

Содержание

Введение	
1. Исходные данные для проектирования	6
1.1 Структурная характеристика района	6
1.2 Климатическая характеристика района	6
1.3 Характеристика системы теплоснабжения	6
2. Определение тепловых потоков	6
3. Расчет и построение годового графиков расхода теплоты	8
4. Отпуск теплоты в открытых системах теплоснабжения	9
4.1 Построение отопительно-бытового температурного графика центрального качественного регулирования	9
4.2 Построение повышенного температурного графика центрального качественного регулирования	12
4.3 Построение графиков расхода воды и температур обратной воды после теплопотребляющих установок	14
4.4 Выбор основного способа подключения местных систем потребителей к тепловым сетям	17
5. Гидравлический расчет и режимы системы теплоснабжения	18
5.1 Определение расходов сетевой воды	18
5.2 Гидравлический расчет теплопроводов	20
5.3 Анализ гидравлического режима и построение пьезометрического графика	25
5.4 Построение гидравлической характеристики сети и подбор насосного оборудования	25
6. Расчет оборудования тепловой сети	27
6.1 Описание конструкции и разработка монтажной схемы	27
6.2 Определение диаметров спускных и выпускных устройств	29
6.3 Теплотехнический расчет теплотрассы	32
6.4 Расчет компенсаторов температурных удлинений	39
6.5 Расчет усилий на неподвижную опору	

Библиографический список

- Приложение А: Расчет теплопотребления в кварталах
- Приложение Б: Монтажная схема района
- Приложение В: Профиль сети
- Приложение Г: Пьезаметрический график
- Приложение Д: Тепловая камера

1 Исходные данные

1.1 Структурная характеристика района

Объектом расчёта является микрорайон, расположенный в г. Пенза. Микрорайон состоит из 14 кварталов, кварталы состоят из 5-ти, 6-ти, 9-ти, 10-ти 12-ти, 16-ти этажных домов.

Источником тепла является ТЭЦ 3, геодезическая отметка 58.

Перспективная нагрузка – квартал В.

1.2 Климатическая характеристика района

Согласно (*) принимаем климатические данные для г. Владивосток:

- расчётная температура наружного воздуха для проектирования отопления $t_{н.о.} = -29^{\circ}C$

- расчётная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции $t_{н.в.} = -17^{\circ}C$;

- средняя температура отопительного периода $t_{от.} = -4,5^{\circ}C$;

- продолжительность отопительного периода $n_{от.п.} = 207$ суток;

- температура внутреннего воздуха в помещениях $t_{в.} = 18^{\circ}C$

1.3 Характеристика системы теплоснабжения

В проекте предусмотрена двухтрубная водяная система теплоснабжения. Абоненты подключены к тепловым сетям по зависимой схеме.

Параметры теплоносителя:

- температура в подающей магистрали - $\tau_1 = 115^{\circ}C$;

- температура в обратной магистрали - $\tau_2 = 70^{\circ}C$.

Расчетная температура водопроводной воды в отопительный и неотопительный периоды:

$t_c = 5^{\circ}C$ – зимний период;

$t^s_c = 15^{\circ}C$ – летний период

2 Определение тепловых потоков

В зависимости от площади и плотности заселения кварталов определяется число жителей в квартале:

$$m_s = 0,8 * S * m_s, \quad (1)$$

где S – площадь квартала, га;

m_s – плотность заселения, чел./га, определяется по таблице 1 (*).

Максимальные тепловые потоки на отопление $Q_{O\max}$, ГВС $Q_{h\max}$, вентиляцию $Q_{v\max}$ жилых, общественных и производственных зданий при отсутствии проектов по формулам:

а) максимальный тепловой поток на отопление жилых и общественных зданий, $Q_{O\max}$, Вт

$$Q_{O\max} = q_0 \times A \times (1 + \kappa_1), \quad (2)$$

б) максимальный тепловой поток на вентиляцию общественных зданий, $Q_{v\max}$, Вт

$$Q_{v\max} = \kappa_1 \times \kappa_2 \times q_0 \times A \quad (3)$$

в) максимальный тепловой поток на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий, $Q_{h\max}$ Вт

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

где – q_0 укрупнённый показатель максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1 м² общей площади, Вт (принимается по Приложению 2 (2)),

A – общая площадь жилых зданий, м²

κ_1 – коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий (при отсутствии данных $\kappa_1=0,25$);

κ_2 – коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию общественных зданий (при отсутствии данных, $\kappa_2=0,6$)

Q_{hm} – средний тепловой поток на ГВС жилых и общественных зданий.

