены из тончайших взаимопереплетающихся волокон, получаемых из силикатных расплавов металлургических шлаков, прошитых специальными нитями. Теплоизоляционные свойства матов, как и минераловатной продукции, в целом, обусловлены содержанием в них большого количества воздушных пор и каналов –95% от общего объема, содержащих воздух в неподвижном состоянии, теплопроводность которого очень мала. Минеральная вата не является источником загрязнения воздушной среды, подтверждено гигиеническим сертификатом» [28].

Плотность утеплителя МП–100 составляет 85–110 кг/м³. Теплопроводность при 398 К (125°С), не более : 0,038Вт/м°С .

$$\tau_{\text{ср}}^1 = 90^\circ\text{C} \qquad \tau_{\text{ср}}^2 = 50^\circ\text{C}.$$

Определяем эквивалентные наружный и внутренний диаметр канала КЛ

$$d_{\text{н.э.}} = \frac{4 \cdot F_{\text{н}}}{P_{\text{н}}} = \frac{4 \cdot 0,77 \cdot 0,55}{2 \cdot (0,77 + 0,55)} = 0,64 \text{ м} \quad (38)$$

$$d_{\text{в.э.}} = \frac{4 \cdot F_{\text{в}}}{P_{\text{в}}} = \frac{4 \cdot 0,6 \cdot 0,45}{2 \cdot (0,6 + 0,45)} = 0,51 \text{ м} \quad (39)$$

где $F_{\text{н}}$ и $F_{\text{в}}$ – площадь сечения канала по наружным и внутренним размерам, м²;
 $P_{\text{н}}$ и $P_{\text{в}}$ – периметр сечения канала по наружным и внутренним размерам, м.

Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности канала и наружной поверхности гидроизоляционного материала» [18] принимаю равным $\lambda = 8,15$ Вт/(м·°К) [26].

Термическое сопротивление на внутренней поверхности канала» [18]:

$$R_{\text{п.к.}} = \frac{1}{\pi \cdot d_{\text{в.э.}} \cdot \lambda'} \quad (40)$$

$$\text{Для канала КЛ 60–45: } R_{\text{п.к.}} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,51 \cdot 8,15} = 0,077 \text{ м} \cdot \text{°К} / \text{Вт}.$$

$$\text{Для канала КЛ 90–45: } R_{\text{п.к.}} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 8,15} = 0,055 \text{ м} \cdot \text{°К} / \text{Вт}.$$

$$\text{Для канала КЛ 90–60: } R_{\text{п.к.}} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,72 \cdot 8,15} = 0,054 \text{ м} \cdot \text{°К} / \text{Вт}.$$

$$\text{Для канала КЛ 120–60: } R_{\text{п.к.}} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 8,15} = 0,049 \text{ м} \cdot \text{°К} / \text{Вт}.$$

Приняв коэффициент теплопроводности конструкции канала $\lambda_{\text{к}} = 2,04$ Вт/(м·°К) [26] , нахожу термическое сопротивление стенок канала КЛ 60–45:

$$R_{\text{к}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{к}}} \cdot \ln \frac{d_{\text{н.э.}}}{d_{\text{в.э.}}}, \quad (41)$$

$$R_k = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,04} \cdot \ln \frac{0,64}{0,51} = 0,0175 \text{ м} \cdot \text{°К} / \text{Вт}.$$

Таблица 6 – «Термическое сопротивление теплопередачи канала» [18]

Размеры канала		Площадь сечения канала	Периметр канала	Эквивалентный диаметр		Коэффициент теплопроводности	Сопротивления канала
а	б			дв	дн		
м	м	м ²	м	м	м	Вт/(м°К)	(м°К)/Вт
КЛ 60–45							
0,6	0,45	0,27	2,1	0,51	0,64	2,04	0,0175
КЛ 90–45							
0,9	0,45	0,41	2,7	0,6	0,72	2,04	0,0147
КЛ 90–60							
0,9	0,6	0,54	2,4	0,72	0,86	2,04	0,0136
КЛ 120–60							
1,2	0,6	0,72	3,6	0,8	0,96	2,04	0,0142

Термическое сопротивление грунта при значении его коэффициента теплопроводности $\lambda_{гр} = 1,93 \text{ Вт}/(\text{ м} \cdot \text{°К})$ [26 табл. В.6]:

$$R_{гр} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln \frac{4 \cdot h}{d_{н.э.}}, \quad (42)$$

где h – глубина заложения канала, м.

Канал КЛ 60–45 $R_{гр} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,93} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,2}{0,7} = 0,1665 \text{ м} \cdot \text{°К} / \text{Вт}.$

Канал КЛ 90–45 $R_{гр} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,93} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,2}{0,81} = 0,156 \text{ м} \cdot \text{°К} / \text{Вт}.$

Канал КЛ 90–60 $R_{гр} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,93} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,2}{0,86} = 0,142 \text{ м} \cdot \text{°К} / \text{Вт}.$

Канал КЛ 120–60 $R_{гр} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,93} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1}{1,1} = 0,1177 \text{ м} \cdot \text{°К} / \text{Вт}.$

Общее термическое сопротивление канала грунта» [18]:

$$R_o = R_k + R_{п.к.} + R_{гр}, \quad (43)$$

Канал КЛ 60–45 $R_o = 0,0175 + 0,077 + 0,1665 = 0,3 \text{ м} \cdot \text{°К} / \text{Вт}.$

Канал КЛ 90–45 $R_o = 0,0147 + 0,055 + 0,156 = 0,226 \cdot \text{°К} / \text{Вт}.$

Канал КЛ 90–60 $R_o = 0,0136 + 0,054 + 0,142 = 0,21 \cdot \text{°K} / \text{Вт}$.

Канал КЛ 120–60 $R_o = 0,0142 + 0,049 + 0,1177 = 0,181 \text{ м} \cdot \text{°K} / \text{Вт}$.

Так как диаметры подающего и обратного теплопровода одинаковы и одинакова толщина изоляционного слоя термическое сопротивление основного слоя изоляции для каждой трубы» [18]:

$$R_{и} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{и}} \cdot \ln \frac{d_{и}}{d_{н}}, \quad (44)$$

где $\lambda_{и}$ – коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$;
 $d_{и}$ – наружный диаметр теплопровода с учетом слоя изоляции, $d_{и} = 0,379 \text{ м}$.

$$R_{и} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,038} \cdot \ln \frac{0,379}{0,219} = 2,298 \text{ м} \cdot \text{°K} / \text{Вт}.$$

Термическое сопротивление покровного слоя для каждой трубы:

$$R_{пс} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{пс}} \cdot \ln \frac{d_{пс}}{d_{и}}, \quad (45)$$

где $\lambda_{пс}$ – коэффициент теплопроводности покрытия из
Г
ИПС – наружный диаметр теплопровода с учетом покровного слоя, $d_{пс} = 0,389$
М.

$$R_{пс} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,175} \cdot \ln \frac{0,389}{0,379} = 0,0237 \text{ м} \cdot \text{°K} / \text{Вт}.$$

И
Т
з
е
о
р
л
М
я
и

$$R_{п.п.} = \frac{1}{\pi \cdot d_{пс} \cdot \lambda'}, \quad (46)$$

$$R_{п.п.} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,389 \cdot 8,15} = 0,1 \text{ м} \cdot \text{°K} / \text{Вт}.$$

Суммарное термическое сопротивление каждой трубы» [18]:

$$\sum R = R_{и} + R_{пс} + R_{п.п.}, \quad (47)$$

И
е
о
с
н
к
н
о

$$\sum R = R_{\text{и}} + R_{\text{пс}} + R_{\text{пп}} = 2,298 + 0,0237 + 0,1 = 2,422 \text{ м} \cdot \text{°K} / \text{Вт}.$$

Температура воздуха в канале:

$$t_{\text{к}} = \frac{\frac{\tau_1}{\sum R} + \frac{\tau_2}{\sum R} + \frac{t_o}{R_o}}{\frac{\tau_1}{\sum R} + \frac{\tau_2}{\sum R} + \frac{t_o}{R_o}}, \quad (48)$$

где τ_1, τ_2 – среднегодовые температуры теплоносителя в подающей и обратной магистрали.

$$\text{Для Д 219х6мм } t_{\text{к}} = \frac{\frac{90}{2,422} + \frac{50}{2,422} + \frac{6,8}{0,142}}{\frac{1}{2,422} + \frac{1}{2,422} + \frac{1}{0,142}} = 15,01 \text{°C}.$$

Удельные теплотери изолированными подающими и обратными теплопроводами» [18]:

$$q_1 = \frac{\tau_1 - t_{\text{к}}}{\sum R} = \frac{90 - 15,01}{2,422} = 36,96 \text{ Вт/м};$$

$$q_2 = \frac{\tau_2 - t_{\text{к}}}{\sum R} = \frac{50 - 15,01}{2,422} = 14,44 \text{ Вт/м}.$$

Суммарные удельные теплотери изолированных теплопроводов» [18]:

$$q^{\text{и}} = q_1 + q_2 \quad (49)$$

$$q^{\text{и}} = 30,96 + 15,01 = 45,4 \text{ Вт/м}.$$

Термическое сопротивление на поверхности неизолированного теплопровода»

$$R_{\text{н}} = \frac{1}{\pi \cdot d_{\text{н}} \cdot \lambda'}, \quad (50)$$

$$R_{\text{н}} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,219 \cdot 40} = 0,0364 \text{ м} \cdot \text{°K} / \text{Вт}.$$

Температура воздуха в канале при неизолированных теплопроводах» [18]:

$$t_K^H = \frac{\frac{90}{0,0364} + \frac{50}{0,0364} + \frac{6,8}{0,181}}{\frac{1}{0,0364} + \frac{1}{0,0364} + \frac{1}{0,181}} = 64,23^\circ\text{C}.$$

Удельные теплотери неизолированных подающего и обратного теплопроводов» [18]:

$$q_1^H = \frac{\tau_1 - t_K^H}{R_H} = \frac{90 - 64,23}{0,0364} = 708,86 \text{ Вт/м};$$

$$q_2^H = \frac{\tau_2 - t_K^H}{R_H} = \frac{50 - 64,23}{0,0364} = -391,4 \text{ Вт/м}.$$

Суммарные теплотери неизолированных теплопроводов» [18]:

$$q^H = q_1^H + q_2^H, \quad (51)$$

$$q^H = 708,86 - 391,40 = 317,46 \text{ Вт/м}.$$

Эффективность тепловой изоляции» [18]:

$$\eta = \frac{q^H - q^H}{q^H} \cdot 100\%, \quad (52)$$

$$=$$

Расчёт эффективности теплоизоляции для каждого УТ сведён в таблицу 7.

Эффективность изоляции составляет 86–89%, что является хорошим показателем минимизации тепловых потерь.

Толщины изоляционного слоя, объем тепловой изоляции и площадь покровного слоя сведены в таблицу 8.

Таблица 7 – Расчет эффективности изоляционной конструкции

№№ участка	1; 9	39; 45; 10; 15	54; 56; 58	63; 27	68; 34; 2	65; 67; 60; 35; 31; 28; 21; 24; 16	66; 64; 62; 51; 46;48;40; 42;44;38; 37;33;30; 18; 20; 12; 7; 8;3	61;59;57; 50;43;36; 32;29; 26;23	55; 52; 49; 47; 41; 25; 19; 13; 11; 69; 6; 5;
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
dy	0,2	0,15	0,125	0,1	0,08	0,065	0,05	0,04	0,032
дн	0,219	0,159	0,133	0,108	0,089	0,076	0,057	0,045	0,038
Толщина изоляции	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06
ди	0,379	0,319	0,293	0,268	0,249	0,196	0,177	0,165	0,158
дпс	0,389	0,329	0,303	0,278	0,259	0,206	0,187	0,175	0,168
Тип канала	КЛ 120–60	КЛ 120–60	КЛ 120–60	КЛ 90–60	КЛ 90–60	КЛ 60–45	КЛ 60–45	КЛ 60–45	КЛ 60–45
Внутренний размер канала	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6
	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,45	0,45	0,45	0,45
Наружный размер канала	1,44	1,44	1,44	1,15	1,15	0,76	0,76	0,76	0,76
	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,57	0,57	0,57	0,57
дн.э.	0,96	0,96	0,96	0,86	0,86	0,64	0,64	0,64	0,64
дв.э.	0,80	0,80	0,80	0,72	0,72	0,51	0,51	0,51	0,51
Рпк	0,049	0,049	0,049	0,054	0,054	0,077	0,077	0,077	0,077
Рк	0,0142	0,0142	0,0142	0,0136	0,0136	0,0175	0,0175	0,0175	0,0175
Ргр	0,1177	0,1177	0,1177	0,142	0,142	0,1665	0,1665	0,1665	0,1665
Ro	0,181	0,181	0,181	0,210	0,210	0,3	0,3	0,3	0,3

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rи	2,298	2,918	3,310	3,808	4,311	3,970	4,748	5,445	5,971
Rпс	0,0237	0,0281	0,0305	0,0333	0,0358	0,0453	0,0500	0,0535	0,0558
Rп.п.	0,100	0,119	0,129	0,141	0,151	0,190	0,209	0,223	0,233
ΣR	2,422	3,065	3,469	3,982	4,498	4,205	5,007	5,721	6,260
тк	15,01	13,47	12,77	12,82	12,19	13,78	12,77	12,08	11,66
q1	30,96	24,97	22,26	19,38	17,30	18,13	15,42	13,62	12,51
q2	14,44	11,92	10,73	9,34	8,41	8,61	7,44	6,63	6,12
qi	45,40	36,89	32,99	28,72	25,71	26,74	22,86	20,25	18,64
Rн	0,0364	0,0501	0,0599	0,0737	0,0895	0,1048	0,1397	0,1769	0,2095
t_k^H	64,23	62,32	61,03	60,55	58,88	59,44	56,66	54,00	51,90
q_1^H	708,86	552,85	483,98	399,51	347,82	291,75	238,70	203,46	181,85
q_2^H	-391,40	-245,96	-184,21	-143,08	-99,32	-90,08	-47,67	-22,62	-9,06
q^H	317,46	306,89	299,77	256,43	248,50	201,67	191,03	180,85	172,79
n	85,70	87,98	88,99	88,80	89,66	86,74	88,03	88,81	89,21