Средние тепловые потоки на отопление Q_{Om} , вентиляцию Q_{vm} , горячее водоснабжение Q_{hm} жилых и общественных зданий, за отопительный период определяются по формулам:

- на отопление

$$Q_{Om} = Q_{O\max} (t_1 - t_{om}) / (t_1 - t_o) \quad (5)$$

- на вентиляцию

$$Q_{vm} = Q_{v\max} (t_1 - t_{om}) / (t_1 - t_e) \quad (6)$$

- на горячее водоснабжение

$$Q_{hm} = q_h * m \quad (7)$$

Средний тепловой поток на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий в неотапливаемый период, Q_{hm}^s Вт, определяется по формуле:

$$Q_{hm}^s = Q_{hm} ((55 - t_c^s) / (55 - t_c)) \times \beta, \quad (8)$$

- где t_1 – расчётная температура внутреннего воздуха в помещениях здания, °С
- m – число жителей, чел.;
- t_{om} – средняя температура наружного воздуха за период со среднесуточной температурой воздуха 8°С и менее (отопительный период), °С
- t_o – расчётная температура для проектирования отопления, °С
- t_e – расчётная температура для проектирования вентиляции, °С
- a – норма расхода воды на горячее водоснабжение при температуре 55 °С на одного человека в сутки, проживающего в здании с горячим водоснабжением, принимаемая в зависимости от степени комфортности зданий в соответствии с (4) принимаемая равной 105 л/сут на 1 чел.;
- b – норма расхода воды на горячее водоснабжение, потребляемой в общественных зданиях, при температуре 55 °С, принимаемая в размере 25 л/сут на 1 чел.;
- t_c – температура холодной водопроводной воды в отопительный период (при отсутствии данных $t_c = 5^\circ\text{C}$)
- t_c^s – температура холодной водопроводной воды в неотопительный период (при отсутствии данных $t_c^s = 15^\circ\text{C}$)
- β - коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотопительный период по отношению к отопительному периоду (при отсутствии данных $\beta = 0,8$ – для жилищно-коммунального сектора).

Годовые тепловые потоки на отопление, вентиляцию общественных зданий и горячее водоснабжение в кДж/год (Гкал/год) жилыми и общественными зданиями определяются по формулам (п. 2 (2))

- на отопление

$$Q_{oy} = 86,4 Q_{Om} n_0 \quad (9)$$

- на вентиляцию общественных зданий

$$Q_{vy} = 3,6 Q_{vm} Z n_0, \quad (10)$$

- на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий

$$Q_{hy} = 86,4 Q_{hm} n_0 + 86,4 Q_{hm}^s (n_h - n_0), \quad (11)$$

где n_0 – продолжительность отопительного периода, сут.;

Z – усреднённое за отопительный период число часов работы системы вентиляции общественных зданий в течение суток ($Z=16\text{ч}$);

n_h - число суток работы системы ГВС в течение года (n_h - 350 сут).

Пример расчета для 1-ого квартала:

Площадь квартала 1 – $A_1 = 1,65$ га;

Плотность застройки – $m_s = 950$ чел./га, т.к. этажность ;

Определяется число жителей в квартале, по формуле (1):

$$m_s = 0,8 * 1,65 * 950 = 1254 \text{ чел.}$$

Определяется жилая площадь квартала, $A_1, \text{ м}^2$,

$$A_1 = 1254 * 18 = 22572 \text{ м}^2$$

Определим максимальные тепловые потоки на отопление, вентиляцию, ГВС и средние тепловые потоки определяются по формулам (2), (3), (4) и (7):

$$Q_{O_{\max}} = 87 * 22572 * (1 + 0,25) / 10^6 = 1,47 \text{ МВт.}$$

$$Q_{v_{\max}} = 0,6 * 0,25 * 87 * 22572 / 10^6 = 0,29 \text{ МВт.}$$

$$Q_{hm} = 407 * 1254 / 10^6 = 0,51 \text{ МВт.}$$

$$Q_{h_{\max}} = 2,4 * 0,51 = 1,225 \text{ МВт}$$

$$\sum Q = Q_{O_{\max}} + Q_{v_{\max}} + Q_{h_{\max}} = 1,47 + 0,29 + 1,22 = 2,28 \text{ МВт}$$

Тепловые потоки для других кварталов определяются аналогичным образом; результаты расчёта сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчет тепловых потоков

№ кварт	Площ кварт	Плотн нас	Кол-во жител	Жил площ	Тепловой поток, МВт				
	S, Га	m _s , чел/Га	m, чел	A, м ²	Q _o ^{max}	Q _v ^{max}	Q _{hm}	Q _h ^{max}	Q _{сум}
1	1,65	950	1254	22572	1,47	0,29	0,51	1,22	2,28
2	2,97	450	1069,2	19245,6	1,26	0,25	0,44	1,04	1,94
3	3,87	500	1548	27864	1,82	0,36	0,63	1,51	2,81
4	3,01	700	1685,6	30340,8	1,98	0,40	0,69	1,65	3,06
5	3,19	800	2041,6	36748,8	2,40	0,48	0,83	1,99	3,71
6	2,91	950	2211,6	39808,8	2,60	0,52	0,90	2,16	4,02
7	3,06	700	1713,6	30844,8	2,01	0,40	0,70	1,67	3,11
8	2,79	450	1004,4	18079,2	1,18	0,24	0,41	0,98	1,82
9	2,79	950	2120,4	38167,2	2,49	0,50	0,86	2,07	3,85
10	4,33	750	2595	46710	3,05	0,61	1,06	2,53	4,71
11	3,82	450	1375,2	24753,6	1,62	0,32	0,56	1,34	2,50
12	2,28	750	1368	24624	1,61	0,32	0,56	1,34	2,48
13	3,51	700	1965,6	35380,8	2,31	0,46	0,80	1,92	3,57
14	4,07	750	2442	43956	2,87	0,57	0,99	2,39	4,44
15	3,38	450	1215	21870	1,43	0,29	0,49	1,19	2,21
16	3,05	950	2318	41724	2,72	0,54	0,94	2,26	4,21
итог	50,67	11250	27927,2	502689,6	32,80	6,56	11,37	27,28	50,73
итог с учётом теплопотерь (5%)					34,44	6,89	11,93	28,64	53,26

3 Расчет и построение годового графика расхода теплоты

Расчётные расходы теплоты:

- на отопление $Q_{O_{max}} = 32,8$ МВт;
- на вентиляцию $Q_{v_{max}} = 6,54$ МВт;
- горячее водоснабжение $Q_{h_{max}} = 11,37$ МВт

Определяются средние расходы теплоты на отопление и вентиляцию при $t_n = 8^\circ\text{C}$, по формулам (5) и (6) соответственно:

$$Q_o^m = 59,98 \cdot (18-8) / (18-(-29)) = 6,98 \text{ МВт.}$$

$$Q_v^m = 7,2 \cdot (18-8) / (18-(-17)) = 1,87 \text{ МВт}$$

Таблица 2–Продолжительность стояния температур наружного воздуха

Продолж стояния	Температура наружного воздуха									
	-40... -35	-35... -30	-30... -25	-25... -20	-20... -15	-15... -10	-10... -5	-5... 0	0... 5	5... 8
n	2	10	43	173	310	733	948	1104	825	796
Температуры	-35... и ниже	-30... и ниже	-25... и ниже	-20... и ниже	-15... и ниже	-10... и ниже	-5... и ниже	0... и ниже	5... и ниже	8... и ниже
Σn	2	12	55	228	538	1271	2219	3323	4148	4944

В летний период тепловые нагрузки на отопление и вентиляцию отсутствуют, а нагрузки на горячее водоснабжение определяются по формуле (8):

$$Q_{hm}^s = 11,37 * 0,8 * (55 - 15) / (55 - 5) = 7,27 \text{ МВт.}$$

Таблица 3 – Построение графика годовых расходов теплоты

Температура	Ср тепл пот за отоп пер			Ср час в летн пер	Q _н	Q _{сум}	Σп
	Q _{от}	Q _{вент}	Q _{hm}	Q _{hm} ^s			
15	2,09	0,56	-	7,27	7,27	9,93	4944
8	6,98	1,87	11,37	-	11,37	20,22	4944
5	9,07	2,44	11,37	-	11,37	22,88	4148
0	12,56	3,37	11,37	-	11,37	27,30	3323
-5	16,05	4,31	11,37	-	11,37	31,73	2219
-10	19,54	5,25	11,37	-	11,37	36,16	1271
-15	23,03	6,19	11,37	-	11,37	40,58	538
-17	24,43	6,56	11,37	-	11,37	42,35	-
-20	26,52	6,56	11,37	-	11,37	44,45	228
-25	30,01	6,56	11,37	-	11,37	47,94	55
-30	33,50	6,56	11,37	-	11,37	51,42	12
-35	36,99	6,56	11,37	-	11,37	54,91	2