Таблица 8 – Толщины изоляционных конструкций

№№ участка	1; 9	39; 45; 10; 15	54; 56; 58	63; 27	68; 34; 2	65; 67; 60; 35; 31; 28; 21; 24; 16	66; 64; 62; 51; 46;48;40; 42;44;38; 37;33;30; 18; 20; 12; 7; 8;3	61;59;57; 50;43;36; 32;29; 26;23	55; 52; 49; 47; 41; 25; 19; 13; 11; 69; 6; 5;	Итого
Размеры трубопровода, Т1, Т2, мм	219x6	159x4,5	133x4	108x4	89x3,5	76x3,5	57x3,5	45x2,5	38x2,5	
Наружный диаметр трубы, м	0,219	0,159	0,133	0,108	0,089	0,076	0,057	0,045	0,038	
Толщина изоляционного слоя, Т1, Т2, м	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	
Наружный диаметр с изоляцией, м	0,379	0,319	0,293	0,268	0,249	0,196	0,177	0,165	0,158	
Длина трубопровода Т1, м	35	258,5	155	64	127,5	150,9	505	124	75	
Длина трубопровода Т2, м	35	258,5	155	64	127,5	150,9	505	124	75	
Объем изоляционного материала, куб.м.	5,26	31,04	16,59	6,04	10,83	7,73	22,26	4,91	2,77	107,43
Площадь покровного слоя, кв.м.	83,30	517,86	285,21	107,71	199,37	185,74	561,34	128,49	74,42	2143,44

2.6 Построение продольного профиля

«Продольный профиль разрабатываем от точки подключения котельной до участка теплотрассы» [18] УТ 17.

«Строим план трассы теплопровода с указанием камер, неподвижных опор, расстояние между ними, углов поворотов трассы. Затем наносим согласно плану трассы отметки поверхности земли, соединяем их плавной линией и получаем продольный профиль земли. Для уменьшения объёма земляных работ тепловые сети стараемся прокладывать параллельно профилю земли. Уклон водяных тепловых сетей, независимо от направления движения теплоносителя, должен быть не менее 0,002. Высоту камер, отметки потолка и дна канала определяем в зависимости от диаметров теплопровода и установленной арматуры» [18].

Таблица 9 – Каналы и их размеры для труб системы

D_y в мм	Марка канала	Одноячейковый канал, размеры в мм					
		а	б	в	г	h	Н
«32	КЛ 60–45	600	175	250	175	196	460
40	КЛ 60–45	600	150	300	150	196	460
50	КЛ 60–45	600	150	300	150	196	460
70	КЛ 60–45	600	150	300	150	196	460
80	КЛ 90–60	900	225	450	225	196	590
100	КЛ 90–60	900	225	450	225	196	590
125	КЛ 120–60	1200	340	600	340	196	590
150	КЛ 120–60	1200	340	600	340	196	590
200	КЛ 120–60	1200	340	600	340	196	590» [3]

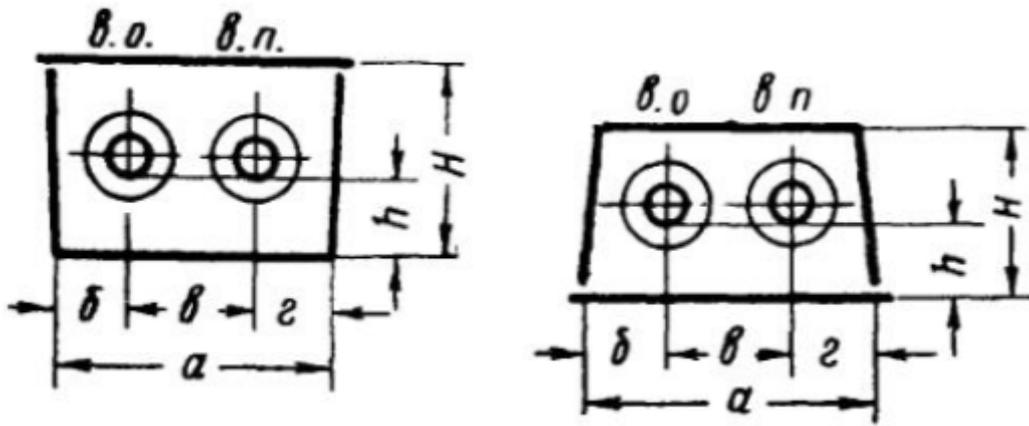


Рисунок 5 – Эскизы каналов

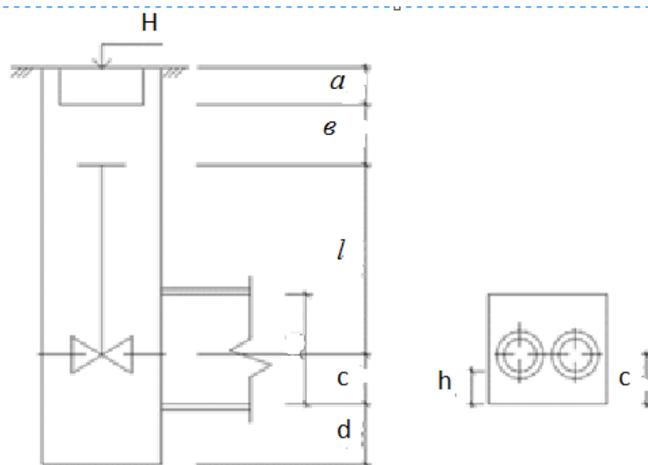


Рисунок 6 – Разрез камеры

Найдем отметки дна камеры, потолка и пола канала для камеры УТ 1, в которой установлены задвижки диаметром 219 мм.

«Расстояние от поверхности земли до верха перекрытия камеры принимаем $a = 0,3$ м» [18];

«Расстояние от перекрытия камеры до маховика задвижки принимаем $b = 0,5$ м» [18];

Высота задвижки, для $d_y = 200, l = 650$ мм = 0,65 м;

«Расстояние от оси теплопровода до пола канала» [18]:

$$c = h + \frac{d_y}{2} \quad (53)$$

«где h – расстояние от низа трубы до пола канала» [18] для $d_y = 200, h = 196$ мм, тогда

$$c = 196 + \frac{219}{2} = 305,5 \text{ мм} = 0,31 \text{ м};$$

Высота канала $H = 590 \text{ мм} = 0,59 \text{ м};$

«Расстояние от пола канала до дна камеры, принимаем равным $d = 0,5 \text{ м}$ » [18].

«Зная расстояния a, b, l, d, H , рассчитываем следующие отметки» [18]:

«Отметка пола канала» [18]:

$$H_{\text{ПОЛ.К}}^{\text{УТ1}} = H_3 - a - b - l - c \quad (54)$$

$$H_{\text{ПОЛ.К}}^{\text{УТ1}} = H_3 - a - b - l - c = 49,14 - 0,3 - 0,5 - 0,65 - 0,31 = 47,38$$

Отметка потолка канала:

$$H_{\text{ПОТ.К}}^{\text{УТ1}} = H_{\text{ПОЛ.К}}^{\text{УТ1}} + H = 47,38 + 0,59 = 47,97 \quad (55)$$

Отметка дна камеры:

$$H_{\text{ДНО.К}}^{\text{УТ1}} = 47,38 - 0,5 = 46,88$$

«Зная отметки пола и потолка канала и задавшись уклоном $i = 0,002$, находим соответствующие отметки канала на выходе из источника теплоты» [18]:

«Отметка пола канала» [18]:

$$H_{\text{ПОЛ.К}}^{\text{И.Т}} = H_{\text{ПОЛ.К}}^{\text{УТ1}} + 0,002 * l_{\text{ф}} = 47,38 + 0,002 * 7 = 47,4 \quad (56)$$

Отметка потолка канала:

$$H_{\text{ПОТ.К}}^{\text{И.Т}} = H_{\text{ПОТ.К}}^{\text{УТ1}} + 0,002 * l_{\text{ф}} = 47,97 + 0,002 * 7 = 48$$

«Аналогично определяем отметки канала и дна камер для последующих участков сети» [18] и заносим данные в таблицу 10.

«Заглубление тепловых сетей от поверхности земли до верха перекрытия должно быть не менее 0,5м. По расчетам определено, что заглубление в пределах от 1 до 1,5 м. В нижних точках тепловой сети предусматриваются штуцеры с запорной арматурой для спуска воды. В высших точках – для выпуска воздуха» [18]. Продольный профиль показан на 5–м листе графической части.

Таблица 10 – «Расчет глубины заложения каналов» [18]

№ узла	Диаметр трубопровода, мм	a	b	l	h	d_n	c	H	d	Отметки			Уклон, i	Отметка уровня земли, Hz
										пола	потолка	дна		
И.т		–	–	–	–	–	–	–	–	47,4	47,9885	–	–	49
«УТ1	219x6	0,3	0,5	0,65	0,196	0,219	0,306	0,59	0,5	47,38	47,9745	46,88	0,002	49,14
УТ5	219x6	0,287	0,5	0,65	0,196	0,219	0,306	0,59	0,5	47,44	48,0325	46,94	0,002	49,18
УТ6	159x4,5	0,3	0,5	0,5	0,196	0,159	0,276	0,59	0,5	47,73	48,3245	47,23	0,009	49,31
УТ9	159x4,5	0,3	0,5	0,5	0,196	0,159	0,276	0,59	0,5	47,42	48,0145	46,92	0,005	49
УТ13	133x4	0,3	0,5	0,43	0,196	0,133	0,263	0,59	0,5	47,54	48,1275	47,04	0,005	49,03
УТ14	133x4	0,3	0,5	0,43	0,196	0,133	0,263	0,59	0,5	48,56	49,1475	48,06	0,016	50,05
УТ15	133x4	0,3	0,5	0,43	0,196	0,133	0,263	0,59	0,5	49,51	50,0975	49,01	0,014	51
УТ17	108x4	0,3	0,5	0,38	0,196	0,108	0,25	0,59	0,5	49,15	49,74	48,65	0,024	50,58
УТ19	159x4,5	0,3	0,5	0,5	0,196	0,159	0,276	0,59	0,5	48,42	49,0145	47,92	0,013	50
УТ21	159x4,5	0,3	0,5	0,5	0,196	0,159	0,276	0,59	0,5	49,38	49,9745	48,88	0,012	50,96
УТ26	108x4	0,3	0,5	0,38	0,196	0,108	0,25	0,59	0,5	48,57	49,16	48,07	0,017	50
УТ29	89x3,5	0,3	0,5	0,31	0,196	0,089	0,241	0,59	0,5	47,89	48,4795	47,39	0,012	49,24» [3].

2.7 Компенсация температурных удлинений

«П-образные компенсаторы применяют для компенсации температурных удлинений труб на протяженных прямых участках, если возможности самокомпенсации трубопровода за счет поворотов тепловой сети нет. Отсутствие компенсаторов на жестко закрепленных трубопроводах с переменной температурой рабочей среды, приведет к росту напряжений, способных деформировать и разрушить трубопровод. В данной бакалаврской работе подобраны П-образные компенсаторы с гнутыми отводами типовых размеров» [15].

Рассчитаем изгибающее напряжение компенсатора К-23 для трубопровода Ду 108 мм. «Линейное удлинение компенсируемого участка теплопровода определяем по формуле» [18]:

$$\Delta l = \alpha \cdot L \cdot (t - t_0) \quad (57)$$

$$\Delta l = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot (150^\circ\text{C} - (-27^\circ\text{C})) = 0,0106$$

«где α – коэффициент удлинения стали, $12 \cdot 10^{-6}, \frac{1}{^\circ\text{C}}$ » [18];

« L – расстояние между неподвижными опорами, м» [18];

« t – температура теплоносителя, 150°C » [18]

« t_0 – температура наружного воздуха расчетная отопительная – 30°C » [18]

«Учитывая предварительную растяжку компенсатора, расчетное тепловое удлинение» [18]:

$$\Delta l_p = \varepsilon \cdot \Delta l = 0,5 \cdot 0,0106 = 0,0053 \quad (58)$$

Изгибающие напряжения в точках А и В:

$$n_1 = \frac{l_1}{l} = \frac{1,1}{1,6} = 0,7 \quad (59)$$

$$n_2 = \frac{L}{l} = \frac{50}{1.6} = 31.25 \quad (60)$$

Изгибающее напряжение в точке В:

$$\sigma_B = \frac{\Delta l_p \cdot E \cdot d_H}{l^2} \cdot \frac{1.5}{3 \cdot n_1 + 2 - \frac{n_1 + 1}{n_2 - n_1 + 1}} < \sigma^{\text{доп}} = 80 \text{ МПа} \quad (61)$$

где E – модуль продольной упругости, $2 \cdot 10^5$ МПа

d_H – наружный диаметр трубопровода, м;

l = вылет компенсатора, м;

Δl_p – расчетное тепловое удлинение.

$$\sigma_B = \frac{0.0053 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0.108}{1.6^2} \cdot \frac{1.5}{3 \cdot 0.7 + 2 - \frac{0.7 + 1}{31.25 - 0.7 + 1}} = 16,58 \text{ МПа}$$

В точке А

$$\sigma_A = \frac{\Delta l_p \cdot E \cdot d_H}{l^2} \cdot \frac{1.5}{\frac{(3 \cdot n_1 + 2) \cdot (n_2 - n_1 + 1)}{n_1 + 1} - 1} \text{ МПа} \quad (62)$$

$$\sigma_A = \frac{0,0053 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,108}{1,6^2} \cdot \frac{1.5}{\frac{(3 \cdot 0,7 + 2) \cdot (31,25 - 0,7 + 1)}{0,7 + 1} - 1} = 0,9 \text{ МПа}$$

Таблица 11 – Расчет компенсаторов

Обозначение компенсатора	Ду, м	Расстояние между опорами	Тепловое удлинение трубопровода, м	Расчетное тепловое удлинение трубопровода, м	l , м	$l1$, м	$n1$	$n2$	Изгибающее напряжение в точке	
									А	В
		L	Δl	Δl_p			А	В	А	В
К23	0,108	50	0,011	0,005	1,6	1,1	0,7	31,25	0,36	16,76
К38	0,159	68,5	0,015	0,007	2,4	1,6	0,7	28,54	0,35	15,28
К55	0,089	39,5	0,008	0,004	1,6	1,1	0,7	24,69	0,29	10,95

2.8 Подбор сетевых насосов

Исходные данные для подбора сетевых насосов приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Исходные данные для подбора сетевых насосов

	Обозначение	Ед. изм.	Значение
Потери напора в котельной	$H_{пк}$	м	20
Потери напора в подающих и обратных теплопроводах	H_c	м	3,28
Требуемый напор у абонентов	$H_{аб}$	м	21
Расход теплоносителя в зимний период	$G_з$	т/ч	100,51
Расход теплоносителя в летний период	$G_л$	т/ч	43,8

Требуемый напор сетевых насосов определяется по формуле:

$$H_n = H_{пк} + H_c + H_{аб}, \quad (63)$$

$$H_n = 20 + 3,28 + 21 = 44,28 \text{ м.}$$

По технической характеристике с помощью подбора на сайте «ZENOVA» выбираем циркуляционный насос NORM SNLL 80–250F диаметр входного патрубка Ду 80мм.