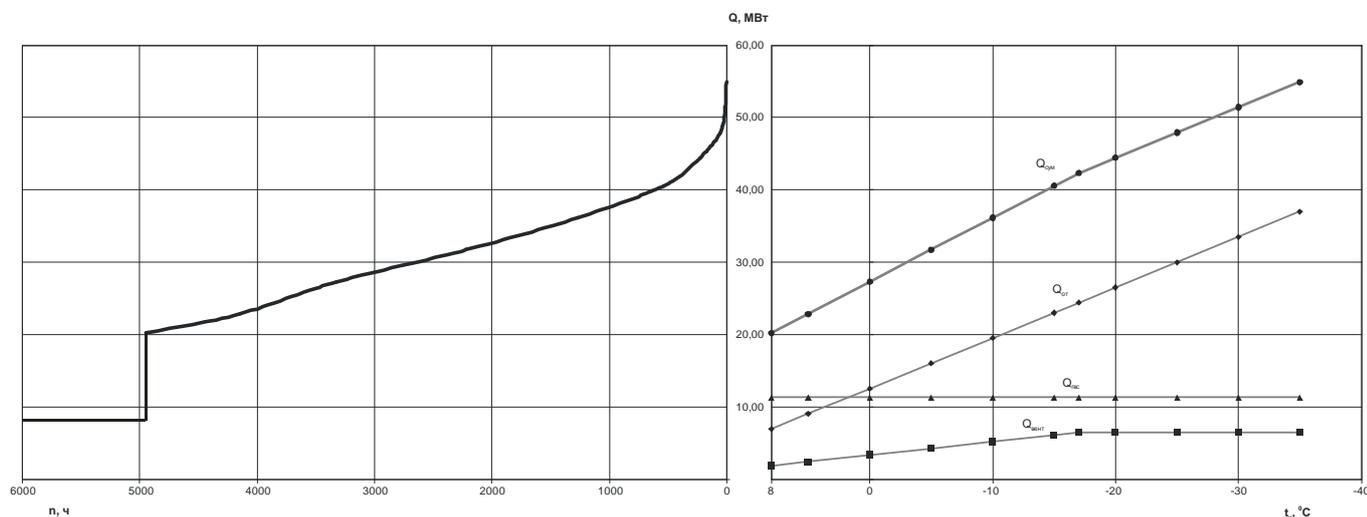


Рисунок 1 - График годового расхода теплоты

4 Отпуск теплоты в открытых системах теплоснабжения

4.1 Построение отопительно-бытового температурного графика центрального качественного регулирования

Расчет повышенного температурного графика при открытой системы теплоснабжения заключается в определении перепада температур сетевой воды и в первой и второй ступенях подогревателя ГВС при различных температурах наружного воздуха и балансовой тепловой нагрузке ГВС.

Балансовый коэффициент $K=1$, так как устанавливается бак аккумулятор.

$$t_{н.о} = -29^{\circ}\text{C}, t_{в.о} = -17^{\circ}\text{C}, t_{в} = 18^{\circ}\text{C}$$

Температура сетевой воды в подающей и обратной магистрали при $t_{н.о} = -24^{\circ}\text{C}$ соответственно равны $\tau_{1,0} = 115^{\circ}\text{C}$, $\tau_{2,0} = 70^{\circ}\text{C}$

- температура горячей воды в системе горячего водоснабжения $t_{г} = 55^{\circ}\text{C}$, холодной воды $t_{х} = 5^{\circ}\text{C}$

- схема присоединения системы отопления – зависимая.