Кривая производительности данного насоса построена на графике на рис. Ж.1 (Приложение Ж)

К установке принимаем два насоса: один рабочий и один резервный.

«Требуемый напор сетевых насосов в летний период находим по выражению» [18]:

$$H_{нл} = H_n \cdot \left(\frac{G_л}{G_з}\right)^2 = 44,28 \cdot \left(\frac{43,8}{100,51}\right)^2 = 8,41 \text{ м.} \quad (64)$$

По летнему расходу $G_л = 43,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ и требуемому напору $H_{нл} = 8,41 \text{ м}$ выбираем один насос Stratos MAXO 80/0,5–16 PN6–R7 ДУ 80 мм. Строим кривую производительности работы насоса в данной сети. К установке принимаем два насоса, один из них резервный (Рисунок 7).

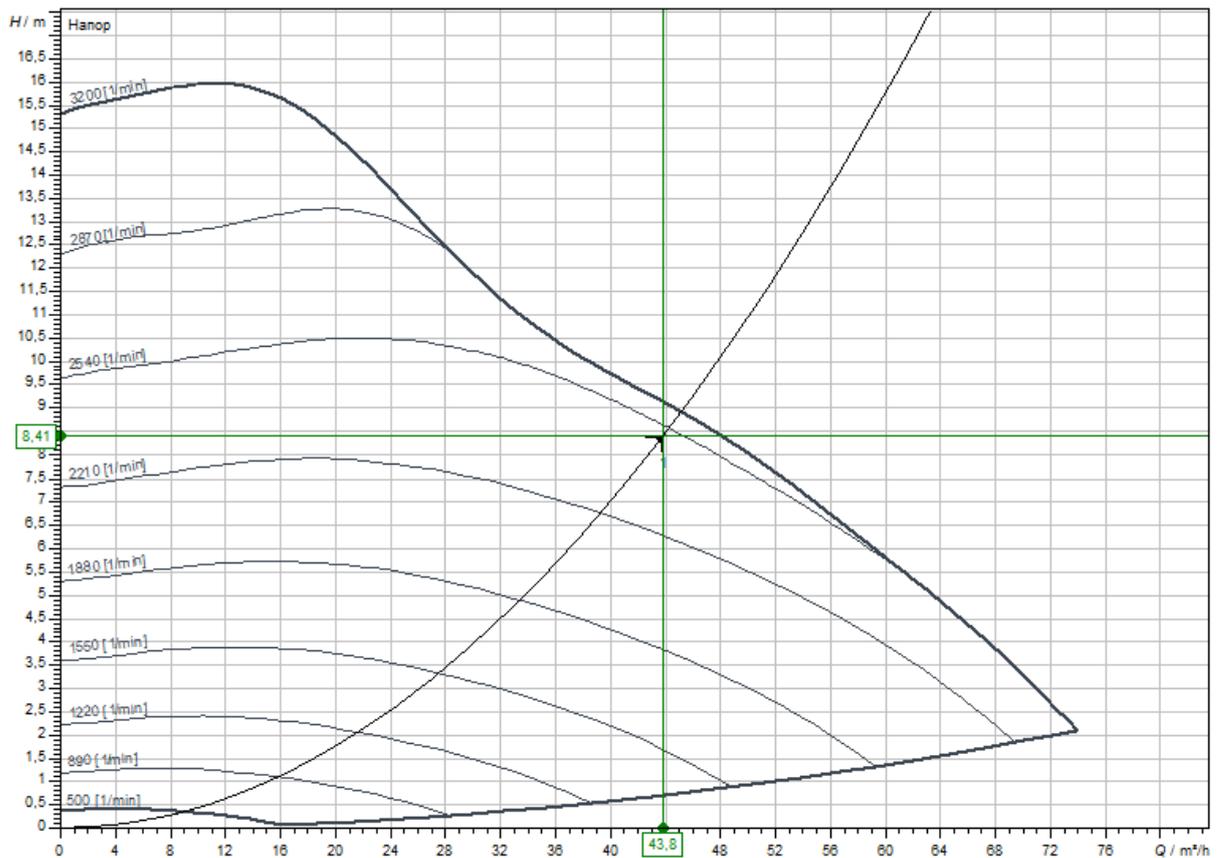


Рисунок 7 – Гидравлические характеристики сети и сетевого насоса Stratos MAXO 80/0,5–16 PN6–R7 Ду 80 мм

«Подберем подпиточный насос для закрытой системы теплоснабжения проектируемого участка микрорайона тепловой мощностью 9,75 МВт, статический напор в системе $H_{ст} = 21,3$ м. Уровень воды в подпиточных баках по на отметке 3,0м ($H_б = 3$ м) по отношению к оси подпиточных насосов, $H_{пс}$ – потери подпиточной линии 2,0 м [].

«Объем воды в системе теплоснабжения определяем по формуле» [18]:

$$V = Q \cdot (V_c + V_n) \quad (65)$$

«где Q – мощность системы теплоснабжения, Вт» [18]

« V_c – удельный объем воды в тепловых сетях, для жилой районов принимаем $V_c = 40 \frac{м^3}{МВт}$ [2 стр.183] » [18].

« V_n – удельный объем сетевой воды в системах отопления принимаем $V_n = 26 \frac{м^3}{МВт}$ [2 стр.183] » [18].

$$V = 9,75 \cdot (40 + 26) = 643,5 \text{ м}^3$$

Подача подпиточных насосов $G_{\text{пн}} = 0,0075 \cdot 643,5 = 4,83 \text{ м}^3/\text{ч}$.

«Требуемый напор подпиточных насосов» [18]:

$$\begin{aligned} H_{\text{пн}} &= H_{\text{ст}} - H_{\text{б}} + H_{\text{пс}}, \\ H_{\text{пн}} &= 21,3 - 3 + 2 = 20,3 \text{ м}. \end{aligned} \quad (66)$$

По подаче подпиточных насосов $G_{\text{пн}} = 4,83 \text{ м}^3/\text{ч}$ и требуемому напору $H_{\text{пн}} = 20,3 \text{ м}$ подбираем насос Purity РТD 50–18/2 Ду 50мм, который при подаче $25 \text{ м}^3/\text{час}$ развивает напор 18 м. Гидравлические характеристики насоса указаны на графике рисунок Ж.2 (Приложение Ж).

Вывод по разделу 2

Рассчитали и определили основные характеристики тепловых сетей, продумали и подобрали материалы и оборудование для нормальной функциональной работы. Установили схему прокладки тепловых сетей.

3 Автоматизация индивидуального теплового пункта

«Разнообразный характер потребления тепла в отопительно–вентиляционных установках и системах ГВС затрудняет применение единого центрального регулирования отпуска тепла. Центральное регулирование на ЦТП дополняется местным регулированием для корректировки тепловых и гидравлических режимов тепловой сети в соответствии с местными факторами. Вместе с корректировкой теплового потребления автоматика в индивидуальных тепловых пунктах выполняет защиту местных систем от аварии, разрегулировок и опорожнения» [26].

«Управление режимами осуществляется регуляторами различного назначения и принципа действия. На водяных сетях применяют гидравлические авторегуляторы. В ИТП устанавливают следующие виды регуляторов» [30]:

- расхода воды;
- давления на подающем и обратной трубопроводе;
- регулятор температуры воды.

«В закрытых системах теплоснабжения постоянная температура нагреваемой водопроводной воды поддерживается путем изменения расхода греющей воды, поступающей в теплообменник» [18].

«Для автоматизации индивидуального теплового пункта на вводе тепловой сети установлены магнитный фильтр и регулятор перепада давления на подающих трубопроводах, с помощью которых обеспечиваются благоприятные условия работы клапанов, регулирующих температуру теплоносителя, подаваемого в систему ГВС и отопление. Регулирование температуры теплоносителя в системе отопления осуществляется при помощи двухходового регулирующего клапана с электроприводом» [30].

«Для гидравлической увязки всех систем на обратных трубопроводах устанавливаются балансировочные клапаны» [30].

«Для защиты систем теплоснабжения и оборудования узла присоединения на подающем трубопроводе системы отопления устанавливается регулируемый предохранительный клапан» [30].

«Для осуществления функций автоматического регулирования ИТП электроприводы клапанов системы отопления и ГВС управляются электронным контроллером с электронным ключом программирования. Управляющими сигналами для управления клапанами являются сигналы от датчиков температуры воды, подаваемой в системы и возвращаемой из систем отопления и ГВС, а также датчика температуры наружного воздуха. Контроллер автоматически снижает потребление тепловой энергии при превышении заданных значений» [30].

«Регулировка параметров теплоносителя в процессе эксплуатации производится в автоматическом режиме по показаниям датчика температуры наружного воздуха и температуры теплоносителя (погодозависимый режим теплоснабжения)» [30]. Схема автоматизированного теплового пункта при зависимом присоединении к тепловой сети представлена на рисунке Г.1 (Приложение Г)

Вывод по разделу 3

Обдумали и провели анализ эффективности установки приборов автоматизации индивидуального теплового пункта. Выбрали схему автоматизации ИТП.

4 Организация монтажных работ

«В основе организации монтажных работ лежит поточный метод – метод непрерывного и ритмичного производства работ, основанный на эффективном сочетании последовательного и параллельного методов. Сущность данного метода в том, что рабочие одного состава, оснащенные комплектом инструментов и машин, выполняют одинаковые работы, максимально приближенные по времени.

Так как в данной бакалаврской работе запроектирована реконструкция тепловых сетей, необходимо выполнить подготовительные работы для монтажа, а именно: демонтаж старых трубопроводов и каналов, погрузку, вывоз и утилизацию (при необходимости) демонтированных конструкций.

Подготовка теплопровода выполняется на производственных базах. В подготовку входит: изготовление узлов теплопровода, фасонных частей, компенсаторов, опор, проверка их на прочность и плотность, антикоррозионная защита трубопроводов из углеродистой стали.

К монтажно–сборочным работам относится: доставка трубопроводов к месту укладки, подготовка и обработка концов труб для сварки стыков, монтаж и сварка опор, установка фасонных частей и арматуры, проверка трубопроводов на прочность и плотность» [9]. Монтаж конструкций тепловой изоляции трубопроводов, антикоррозионная защита сварных стыков труб, монтаж железобетонных каналов с устройством гидроизоляции.

4.1 Определение объемов работ

«Суммарная протяженность реконструируемой тепловой сети главной и второстепенной ветки составляет 570,5 м, монтаж выполняется в одну захватку. 1 захватка – 570,5 м

Для определения объемов земляных работ определяются наружные размеры лотков каналов (таблица Д.1 Приложение Д).

Длину захватки определяем без учета тепловых камер и компенсаторных ниш по формуле (67), м:

$$l = l_{\text{ЗАХ}} + n \cdot l_{\text{КАМ}} - l_{\text{к}} \quad (67)$$

$$l = 570,5 - 3 \cdot 12 - 5,6 = 528,9$$

$l_{\text{КАМ}} = 3\text{м}$ – длина камеры

$n = 12$ – число камер

$l_{\text{ЗАХ}}$ – длина захватки; $l_{\text{к}}$ – длина компенсаторной ниши = 5,6м»

[9].

Среднюю глубину траншеи на захватке определяем по формуле (68), м:

$$h_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^n h}{n} \quad (68)$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{2,26 + 2,24 + 2,08 + 2,08 + 1,99 + 1,99 + 1,99 + 1,93 + 2,08 + 2,08 + 1,93 + 1,85}{12} = 2,04$$

$\sum_1^n h$ – сумма всех глубин траншеи, м;

n – число сечений, определяется по участкам характерным точкам поверхности земли).