Температура воды в подающей и обратной магистралях в течении отопительного периода определяется по формуле:

$$\tau_{1,0} = t_{в} + \Delta t' \times \left(\frac{t_{в} - t_{н}}{t_{в} - t_{н.о}} \right)^{0,8} + (\Delta \tau' - 0,5\theta') \times \left(\frac{t_{в} - t_{н}}{t_{в} - t_{н.о}} \right) \quad (12)$$

$$\tau_{2,0} = t_{в} + \Delta t' \times \left(\frac{t_{в} - t_{н}}{t_{в} - t_{н.о}} \right)^{0,8} - 0,5\theta' \times \left(\frac{t_{в} - t_{н}}{t_{в} - t_{н.о}} \right) \quad (13)$$

где ' – обозначает, что значения величин взяты при $t_{н.о}$,

$\Delta t'$ - температурный напор нагревательного прибора, при расчетной температуры воды в отопительной системе $\tau'_3 = 95^{\circ}\text{C}$ и $\tau'_{2,0} = 70^{\circ}\text{C}$

$$\Delta t' = (\tau'_3 - \tau'_{2,0}) / 2 - t_{с} = (95 - 70) / 2 - 18 = 64,5^{\circ}\text{C}$$

$\Delta \tau'$ - расчетный перепад температур в тепловой сети, $^{\circ}\text{C}$

$$\Delta \tau' = \tau'_{1,0} - \tau'_{2,0} = 115 - 70 = 45^{\circ}\text{C}$$

θ' - расчетный перепад температуры воды в местной системе отопления, $^{\circ}\text{C}$

$$\theta' = \tau'_3 - \tau'_{2,0} = 95 - 70 = 25^{\circ}\text{C}$$

Задаваясь различными значениями параметрами температуры в диапазоне +8...-30 °С по формулам определим значение температуры сетевой воды в магистралях, результаты сводятся в таблицу

Темп сетев воды	Температура наружного воздуха, тн									
	+8	+5	+0	+0,185	-5	-10	-15	-20	-25	-30
$\tau_{1.0}$	43,62	50,06	60,38	60,00	70,32	79,98	89,43	98,69	107,80	116,79
$\tau_{2.0}$	34,04	37,61	43,14	42,95	48,30	53,17	57,83	62,31	66,63	70,83

По полученным значениям строим отопительно-бытовой график. Для обеспечения требуемой температуры воды в системе ГВС минимальную температуру сетевой воды в подающей магистрали тепловой сети принимаем 60°С. Сделав срезку на пересечении графика подающей магистрали со значением температуры 60°С, получаем точку излома при $\Delta t'' = 0,185$ °С

В последующем расчете вводятся обозначения:

'- значения величин взяты при $t_{н.о}$

''- значения величин взяты при $t_{н.и}$

'''- значения величин взяты при $t_{н.в}$

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

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

$$\tau_{2п} = t_i + \frac{\bar{Q}_o}{\bar{G}_o} \cdot \left(\Delta t \cdot \frac{\bar{G}_o}{\bar{Q}_o^{0,2}} - 0,5 \cdot \theta \right)$$

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

$$\bar{Q}_o = \frac{Q_o}{Q_{o\max}} = \frac{(t_i - t_{н.и})}{(t_i - t_o)}$$

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

$$\bar{G}_o = \frac{1 - 0,5 \cdot \rho^{\delta} \cdot \frac{\theta}{t_h - t_c}}{1 + \frac{t_h - t_i}{t_h - t_c} \cdot \frac{\rho^{\delta}}{\bar{Q}_o} - \frac{\Delta t}{t_h - t_c} \cdot \frac{\rho^{\delta}}{\bar{Q}_o^{0,2}}}$$

где

$$\rho^{\delta} = \frac{1,1 \cdot Q_{\text{hm}}}{Q_{\text{omax}}}$$

Таблица 3 – Температура сетевой воды в подающем и обратном теплопроводах в зависимости от температуры наружного воздуха

Темп сетев воды	Температура наружного воздуха, tн									
	8	5	0	0,185	-5	-10	-15	-20	-25	-29
Q ₀	0,213	0,277	0,383	0,379	0,489	0,596	0,702	0,809	0,915	1,000
G ₀	0,519	0,620	0,750	0,745	0,846	0,920	0,977	1,022	1,058	1,082
τ _{1.п}	50,02	55,58	64,53	64,21	73,20	81,66	89,96	98,12	106,17	112,53
τ _{2.п}	31,58	35,49	41,54	41,33	47,19	52,53	57,62	62,53	67,26	70,95