Объем траншеи с откосами определяем по формуле (69), м³:

$$V_{\text{тр}} = (h_{\text{тр}} \cdot (A_{\text{н}} + 0,2) + m \cdot h_{\text{тр}}^2) \cdot l \quad (69)$$

$$V_{\text{тр}} = (2,04 \cdot (1,44 + 0,2) + 0,5 \cdot 2,04^2) \cdot 528,9 = 2870,02$$

$m = 0,5$ – коэффициент крутизны откосов траншей, при глубине выемки 1,5

Ширину траншеи по верху определяем по формуле (70), м:

$$A_{\text{в}} = A_{\text{н}} + 0,2 + 2 \cdot \alpha' = 1,44 + 0,2 + 2 \cdot 1,02 = 3,68 \quad (70)$$

где $A_{\text{н}}$ – наружная ширина канала, м;

α' – определяется по формуле (5.5)

$$\alpha' = h_{\text{тр}} \cdot m = 2,04 \cdot 0,5 = 1,02 \quad (71)$$

Определяем объем компенсаторных ниш:

$$V_{\text{КОМ1}} = (2,04 \cdot (1,44 + 0,2) + 0,5 \cdot 2,04^2_{\text{тр}}) \cdot (2,4 + 1,6) = 21,7 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{КОМ2}} = (2,04 \cdot (1,15 + 0,2) + 0,5 \cdot 2,04^2_{\text{тр}}) \cdot 1,6 = 7,74 \text{ м}^3$$

Определяем объемы котлованов для камер:

Длина дна котлована камеры:

$$A_{\text{Н}} = \alpha_{\text{кам}} + 0,5 \quad A_{\text{Н}} = 3,2 + 0,5 = 3,7\text{м} \quad (72)$$

Ширина дна котлована камеры:

$$B_{\text{Н}} = b_{\text{кам}} + 0,5 \quad B_{\text{Н}} = 3,2 + 0,5 = 3,7\text{м} \quad (73)$$

Длина верха котлована:

$$A_{\text{В}} = A_{\text{Н}} + 0,2 + 2 \cdot \alpha' = 3,7 + 0,2 + 2 \cdot 1,02 = 5,94\text{м} \quad (74)$$

Ширина верха котлована:

$$B_{\text{В}} = B_{\text{Н}} + 2 \cdot b' \quad B_{\text{В}} = 3,7 + 0,02 + 2 \cdot 1,02 = 5,94\text{м} \quad (75)$$

Площадь камеры внизу:

$$F_{\text{Н}} = A_{\text{Н}} \cdot B_{\text{Н}}, \quad F_{\text{Н}} = 3,7 \cdot 3,7 = 13,69 \quad (76)$$

Площадь камеры по верху:

$$F_{\text{В}} = A_{\text{В}} \cdot B_{\text{В}}, \quad F_{\text{В}} = 5,94 \cdot 5,94 = 35,3 \text{ м}^2 \quad (77)$$

Объем котлована камеры:

$$V_{\text{КОТ}} = \frac{1}{3} H_k \cdot (F_{\text{В}} + F_{\text{Н}} + \sqrt{F_{\text{В}} \cdot F_{\text{Н}}}) \quad (78)$$

$$V_{\text{КОТ}} = \frac{1}{3} \cdot 2,7 \cdot (35,3 + 13,69 + \sqrt{35,3 \cdot 13,69}) = 50,4$$

где H_k – глубина заложения камеры, определяется по формуле (79), м
 где $h=0,5$ м.

$$H_k = h + h_{\text{кам}}^{\text{нар}} + 0,2, H_k = 0,5 + 2 + 0,2 = 2,7 \quad (79)$$

Объем конструктивных элементов:

$$V'_{1\text{кан}} = (1,44 \cdot 0,72) \cdot 450 = 466,6 \text{ м}^3$$

$$V'_{2\text{кан}} = (1,15 \cdot 0,72) \cdot 122 = 101 \text{ м}^3$$

$$V'_{1\text{кам}} = (3,2 * 3,2 * 2,4) \cdot 12 = 294,9 \text{ м}^3$$

$$V'_{1\text{ком}} = (1,15 * 0,72) \cdot 1,6 \cdot 1 = 1,3 \text{ м}^3$$

$$V'_{2\text{ком}} = (1,44 * 0,72) \cdot (2,4 + 1,6) = 4,14 \text{ м}^3$$

Общий объем: $897,94 \text{ м}^3$.

Объем обратной засыпки:

$$V_{\text{зас}}^{\text{обр}} = V_0 = 2606,3 \text{ м}^3 \quad (80)$$

где V_0 – объем отвала:

$$V_0 = V_{\text{тр}} + V_{\text{КОТ}} + V_{\text{КОМ}} - V_k \quad (81)$$

$$V_0 = 2870,02 + 50,4 \cdot 12 + (21,7 + 7,74) - 897,94 = 2606,3 \text{ м}^3$$

Площадь планировки:

$$F_{\text{пл}} = (A_{\text{ср}} + 4) l_{\text{зах}} = (3,5 + 4) \cdot 570,5 = 4279 \text{ м}^2 \quad (82)$$

Таблица 13 – Ведомость объема земляных работ

№ захватки	Общий V_0 , м^3	Объем конструкций, м^3	Объем обратной засыпки, м^3	Объем избыточного грунта, м^3	Площадь планировки, м^2
1	2606,3	897,94	2606,3	0	4279

4.2 Определение трудоемкости работ

«Трудоемкость работ вычисляем по рассчитанному объему работ в соответствии с Государственными элементарными сметными нормами на

строительные работы и специальные строительные работы [9], на ремонтно–строительные работы» [10].

Трудозатраты даны в человеко–часах и машино–часах. Трудозатраты на весь объем работ вычисляем по формуле:

$$Tr = \frac{N_{вр} \cdot V}{8,2} \cdot \text{чел} - \text{дн (маш} - \text{см)} \quad (83)$$

где $N_{вр}$ – норма времени на единицу объема работ по ГЭСН, чел–час (маш–час);

V – физический объем работ;

8,2 – продолжительность рабочей смены, час.

Ведомость работ заполняется в соответствии с порядком их выполнения и представлена в таблице И.1 (Приложение И). Помимо основных строительного–монтажных работ учитываем затраты на малообъемные работы, выполняемые за счет накладных расходов, а также подготовительные работы. Их объем в процентах от общей трудоемкости основных работ составляет соответственно 16% и 8%. Расчет сводим в таблицу К.1 (Приложение К)

Вывод по разделу 4

Определены методы организации и производства монтажных работ, произвели трудоемкости и сроков реконструкции тепловых сетей.

5 Безопасность и экологичность технического объекта

Объектом дипломного проектирования являются инженерные сети. «Под инженерными сетями понимается комплекс трубопроводов и их элементов (оборудование, арматура, строительные конструкции, специальные устройства и т.д.), предназначенных для транспортировки теплоносителя к потребителю» [18].

«Монтажно–сборочные работы включают в себя: перемещение труб к месту укладки, подготовка и обработка концов труб, установка и подгонка отводов, переходов, тройников, компенсаторов и фланцев при сварке, установке задвижек, испытания трубопроводов» [6, 20].

Таблица 14 – «Технологический паспорт объекта» [4]

«Технологический процесс»	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
Монтажно–сварочные работы	Электросварка технологического трубопровода	Электросварщик электродуговой сварки	Сварочный трансформатор, сварочный генератор, сварочный выпрямитель, сварочная горелка	Сварочные электроды, трубопроводы, фасонные изделия» [4].

Таблица 15 – «Идентификация профессиональных рисков» [4]

Технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и вредный производственный фактор	Источник опасного и вредного производственного фактора
2	3	4
«Электросварка технологического трубопровода»	Сварочные аэрозоли, газы	Расплавленный металл, сварочные электроды
	Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны	
	Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Расплавленный металл, сварочные электроды» [4]

Продолжение таблицы 15

2	3	4
«Электросварка технологического трубопровода	Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации	Сварочная дуга
	Повышенная яркость света	
	Повышенная напряженность магнитного поля	
	Нервно–психические перегрузки	Напряженность труда» [4],

Таблица 16 – Методы и средства снижения профессиональный рисков

Опасный и вредный производственный фактор	Методы и средства защиты, снижения, устранения опасного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Сварочные аэрозоли, газы	Не предусмотрены	Костюм сварщика, ботинки кожаные с жестким подноском, краги сварщика, щиток защитный
Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны	Не предусмотрены	
Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Отсутствие сгораемых материалов в радиусе не менее 5м	
Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации	Применение оградительных устройств (кожухи, щитки, экраны)	
Повышенная яркость света		
Повышенная напряженность магнитного поля		
Нервно–психические перегрузки	Не предусмотрены	

Таблица 17 – «Идентификация классов и опасных факторов пожара» [5]

«Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Тепловые сети	Сварочный аппарат Газовый резак	А	Пламя	Осколки, части разрушившихся технологических установок, оборудования, агрегатов и иного имущества» [4].
			Искры	
			Повышенная температура	
			Тепловой поток	
			Понижение концентрации кислорода	

Таблица 18 – «Средства обеспечения пожарной безопасности» [5]

«Первичные средства пожаротушения»	Мобильные средства пожаротушения	Установки пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарной оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение
Огнетушитель Песок Пожарный инструмент Покрывало из негорючего полотна	Пожарный автомобиль, мех. лопата	Пожарные гидранты	Не предусмотрены	Огнетушители, пожарный водопровод, насос	Средства индивидуальной защиты органов дыхания Средства защиты кожи Пути эвакуации людей	Лом, ведро, лопата, багор	Стац. телефон службы 01, мобильный 101, 112» [5].

Таблица 19 – Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса, вид объекта	Наименование видов работ	Требования по обеспечению пожарной безопасности
Реконструкция тепловых сетей	Сварка, резка	«Место проведения огневых работ должно быть обеспечено первичными средствами пожаротушения (огнетушитель, кошма, ящик с песком и лопатой, ведро с водой) и подготовлено для безопасного и удобного их выполнения (организованы удобные подходы, удалены мешающие предметы и т.д.)» [20]
		«Для защиты оборудования и сгораемых конструкций от искр, следует использовать металлические щиты, листы или асбестовое полотно» [20].

Таблица 20 – Идентификация экологических факторов

Наименование технологического объекта,	Структурные составляющие технологического объекта,	Воздействие объекта на атмосферу	Воздействие объекта на гидросферу	Воздействие объекта на литосферу

технологического процесса	технологического процесса			
Реконструкция тепловых сетей	Копка траншеи под трубопровод, укладка лотков, сварочные работы, транспортные средства	Выхлопные газ, пыль	Мойка колес автомобильного транспорта	Нарушение растительного покрова, выемка плодородного грунта

Таблица 21 – «Мероприятия по снижению антропогенного воздействия на окружающую среду» [16]

Наименование технологического объекта	Трасса трубопровода
«Мероприятия по снижению антропогенного воздействия на атмосферу» [16]	«Сокращение времени стоянки транспорта с включенным двигателем» [16]
«Мероприятия по снижению антропогенного воздействия на гидросферу» [16]	«Использование временных канализаций, использование биотуалета вместо выгребной ямы на строительной площадке» [16]
«Мероприятия по снижению антропогенного воздействия на литосферу» [16]	«Восстановление плодородного слоя почвы и растительного покрова» [16]

Вывод по разделу 5

Определены мероприятия по обеспечению охраны труда и безопасности рабочих, занятых на выполнении работ по реконструкции ТС, а также степень влияния производственного процесса монтажных работ на экологию окружающей среды.

Список используемых источников

1. Аэродинамический расчёт котельных установок (нормативный метод) / под ред. Мочана С. И. – Л.: «Энергия», 1977 – 256 с. URL: <https://dwg.ru/dnl/10435>
2. В. Е. Козин, Т. А. Левина, А. П. Марков, И. Б. Пронина, В. А. Слемзин. «Теплоснабжение: Учебное пособие для студентов вузов» – Москва. Высш. школа, 1980.—408 с. URL: <https://djvu.online/file/XErKhb7AGqcU9>
3. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию. Автор: И.В. Беляйкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов и др. Издательство: Энергоатомиздат, 1988. – 376с. URL: <https://djvu.online/file/GGb9V9HNyE9eW>
4. ГОСТ 12.0.004–2015. ССБТ. Организация безопасности труда. Общие положения. [Электронный ресурс]. – Введ. 2017–03–01. URL: <https://sudact.ru/law/gost-120004-2015-mezhgosudarstvennyj-standart-sistema-standartov-bezopasnosti/>
5. ГОСТ 12.0.004–91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс]. – Введ. 1992–07–01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953>
6. ГОСТ 12.3.003–86. Межгосударственный стандарт. ССБТ. Работы электросварочные. Требования безопасности. – 7с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006408>
7. ГОСТ 27590–2005 «Подогреватели кожухотрубные водо–водяные систем теплоснабжения. Общие технические условия» URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/1093/>
8. ГОСТ Р 58202–2018. Средства индивидуальной защиты людей при пожаре. Нормы и правила размещения и эксплуатации. Общие требования [Электронный ресурс]. – Введ. 2019–02–01. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160175?ysclid=143w0ebjiz>

9. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТНЫЕ СМЕТНЫЕ НОРМЫ НА РЕМОНТНО–СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ Утв. приказом Министерства строительства и жилищно–коммунального хозяйства РФ от 30 декабря 2021 г. № 1046/пр. Рег.№ 396 от 30.12.2021г. в ФРСН. URL: <https://fgiscs.minstroyrf.ru/frsn/standard2022>
10. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТНЫЕ СМЕТНЫЕ НОРМЫ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ Утв. приказом Министерства строительства и жилищно–коммунального хозяйства РФ от 30 декабря 2021 г. № 1046/пр. Рег. № 396 от 30.12.2021г. в ФРСН URL: <https://fgiscs.minstroyrf.ru/frsn/standard2022>
11. Калмаков А.А. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: Учеб. для вузов/А. А. Калмаков, Ю.Я. Кувшинов, С. С. Романова, С. А. Щелкунов; Под ред. В. Н. Богословского. — М.: Стройиздат, 1986. — 479 с. URL: <https://djvu.online/file/aKKGakdYOXefL>
12. Каталог СИНВЕСТ URL: https://www.ssi–ent.com/thermal_insulator/maty–proshivnyye/mineral–maty
13. Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Коровина О.В. Водоподготовка и водный режим энергоблоков низкого и среднего давлений: справочник. М.: Энергоатомиздат, 1990.–254с. URL: <https://djvu.online/file/vttjdDHDyjq3B>
14. М.С. Шкров, В.Ф Вихрев Водоподготовка: учебное пособие./ М.С. Шкров– 2–е. перераб. и доп. М.: Энергия, 1973г. –416с. URL: <https://djvu.online/file/YavqS6cjadRHq>
15. Манюк, В. И. и др. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж, А. И. Манюк, В. К. Ильин ; под ред. В.И. Манюка .– : 3–е издание, переработанное и дополненное. – М.: Стройиздат, 1988. – 432 с. URL: <https://dwg.ru/dnl/4721>
16. МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ И (ИЛИ) ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ. URL: https://distant.itcpb.ru/pluginfile.php/12908/mod_resource/content/0/МЕРЫ

%20ЗАЩИТЫ%20ОТ%20ВОЗДЕЙСТВИЯ%20ВРЕДНЫХ%20И%20%28ИЛИ%29%20ОПАСНЫХ%20ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ%20ФАКТОРОВ.pdf

17. О.М. Мухин. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции. Учебное пособие для Вузов– Минск: Высш. шк. 1986 – 304с. URL: https://books.totalarch.com/automation_of_systems_of_heat_and_gas_supply_and_ventilation
18. Писарев В.А. Теплоснабжение района города: учебно–методическое пособие по выполнению курсового проекта /В.А. Писарев, В.Т. Плицин. – Тольятти: ТГУ, 2007.–135с.
19. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020. №1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297?ysclid=143xi9uqou>
20. ПОТ Р М 005–97. Правила по охране труда при термической обработке металлов. – 71с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008386>
21. Проектирование тепловых сетей. Справочник проектировщика / под ред. Николаева А. А. – М.: Москва Стройиздат, 1965 – 360 с. URL: <https://dwg.ru/dnl/3734>
22. Роддатис, К.Ф.Котельные установки. – М.: Энергия, 1977.–432с. URL: <https://djvu.online/file/H86y5XaVovoVx>
23. Русанов А.А. Справочник по пыли– и золоулавливанию / М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др.; под общ. ред. А.А. Русанова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с. URL: http://mhts.ru/data/ckfiles/files/birgman_1983_1.pdf
24. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям / А.П. Сафонов – М.: Энергия, 1968 – 240 с. URL: <https://www.c-o-k.ru/library/document/12856>
25. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети /Е.Я. Соколов. Москва: Энергоиздат, 1982. – 360с URL: <https://djvu.online/file/yBSJ1UTegZkMa?ysclid=1xa2l0352d961245561>

26. СП 124.13330.2012 Свод правил. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41–02–2003 Введ. 01.01.2013г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095545>
27. СП 131.13330.2020 Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23–01–99* Введ. 25.06.2021г. URL: [https://acs-nnov.ru/assets/files/sp_131.13330.2020_stroitel_naya_klimatologiya\(1\).pdf](https://acs-nnov.ru/assets/files/sp_131.13330.2020_stroitel_naya_klimatologiya(1).pdf)
28. СП 61.13330.2010 " Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов" Актуализированная редакция СНиП 41–03–2003. Введ. 01.01.2013г. URL: https://lrknadzor.ru/upload/2._SP_61.13330.2012_Teplovaya_izolyatsiya_oborudovaniya_i_truboprovodov._Aktualizirovannaya_redaktsiya.pdf
29. Тихомиров А.К. Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. “Теплоснабжение района города”. г. Хабаровск, Изд-во Тихоокеанск. гос. техн. ун-та, 2006. – 126 с. URL: <https://c-ok.ru/library/document/12857/35750.pdf>
30. Danfoss Пособие. Стандартные автоматизированные блочные тепловые пункты. ООО «Данфосс», Москва, 2007

Приложение А

Определение расходов сетевой воды

Таблица А.1 – «Расчетные расходы сетевой воды» [18]

№ зд.	Расчетный расход сетевой воды, т/ч				
	На отопление	На вентиляцию	Суммарный расход т/ч $G_p = G_o + G_v$	$G_{Г.В.}^{cp}$, т/ч	Проверка
1	2	3	4	5	6
1	2,3	–	2,3	0,55	2,49
2	2,3	–	2,3	0,55	2,49
3	2,3	–	2,3	0,55	2,49
4	2,3	–	2,3	0,55	2,49
5	2,3	–	2,3	0,55	2,49
6	2,3	–	2,3	0,55	2,49
7	5,2	3,06	8,26	0,80	7,85
8	3,4	–	3,4	0,94	3,78
9	3,4	–	3,4	0,94	3,78
10	1,8	–	1,8	0,34	1,88
11	1,8	–	1,8	0,34	1,88
12	1,8	–	1,8	0,34	1,88
13	1,8	–	1,8	0,34	1,88
14	1,8	–	1,8	0,34	1,88
15	2	–	2	0,38	2,04
16	2	–	2	0,38	2,04
17	2	–	2	0,38	2,04
18	2	–	2	0,38	2,04
19	2	–	2	0,38	2,04
20	2	–	2	0,38	2,04
21	2	–	2	0,38	2,04
22	2	–	2	0,38	2,04
23	2	–	2	0,38	2,04
24	2,3	–	2,3	0,55	2,51
25	2,3	–	2,3	0,55	2,51
26	2,5	–	2,5	0,60	2,7
27	2,5	–	2,5	0,60	2,7
28	2,6	–	2,6	0,64	2,85
29	2,7	–	2,7	0,66	2,90
30	2,6	–	2,6	0,64	2,85
31	2,4	–	2,4	0,57	2,59
32	2,4	–	2,4	0,57	2,59
33	2,6	–	2,6	0,62	2,77
34	2,4	–	2,4	0,58	2,64
35	2,5	–	2,5	0,60	2,70
36	3,6	–	3,6	1,07	4,13
37	2,1	–	2,1	0,40	2,15
38	2,1	–	2,1	0,40	2,15
39	1,1	0,64	1,8	0,17	1,65
35	2,5	–	2,5	0,60	2,70
Всего	91,5	3,7	95,2	20,31	100,5

Приложение Б
**Определение расходов теплоты и «сетевой воды на горячее
водоснабжение» [18]**

Таблица Б.1 – «Расходы теплоты и сетевой воды на горячее водоснабжение
для летнего периода» [18]

№ Зд	$Q_{Г.В.}^{cp}$, кВт	$Q_{Г.В.}^{max}$, кВт	$Q_{Г.В.}^L$, кВт	$G_{Г.В.}^{max L}$, т/ч	G_p^L , т/ч
1	23,65	56,76	47,30	1,48	1,18
2	23,65	56,76	47,30	1,48	1,18
3	23,65	56,76	47,30	1,48	1,18
4	23,65	56,76	47,30	1,48	1,18
5	23,65	56,76	47,30	1,48	1,18
6	23,65	56,76	47,30	1,48	1,18
7	34,56	82,94	69,12	2,16	1,73
8	40,72	97,72	81,43	2,54	2,04
9	40,72	97,72	81,43	2,54	2,04
10	14,66	35,17	29,31	0,92	0,73
11	14,66	35,17	29,31	0,92	0,73
12	14,66	35,17	29,31	0,92	0,73
13	14,66	35,17	29,31	0,92	0,73
14	14,66	35,17	29,31	0,92	0,73
15	16,29	39,09	32,57	1,02	0,81
16	16,29	39,09	32,57	1,02	0,81
17	16,29	39,09	32,57	1,02	0,81
18	16,29	39,09	32,57	1,02	0,81
19	16,29	39,09	32,57	1,02	0,81
20	16,29	39,09	32,57	1,02	0,81
21	16,29	39,09	32,57	1,02	0,81
22	16,29	39,09	32,57	1,02	0,81
23	16,29	39,09	32,57	1,02	0,81
24	23,62	56,69	47,24	1,48	1,18
25	23,62	56,69	47,24	1,48	1,18
26	26,06	62,54	52,12	1,63	1,30
27	26,06	62,54	52,12	1,63	1,30
28	27,69	66,46	55,38	1,73	1,38
29	28,50	68,40	57,00	1,78	1,42
30	27,69	66,46	55,38	1,73	1,38
31	24,43	58,63	48,86	1,53	1,22
32	24,43	58,63	48,86	1,53	1,22
33	26,87	64,49	53,74	1,68	1,34
34	25,24	60,58	50,48	1,58	1,26
35	26,06	62,54	52,12	1,63	1,30
36	46,15	110,76	92,30	2,88	2,31
37	17,38	41,71	34,75	1,09	0,87
38	17,38	41,71	34,75	1,09	0,87
39	7,34	17,63	14,69	0,46	0,37
Итого	876,28	2103,07	1752,56	54,76	43,80

Приложение В
Определение местного сопротивления

Таблица В.1 – Местные сопротивления на участках сети

№ участка	Местные сопротивления	$l_э$
1	2	3
68	Задвижка; Тройник–проход 2шт; Компенсатор П–образный с круто изогнутыми отводами $R=2D$;переход;	14,99
65	Тройник–ответвление; Компенсатор П–образный с круто изогнутыми отводами $R=2D$;Задвижка;	10,8
67	Тройник–проход; отвод гнутый гладкий $R=4D$; Задвижка;	3,6
66	Тройник–ответвление; Задвижка; отвод гнутый гладкий $R=4D$ 2 шт; переход;	3,54
64	Тройник–ответвление; Задвижка; отвод крутоизогнутый $R=2D$;	3,26
63	Тройник–проход 2шт;переход;	6,93
60	Тройник–ответвление; Задвижка;	4
62	Тройник–проход; переход; отвод крутоизогнутый $R=2D$;Задвижка;Компенсатор П–образный с круто изогнутыми отводами $R=2D$;	7,93
61	Тройник–ответвление; Задвижка; отвод крутоизогнутый $R=2D$ 2 шт; переход;	1,8
59	Тройник–ответвление; Задвижка; переход; отвод крутоизогнутый $R=2D$;	1,37
58	Тройник–проход; отвод гнутый гладкий $R=4D$ 3 шт;	5,72
57	Тройник–ответвление; Задвижка; переход; отвод гнутый гладкий $R=3D$ 2 шт;	1,5
56	Тройник–ответвление; отвод гнутый гладкий $R=4D$ 3 шт;	7,92
55	Тройник–ответвление; отвод гнутый гладкий $R=4D$ 2шт;Задвижка;переход;	0,81
54	Тройник–проход 2шт;отвод гнутый гладкий $R=4D$ 2шт; переход;	11,88
51	Тройник–ответвление; Компенсатор П–образный с круто изогнутыми отводами $R=2D$; Задвижка;	7,81
53	Тройник–проход; Задвижка; переход; отвод крутоизогнутый $R=2D$;	1,13
52	Тройник–ответвление; Задвижка; переход; отвод крутоизогнутый $R=2D$ 2шт;	0,66
46	Тройник–ответвление; Задвижка;	2,61
48	Тройник–проход; Компенсатор П–образный с круто изогнутыми отводами $R=2D$;	6,5
50	Тройник–проход; Задвижка; переход; отвод крутоизогнутый $R=2D$;	1,17
49	Тройник–ответвление; Задвижка; переход; отвод крутоизогнутый $R=2D$ 2шт;	0,97
47	Тройник–ответвление; Задвижка; переход; отвод крутоизогнутый $R=2D$ 2шт;	0,97

Продолжение Приложения В

Продолжение таблицы В.1

1	2	3
45	Тройник–проход; Компенсатор П–образный с круто изогнутыми отводами R=2D;	21
40	Тройник–ответвление; Задвижка;	2,61
42	Тройник–проход; Компенсатор П–образный с круто изогнутыми отводами R=2D;	6,5
44	Тройник–проход; Задвижка; отвод крутоизогнутый R=2D 3шт;	3,9
43	Тройник–ответвление; Задвижка; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;переход;	1,8
41	Тройник–ответвление; Задвижка; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;переход;	1,04
39	Тройник–проход; отвод гнутый гладкий R=4D 2шт;переход;	9,52
9	Тройник–ответвление; отвод гнутый гладкий R=4D 2шт;Задвижка;	21
1	отвод гнутый гладкий R=4D 2шт;	5,04
10	Тройник–ответвление; отвод гнутый гладкий R=4D 2шт;Задвижка;	14
15	Тройник–проход 2шт; отвод гнутый гладкий R=4D 2шт;	14,56
27	Тройник–проход 2шт; переход; Компенсатор П–образный с круто изогнутыми отводами R=2D;	17
34	Тройник–проход 2шт;переход;отвод гнутый гладкий R=4D 2шт;Компенсатор П–образный с круто изогнутыми отводами R=2D;	14,72
38	Тройник–проход; переход; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;Задвижка;	2,78
35	Тройник–ответвление; Задвижка;	4
37	Тройник–ответвление; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;Задвижка;	3,91
36	Тройник–проход; переход; отвод крутоизогнутый R=2D; Задвижка	1,17
31	Тройник–ответвление; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;Задвижка;	6
33	Тройник–ответвление; отвод крутоизогнутый R=2D 3шт;Задвижка;	5,21
32	Тройник–проход; переход; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;Задвижка;	1,25
28	Тройник–ответвление; Задвижка;	4
30	Тройник–проход; переход; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт; Задвижка;	1,97
29	Тройник–ответвление; переход; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт; Задвижка;	1,8
21	Тройник–ответвление; Задвижка;	4
24	Тройник–проход 2шт; Компенсатор П–образный с круто изогнутыми отводами R=2D;	10,8
26	Тройник–ответвление; отвод крутоизогнутый R=2D;Задвижка;переход;	1,32

Продолжение Приложения В

Продолжение таблицы В.1

1	2	3
25	Тройник–проход; переход; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;Задвижка;	1,53
23	Тройник–ответвление; Задвижка; переход; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;	1,8
22	Тройник–ответвление; Задвижка; переход; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;	1,8
16	Тройник–ответвление; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;Задвижка;	6
18	Тройник–проход; переход; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;	2,73
20	Тройник–ответвление; отвод крутоизогнутый R=2D;Задвижка;	3,26
19	Тройник–проход; переход; Задвижка; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;	1,58
17	Тройник–ответвление; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;Задвижка;переход;	2,71
12	Тройник–ответвление; Задвижка;	2,61
14	Тройник–ответвление; отвод крутоизогнутый R=2D 3шт;Задвижка;переход;	3,16
13	Тройник–проход; переход; Задвижка; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;	1,58
11	Тройник–ответвление; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;Задвижка;переход;	1,96
2	Тройник–ответвление; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;Задвижка;	7,66
7	Тройник–ответвление; Тройник–проход; Компенсатор П–образный с круто изогнутыми отводами R=2D;Задвижка;	9,11
8	Тройник–проход; Задвижка; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;	3,25
69	Тройник–ответвление; Задвижка; отвод гнутый гладкий R=4D 2шт;переход;	0,72
6	Тройник–ответвление; Задвижка; отвод гнутый гладкий R=4D 2шт;переход;	0,72
3	Тройник–ответвление; Компенсатор П–образный с круто изогнутыми отводами R=2D;Задвижка;	7,81
4	Тройник–проход; Задвижка; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;	1,55
5	Тройник–ответвление; Задвижка; отвод крутоизогнутый R=2D 2шт;	0,97

Приложение Г

Схема автоматизированного теплового пункта

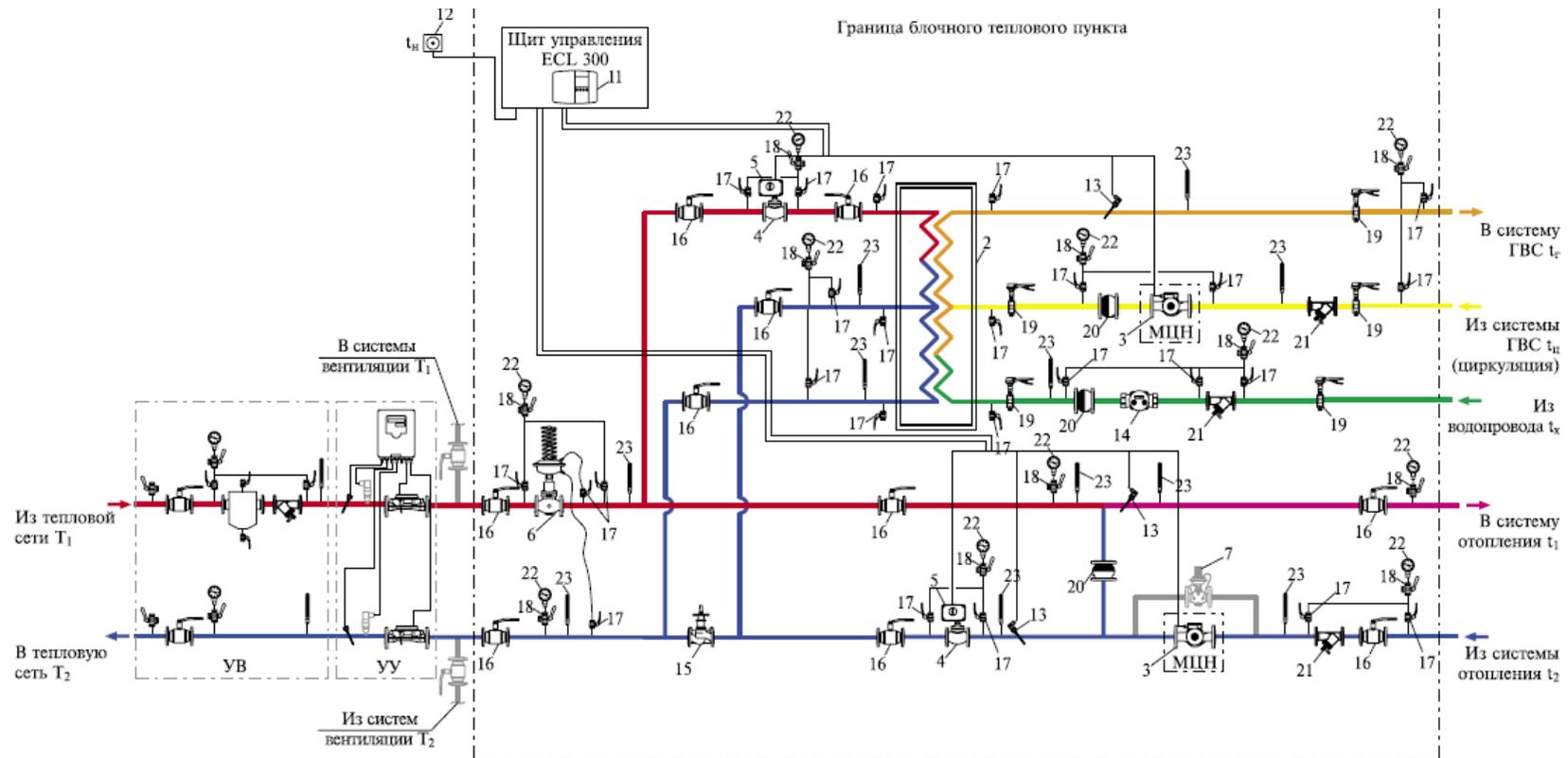


Рисунок Г.1 Схема автоматизированного теплового пункта при зависимом присоединении к тепловой сети [30]

Приложение Д
Определение типов, размеров и количества лотков каналов

Таблица Д.1 – Типы, размеры, количество лотков каналов

№ участка трубопровода	Диаметр трубопровода, мм	Длина трубопровода, мм	Тип канала	Размеры, вн.		Размеры, нар.		Длина канала, <i>l</i> , м	Количество		
				ширина, а, м	длина, в, м	ширина, а, м	длина, в, м		стандарт. шт	длина, м	доборные, шт
1	219х6	6	КЛ120х60	1,2	0,6	1,44	0,72	3	2	0	0
9	219х6	29	КЛ120х60	1,2	0,6	1,44	0,72	3	9	2	1
39	159х4,5	32	КЛ120х60	1,2	0,6	1,44	0,72	3	10	2	1
45	159х4,5	68,5	КЛ120х60	1,2	0,6	1,44	0,72	3	23	0	0
54	133х4	22	КЛ120х60	1,2	0,6	1,44	0,72	3	7	1	1
56	133х4	62	КЛ120х60	1,2	0,6	1,44	0,72	3	20	2	1
58	133х4	71	КЛ120х60	1,2	0,6	1,44	0,72	3	23	2	1
63	108х4	16	КЛ 90х60	0,9	0,6	1,15	0,72	3	5	1	1
10	159х4,5	76,5	КЛ120х60	1,2	0,6	1,44	0,72	3	25	2	1
15	159х4,5	81,5	КЛ120х60	1,2	0,6	1,44	0,72	3	27	1	1
27	108х4	48	КЛ 90х60	0,9	0,6	1,15	0,72	3	16	0	0
34	89х3,5	58	КЛ 90х60	0,9	0,6	1,15	0,72	3	19	1	1
		570,50							186	14	9

Приложение Ж
Гидравлические характеристики сети и сетевых насосов

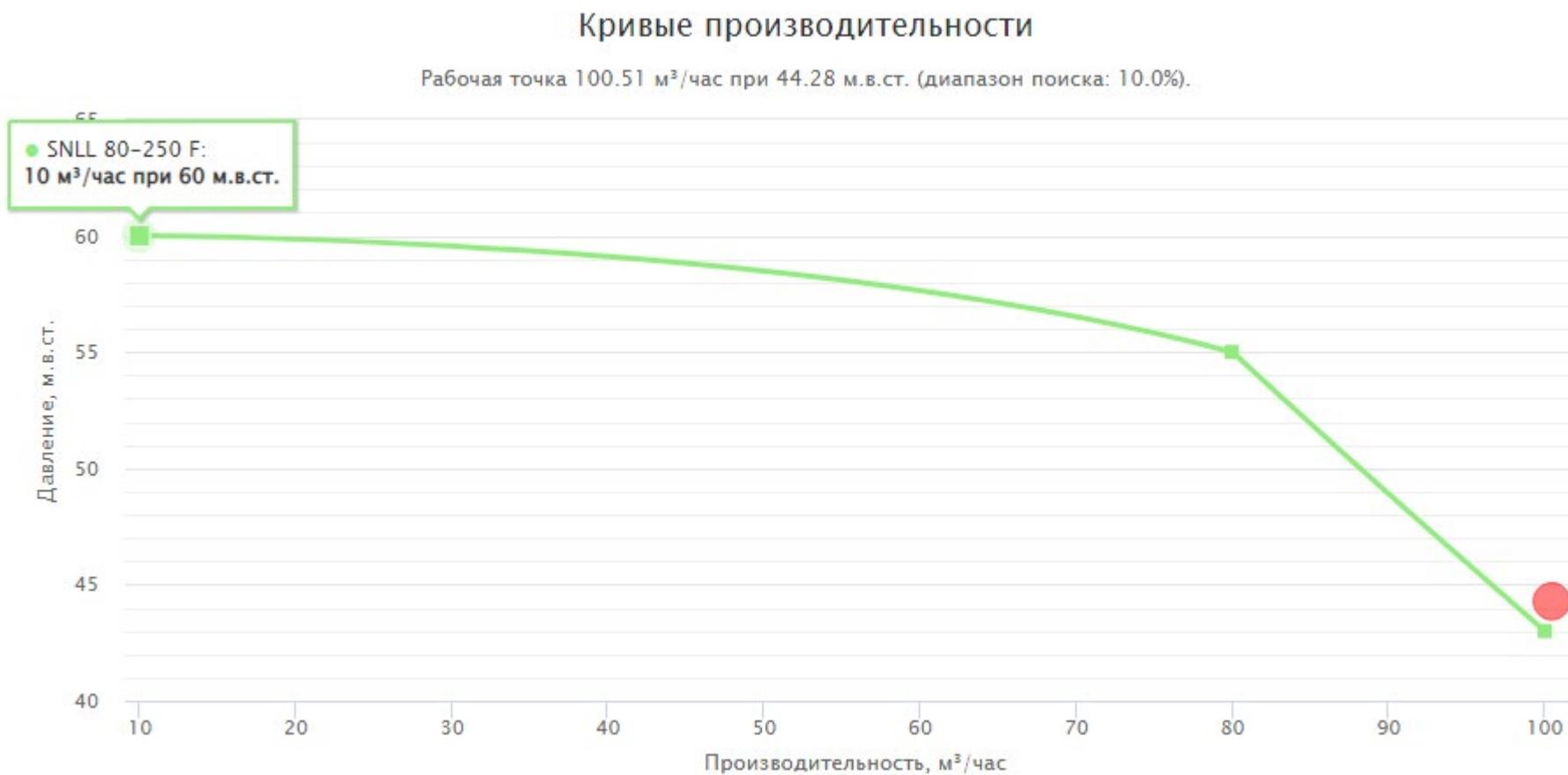


Рисунок Ж.1 – Гидравлические характеристики сети и сетевого насоса NORM SNLL 80–250F Ду80

Продолжение Приложения Ж

Кривые производительности

Рабочая точка 4.83 м³/час при 20.3 м.в.ст. (диапазон поиска: 10.0%).

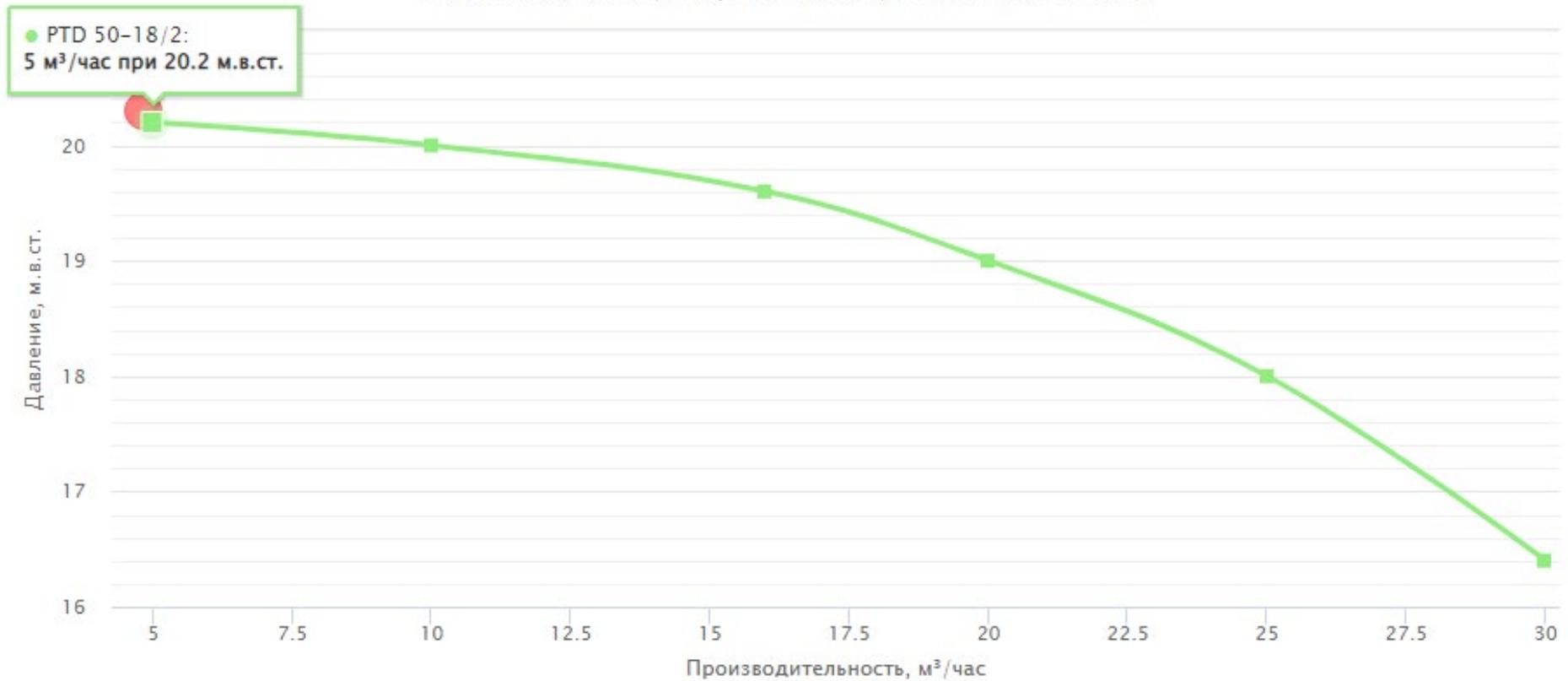


Рисунок Ж.2 – Гидравлические характеристики сети и сетевого насоса Purity PTD 50–18/2 Ду50

Приложение И
Определение объемов строительно–монтажных работ

Таблица И.1 – Ведомость объемов строительно–монтажных работ

№ п/п	Наименование работ	Ед. Изм.	Объем работ на захватке	Формула расчета, расчет объема работ
1	2	3	4	5
1	Разборка покрытий и оснований: асфальтобетонных	м3	7,104	$74,4\text{м}^2 * 0,04\text{м} + 51,6\text{м}^2 * 0,08\text{м}$
2	Разборка бортовых камней на бетонном основании	м	70	$41\text{ м} + 29\text{ м}$
3	Разборка покрытий и оснований: щебеночных	м3	25	$(74,4\text{м}^2 + 51,6\text{м}^2) * 0,2\text{м}$
4	Разработка грунта в траншеях экскаватором «обратная лопата» с ковшом вместимостью 0,65 (0,5–1) м3, группа грунтов: 2	м3	2345,4	таблица 16 $(2606,3\text{м}^3 * 0,9 = 2345,4\text{м}^3)$
5	Доработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	м3	260,9	таблица 15 $(2606,3\text{м}^3 * 0,1 = 260,9\text{м}^3)$
6	Разборка тепловой изоляции: из ваты минеральной	м2	1084,78	таблица 11
7	Демонтаж трубопроводов в непроходных каналах краном диаметром труб: 80 мм	м	116	
8	то же диаметром труб 100 мм	м	128	
9	то же диаметром труб 125, 150 мм	м	827	
10	то же диаметром труб 200 мм	м	70	
11	Демонтаж П–образных компенсаторов диаметром труб: 80 мм	шт	2	
12	то же диаметром труб: 100 мм	шт	2	
13	то же диаметром труб: 150 мм	шт	2	
14	Демонтаж задвижек диаметром: 32 мм	шт	6	
15	Демонтаж задвижек диаметром: 40 мм	шт	4	
16	Демонтаж задвижек диаметром: 50 мм	шт	10	

Продолжение Приложения И

Продолжение таблицы И.1

1	2	3	4	5
17	Демонтаж задвижек диаметром: 65 мм	шт	14	
18	Демонтаж задвижек диаметром: 80 мм	шт	4	
19	Демонтаж задвижек диаметром: 150 мм	шт	2	
20	Демонтаж задвижек диаметром: 200 мм	шт	2	
21	Демонтаж непроходных каналов	м3	177,70	КЛ120х60: 0,3168м3*450мп; КЛ 90х60: 0,288м3*122мп
22	Демонтаж камер со стенками: из бетонных блоков	м3	31,68	2,64м3*12шт
23	Устройство основания под каналы трубопроводов песчаного	м3	93,56	570,5м*(1,44+0,2)м*0,1м
24	Устройство непроходных каналов	м3	177,70	КЛ120х60: 0,3168м3*450мп; КЛ 90х60: 0,288м3*122мп
25	Устройство бетонных оснований камер	м3	11	3м*3м*12м*0,1м
26	Устройство камер со стенками из бетонных блоков	м3	31,68	2,64м3*12шт
27	Прокладка стальных трубопроводов в непроходном канале при номинальном давлении 1,6 МПа, температуре 150°С, диаметр труб: 200 мм , в том числе:	м	70	
	переход	шт	2	
	тройник	шт	4	
	отвод	шт	8	
28	Прокладка стальных трубопроводов в непроходном канале при номинальном давлении 1,6 МПа, температуре 150°С, диаметр труб: 150 мм , в том числе:	м	517	
	переход	шт	4	
	тройник	шт	14	
	отвод	шт	12	

Продолжение Приложения И

Продолжение таблицы И.1

1	2	3	4	5
29	Прокладка стальных трубопроводов в непроходном канале при номинальном давлении 1,6 МПа, температуре 150°С, диаметр труб: 125мм, в том числе:	м	310	
	переход	шт	2	
	тройник	шт	8	
	отвод	шт	18	
30	Прокладка стальных трубопроводов в непроходном канале при номинальном давлении 1,6 МПа, температуре 150°С, диаметр труб: 100 мм, в том числе:	м	128	
	переход	шт	2	
	тройник	шт	8	
	отвод	шт	2	
31	Прокладка стальных трубопроводов в непроходном канале при номинальном давлении 1,6 МПа, температуре 150°С диаметр труб: 80 мм, в том числе:	м	116	
	переход	шт	2	
	тройник	шт	4	
	отвод	шт	4	
32	Установка П–образных компенсаторов на стальных трубопроводах диаметром: 150 мм	шт	2	
33	то же диаметром: 100 мм	шт	2	
34	то же диаметром: 80 мм	шт	2	
35	Установка задвижек или клапанов стальных для горячей воды и пара диаметром: 200 мм	компл	2	

Продолжение Приложения И

Продолжение таблицы И.1

1	2	3	4	5
36	то же: диаметром 150 мм	компл	2	
37	то же: диаметром: 80 мм	компл	4	
38	то же: диаметром: 65 мм	компл	14	
39	то же диаметром: 50 мм	компл	10	
40	то же диаметром: 40 мм	компл	4	
41	то же диаметром: 32 мм	компл	6	
42	Устройство неподвижных щитовых опор: из сборных железобетонных конструкций под трубопровод диаметром 150	м3	2,176	8шт*0,272м3
43	то же диаметром 125	м3	1,632	6шт*0,272м3
44	то же диаметром 100	м3	0,724	4шт*0,181м3
45	то же диаметром 80	м3	0,724	4шт*0,181м3
46	Гидравлическое испытание трубопроводов диаметром: до 100 мм	м	244,00	
47	Гидравлическое испытание трубопроводов диаметром: до 200 мм	м	897,00	
48	Изоляция трубопроводов: матами минераловатными прошивными	м3	63,85	таблица 11
49	Обертывание поверхности изоляции рулонными материалами на битумной мастике	м2	1084,78	таблица 11
50	Устройство плит перекрытий каналов и камер площадью: свыше 1 до 5 м2	шт	198	
51	Устройство плит перекрытий каналов и камер площадью: свыше 0,5 до 1 м2	шт	14	
52	Гидроизоляция плит перекрытия каналов и камер	м2	940	
53	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 2	м3	260,9	таблица 16 (2606,3м3*0,1=260,9м3)

Продолжение Приложения И

Продолжение таблицы И.1

1	2	3	4	5
54	Засыпка траншей и котлованов с перемещением грунта до 5 м бульдозерами мощностью: 59 кВт (80 л.с.), группа грунтов 2	м3	2345,4	таблица 16 (2606,3м3*0,9=2345,4м3)
55	Уплотнение грунта пневматическими трамбовками, группа грунтов: 2	м3	2606,3	
56	Планировка площадей бульдозерами мощностью: 59 кВт (80л.с.)	м2	4279	таблица 16
57	Устройство подстилающих и выравнивающих слоев оснований: из песка	м3	15	
58	Устройство оснований толщиной 12 см под тротуары из щебня	м2	74	
59	Устройство асфальтобетонных покрытий дорожек и тротуаров однослойных из литой мелкозернистой асфальтобетонной смеси толщиной 4 см	м2	74	
60	Устройство покрытия из горячих асфальтобетонных смесей асфальтоукладчиками второго типоразмера, толщина слоя 8 см	м2	51,6	
61	Установка бортовых камней бетонных	м	70	

Приложение К

Определение трудоемкости строительно–монтажных работ

Таблица К.1 – Ведомость трудоемкости работ

№ п/п	Обоснование	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Кол–во	Трудозатраты				машины и механизмы		
					Основных рабочих, человеко–час		Машинистов, человеко–час		Общие на весь объем, человеко–дней	На ед. изм., маш–час	На весь объем, машино–смен
					На ед. изм.	На весь объем	На ед. изм.	На весь объем			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ГЭСН27–03–008–04 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Разборка покрытий и оснований: асфальтобетонных <i>Состав бригады: дорожный рабочий 4р–1, 3р–1, 2р–1, машинист бр – 1, 4р–1</i>	100 м3	0,07104	179,8	12,77	45,63	3,24	1,95	45,63	0,40
2	ГЭСН27–03–010–01 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Разборка бортовых камней: на бетонном основании <i>Состав бригады: дорожный рабочий 3р–1, 2р–1</i>	100 м	0,7	76,7	53,69	0	0	6,55	0,00	0,00
3	ГЭСН27–03–008–02 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Разборка покрытий и оснований: щебеночных <i>Состав бригады: дорожный рабочий 3р–1, 2р–1, машинист 4р–1</i>	100 м3	0,25	13,22	3,31	3,79	0,95	0,52	3,79	0,12

Продолжение Приложения К

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	ГЭСН01–01–009–08 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Разработка грунта в траншеях экскаватором «обратная лопата» с ковшом вместимостью 0,65 (0,5–1) м3, группа грунтов: 2 <i>Состав бригады: машинист 4р–2</i>	1000 м3	2,3454	0	0,00	23,69	55,56	6,78	23,69	6,78
5	ГЭСН01–02–057–02 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Доработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2 <i>Состав бригады: рабочий 2р–4</i>	100 м3	2,609	154	401,79	0	0	49,00	0	0
6	ГЭСНр66–01–024–02 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Разборка тепловой изоляции: из ваты минеральной <i>Состав бригады: теплоизоляторщик 3р–2, 2р–1</i>	100 м2	10,8478	19,1	207,19	0	0	25,27	0	0
7	ГЭСНр66–01–016–02 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Демонтаж трубопроводов в непроходных каналах краном диаметром труб: до 80 мм <i>Состав бригады: монтажник 3р–4, машинист бр–1</i>	100 м	1,16	33,8	39,21	2,14	2,48	5,08	2,14	0,30
8	ГЭСНр66–01–016–03 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Демонтаж трубопроводов в непроходных каналах краном диаметром труб: до 100 мм <i>Состав бригады: монтажник 3р–4, машинист бр–1</i>	100 м	1,28	35,1	44,93	2,14	2,74	5,81	2,14	0,33
9	ГЭСНр66–01–016–04 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Демонтаж трубопроводов в непроходных каналах краном диаметром труб: до 150 мм <i>Состав бригады: монтажник 3р–4, машинист бр–1</i>	100 м	8,27	37,8	312,61	2,42	20,01	40,56	2,42	2,44

Продолжение Приложения К

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	ГЭСНр66-01-016-05 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Демонтаж трубопроводов в непроходных каналах краном диаметром труб: до 200 мм <i>Состав бригады: монтажник 3р-4, машинист бр-1</i>	100 м	0,70	43,5	30,45	2,69	1,88	3,94	2,69	0,23
11	ГЭСНр66-01-019-01 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Демонтаж П-образных компенсаторов диаметром труб: до 100 мм <i>Состав бригады: монтажник 3р-4, машинист бр-1</i>	шт	4	5,95	23,80	1,23	4,92	3,50	1,23	0,60
12	ГЭСНр66-01-019-01 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Демонтаж П-образных компенсаторов диаметром труб: до 150 мм <i>Состав бригады: монтажник 3р-4, машинист бр-1</i>	шт	2	5,95	11,90	1,23	2,46	1,75	1,23	0,30
13	ГЭСНр66-01-026-01 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Демонтаж задвижек диаметром: до 50 мм <i>Состав бригады: монтажник 3р-4, машинист бр-1</i>	шт	20	0,61	12,20	0,1	2,00	1,73	0,10	0,24
14	ГЭСНр66-01-026-02 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Демонтаж задвижек диаметром: до 100 мм <i>Состав бригады: монтажник 3р-4, машинист бр-1</i>	шт	18	1,14	20,52	0,1	1,80	2,72	0,10	0,22
15	ГЭСНр66-01-026-03 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Демонтаж задвижек диаметром: до 150 мм <i>Состав бригады: монтажник 3р-4, машинист бр-1</i>	шт	2	1,86	3,72	0,1	0,20	0,48	0,10	0,02

Продолжение Приложения К

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	ГЭСНр66–01–026–04 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Демонтаж задвижек диаметром: до 200 мм <i>Состав бригады: монтажник 3р–4, машинист бр–1</i>	шт	2	2,45	4,90	0,47	0,94	0,71	0,47	0,11
17	ГЭСН07–06–001–01 Приказ Минстроя России от 02.08.2023 №551/пр	Демонтаж непроходных каналов: одначейковых, перекрываемых или опирающихся на плиту <i>Состав бригады: монтажник 5р–1, 4р–2, 3р–2, 2р–1, машинист бр–1, машинист 4р–1</i>	100 м3	1,7770	266,4	473,39	48,432	86,06	68,23	48,43	10,50
18	ГЭСН07–06–002–01 Приказ Минстроя России от 14.11.2023 №817/пр	Демонтаж камер со стенками: из бетонных блоков <i>Состав бригады: монтажник 5р–1, 4р–2, 3р–2, 2р–1, машинист бр–1, машинист 4р–1</i>	100 м3	0,3168	661,6	209,59	64,224	20,35	28,04	64,22	2,48
19	ГЭСН08–01–002–01 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Устройство основания под фундаменты: песчаного <i>Состав бригады: монтажник 5р–1, 4р–2, 3р–2, 2р–1, машинист 4р–1</i>	м3	93,56	0,78	72,98	0,07	6,55	9,70	0,07	0,80
20	ГЭСН07–06–001–01 Приказ Минстроя России от 02.08.2023 №551/пр	Устройство непроходных каналов <i>Состав бригады: монтажник 5р–1, 4р–2, 3р–2, 2р–1, машинист бр–1, 4р–1</i>	100 м3	1,7770	333	591,74	60,54	107,58	85,28	60,54	13,12
21	ГЭСН06–01–001–01 Приказ Минстроя России от 10.02.2023 №84/пр	Устройство бетонной подготовки <i>Состав бригады: бетонщик 2р–2, машинист 4р–1</i>	100 м3	0,11	135	14,85	18,12	1,99	2,05	18,12	0,24

Продолжение Приложения К

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
22	ГЭСН07-06-002-01 Приказ Минстроя России от 14.11.2023 №817/пр	Устройство камер со стенками: из бетонных блоков <i>Состав бригады: монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2, 2р-1, машинист бр-1, 4р-1</i>	100 м3	0,3168	827	261,99	80,28	25,43	35,05	80,28	3,10
23	ГЭСН24-01-002-07 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Прокладка стальных трубопроводов в непроходном канале при номинальном давлении 1,6 МПа, температуре 150°С, диаметр труб: 200 мм <i>Состав бригады: электрогазосварщик бр-1, электрогазосварщик 5р-1, монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2, машинист бр-1, 4р-1</i>	км	0,07	717	50,19	98,13	6,87	6,96	98,13	0,84
24	ГЭСН24-01-002-06 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Прокладка стальных трубопроводов в непроходном канале при номинальном давлении 1,6 МПа, температуре 150°С, диаметр труб: 150 мм <i>Состав бригады: электрогазосварщик бр-1, электрогазосварщик 5р-1, монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2, машинист бр-1, 4р-1</i>	км	0,517	669	345,87	88,65	45,83	47,77	88,65	5,59

Продолжение Приложения К

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	ГЭСН24-01-002-05 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Прокладка стальных трубопроводов в непроходном канале при номинальном давлении 1,6 МПа, температуре 150°С, диаметр труб: 125 мм <i>Состав бригады:</i> <i>электрогазосварщик бр-1,</i> <i>электрогазосварщик 5р-1,</i> <i>монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2,</i> <i>машианист бр-1, 4р-1</i>	км	0,310	583	180,73	73,95	22,92	24,84	73,95	2,80
26	ГЭСН24-01-002-04 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Прокладка стальных трубопроводов в непроходном канале при номинальном давлении 1,6 МПа, температуре 150°С, диаметр труб: 100 мм <i>Состав бригады:</i> <i>электрогазосварщик бр-1,</i> <i>электрогазосварщик 5р-1,</i> <i>монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2,</i> <i>машианист бр-1, 4р-1</i>	км	0,128	494	63,23	62,33	7,98	8,68	62,33	0,97
27	ГЭСН24-01-002-03 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Прокладка стальных трубопроводов в непроходном канале при номинальном давлении 1,6 МПа, температуре 150°С, диаметр труб: 80 мм <i>Состав бригады:</i> <i>электрогазосварщик бр-1,</i> <i>электрогазосварщик 5р-1,</i> <i>монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2,</i> <i>машианист бр-1, 4р-1</i>	км	0,116	440	51,04	62,3	7,23	7,11	62,30	0,88

Продолжение Приложения К

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28	ГЭСН24-01-028-06 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Установка П-образных компенсаторов на стальных трубопроводах диаметром: 150 мм <i>Состав бригады:</i> <i>электрогазосварщик 5р-1,</i> <i>монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2,</i> <i>машианист 4р-1</i>	шт	2	6,95	13,90	1	2,00	1,94	1,00	0,24
29	ГЭСН24-01-028-04 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Установка П-образных компенсаторов на стальных трубопроводах диаметром: 100 мм <i>Состав бригады:</i> <i>электрогазосварщик 5р-1,</i> <i>монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2,</i> <i>машианист 4р-1</i>	шт	2	3,11	6,22	0,59	1,18	0,90	0,59	0,14
30	ГЭСН24-01-028-03 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Установка П-образных компенсаторов на стальных трубопроводах диаметром: 80 мм <i>Состав бригады</i> <i>электрогазосварщик 5р-1,</i> <i>монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2,</i> <i>машианист 4р-1</i>	шт	2	3,11	6,22	0,1	0,20	0,78	0,10	0,02
31	ГЭСН24-01-032-05 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Установка задвижек или клапанов стальных для горячей воды и пара диаметром: 200 мм <i>Состав</i> <i>бригады: электрогазосварщик бр-</i> <i>1, электрогазосварщик 5р-1,</i> <i>монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2,</i> <i>машианист 4р-1</i>	компл	2	7,33	14,66	1,21	2,42	2,08	1,21	0,30

Продолжение Приложения К

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
32	ГЭСН24-01-032-04 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Установка задвижек или клапанов стальных для горячей воды и пара диаметром: 150 мм <i>Состав бригады: электрогазосварщик бр-1, электрогазосварщик 5р-1, монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2, машианист 4р-1</i>	компл	2	5,15	10,30	0,78	1,56	1,45	0,78	0,19
33	ГЭСН24-01-032-02 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Установка задвижек или клапанов стальных для горячей воды и пара диаметром: 80 мм <i>Состав бригады: электрогазосварщик бр-1, электрогазосварщик 5р-1, монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2, машианист 4р-1</i>	компл	18	2,76	49,68	0,58	10,44	7,33	0,58	1,27
34	ГЭСН24-01-032-01 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Установка задвижек или клапанов стальных для горячей воды и пара диаметром: до 50 мм <i>Состав бригады: электрогазосварщик бр-1, электрогазосварщик 5р-1, монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2, машианист 4р-1</i>	компл	20	1,73	34,60	0,36	7,20	5,10	0,36	0,88
35	ГЭСН07-06-002-04 Приказ Минстроя России от 14.11.2023 №817/пр	Устройство неподвижных щитовых опор: из сборных железобетонных конструкций <i>Состав бригады: монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2, 2р-1, машианист бр-1, 4р-1</i>	100 м3	0,05256	275	14,45	61,9	3,25	2,16	61,90	0,40

Продолжение Приложения К

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	ГЭСН16–07–005–02 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Гидравлическое испытание трубопроводов систем отопления, водопровода и горячего водоснабжения диаметром: до 100 мм <i>Состав бригады: монтажник 5р– 1, 4р–2, 3р–1</i>	100 м	2,44	5,01	12,22	0	0,00	1,49	0,00	0,00
37	ГЭСН16–07–005–03 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Гидравлическое испытание трубопроводов систем отопления, водопровода и горячего водоснабжения диаметром: до 200 мм <i>Состав бригады: монтажник 5р– 1, 4р–2, 3р–1</i>	100 м	8,97	5,01	44,94	0	0,00	5,48	0,00	0,00
38	ГЭСН26–01–010–01 Приказ Минстроя России от 02.08.2023 №551/пр	Изоляция трубопроводов: матами минераловатными прошивными безобкладочными и в обкладках, изделиями минераловатными с гофрированной структурой <i>Состав бригады: теплоизоляровщик 4р–1, 3р–2, машинист 4р–1</i>	м3	63,85	14	893,90	0,5	31,93	112,91	0,50	3,89
39	ГЭСН26–01–054– 02 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Обертывание поверхности изоляции рулонными материалами на битумной мастике <i>Состав бригады: теплоизоляровщик 4р–1, 3р–2, машинист 4р–1</i>	100 м2	10,8478	44	477,30	0,47	5,10	58,83	0,47	0,62

Продолжение Приложения К

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
40	ГЭСН07-06-002-07 Приказ Минстроя России от 14.11.2023 №817/пр	Устройство плит перекрытий каналов и камер площадью: свыше 1 до 5 м2 <i>Состав бригады: монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2, 2р-1, 4р-1</i>	100 шт	1,98	99,37	196,75	58,26	115,35	38,06	58,26	14,07
41	ГЭСН07-06-002-06 Приказ Минстроя России от 14.11.2023 №817/пр	Устройство плит перекрытий каналов и камер площадью: свыше 0,5 до 1 м2 <i>Состав бригады: монтажник 5р-1, 4р-2, 3р-2, 2р-1, 4р-1</i>	100 шт	0,14	52,88	7,40	53,17	7,44	1,81	53,17	0,91
42	ГЭСН08-01-003-07 Приказ Минстроя России от 11.05.2023 №335/пр	Гидроизоляция плит перекрытия каналов и камер <i>Состав бригады: гидроизоляционер 5т-1 4р-2, 3р-1, машинист 4р-1</i>	100 м2	9,4	21,2	199,28	0,2	1,88	24,53	0,20	0,23
43	ГЭСН01-02-061-02 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 2 <i>Состав бригады: рабочий 2р-4</i>	100 м3	2,609	97,2	253,59	0	0,00	30,93	0,00	0,00
44	ГЭСН01-01-033-02 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Засыпка траншей и котлованов с перемещением грунта до 5 м бульдозерами мощностью: 59 кВт (80 л.с.), группа грунтов 2 <i>Состав бригады: машинист 5р-2</i>	1000 м3	2,34540	0	0	8,06	18,90	2,31	8,06	2,31
45	ГЭСН01-02-005-01 Приказ Минстроя России от 27.12.2022 №1133/пр	Уплотнение грунта пневматическими трамбовками, группа грунтов: 1-2 <i>Состав бригады: рабочий 2р-2, машинист 4р-1</i>	100 м3	26,06	12,53	326,57	2,62	68,29	48,15	2,62	8,33

Продолжение Приложения К

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
46	ГЭСН01–01–036–01 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Планировка площадей бульдозерами мощностью: 59 кВт (80л.с.) <i>Состав бригады: машинист 5р–1</i>	1000 м2	4,279	0	0	0,35	1,50	0,18	0,35	0,18
47	ГЭСН27–04–001–01 Приказ Минстроя России от 26.08.2022 №703/пр	Устройство подстилающих и выравнивающих слоев оснований: из песка <i>Состав бригады: дорожный рабочий 3р–1, 2р–1, машинист 4р–2</i>	100 м3	0,15	14,4	2,16	13,88	2,08	0,52	13,88	0,25
48	ГЭСН27–07–002–01 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Устройство оснований толщиной 12 см под тротуары из кирпичного или известнякового щебня <i>Состав бригады: дорожный рабочий 3р–1, 2р–1, машинист 4р–2</i>	100 м2	0,74	24,3	17,98	2,92	2,16	2,46	2,92	0,26
49	ГЭСН27–07–001–01, ГЭСН27–07–001–02 Приказ Минстроя России от 02.08.2023 №551/пр	Устройство асфальтобетонных покрытий дорожек и тротуаров однослойных из литой мелкозернистой асфальтобетонной смеси толщиной 4 см <i>Состав бригады: дорожный рабочий 4р–1, 3р–1, 2р–1, машинист бр –1, 5р – 1, 4р–1</i>	100 м2	0,74	19,0	14,09	0,07	0,05	1,72	0,07	0,01

Продолжение Приложения К

Продолжение таблицы К.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
50	ГЭСН27-06-029-01, ГЭСН27-06-030-01 Приказ Минстроя России от 18.05.2022 №378/пр	Устройство покрытия из горячих асфальтобетонных смесей асфальтоукладчиками второго типоразмера, толщина слоя 8 см <i>Состав бригады: дорожный рабочий 4р-1, 3р-1, 2р-1, машинарист бр -1, 5р - 1, 4р-1</i>	1000 м2	0,0516	23,66	1,22	22,61	1,17	0,29	22,61	0,14
51	ГЭСН27-02-010-02 Приказ Минстроя России от 11.05.2023 №335/пр	Установка бортовых камней бетонных: при других видах покрытий <i>Состав бригады: дорожный рабочий 4р-1, 3р-1, 2р-1, машинарист 4р-1</i>	100 м	0,7	69,8	48,86	0,65	0,46	6,01	0,65	0,06
Итого						6 144,91		722,54	837,49		88,12
«Затраты на малообъемные работы, выполняемые за счет накладных расходов, принимаемые 16% трудоемкости работ, человеко-дней» [9]									134,00		
Затраты труда на подготовительные работы, принимаемые 8% от суммарной трудоемкости работ, человеко-дней									10,72		
ВСЕГО трудозатрат									982,21		