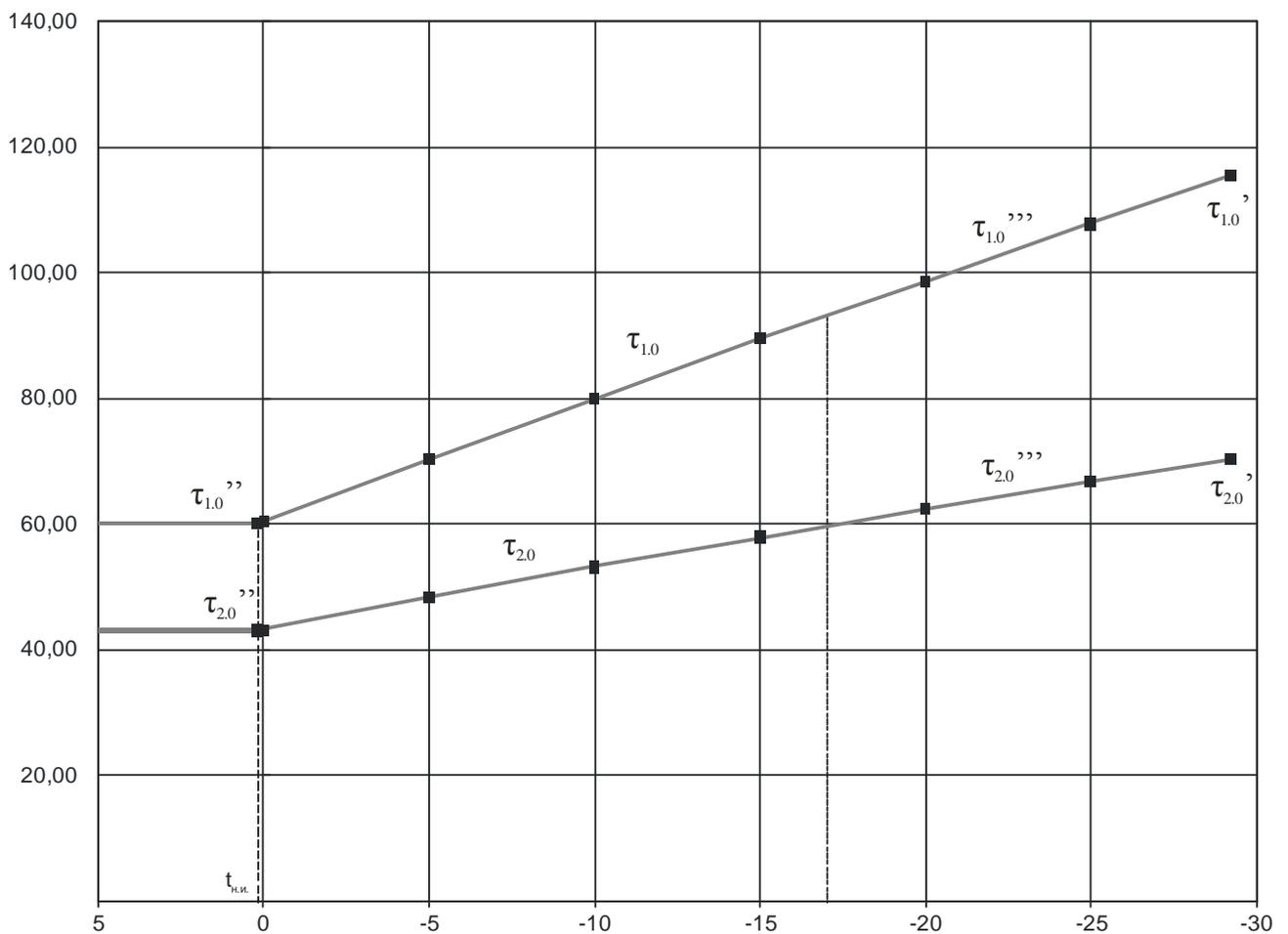


Рисунок 2 – График зависимости температуры сетевой воды в подающем и обратном теплопроводах в зависимости от температуры наружного воздуха

Расчет бака аккумулятора

На основании безразмерного графика расхода горячей воды строим график расхода теплоты по часам суток, $Q_{г.в}^{cp} = 0,94 \text{ МВт} = 3384 \text{ МДж/ч}$

Так для периода с 0 до 2 ч расход теплоты составляет 60% среднечасового расхода:

$$3384 * 0,6 = 2030,4 \text{ МДж/ч}$$

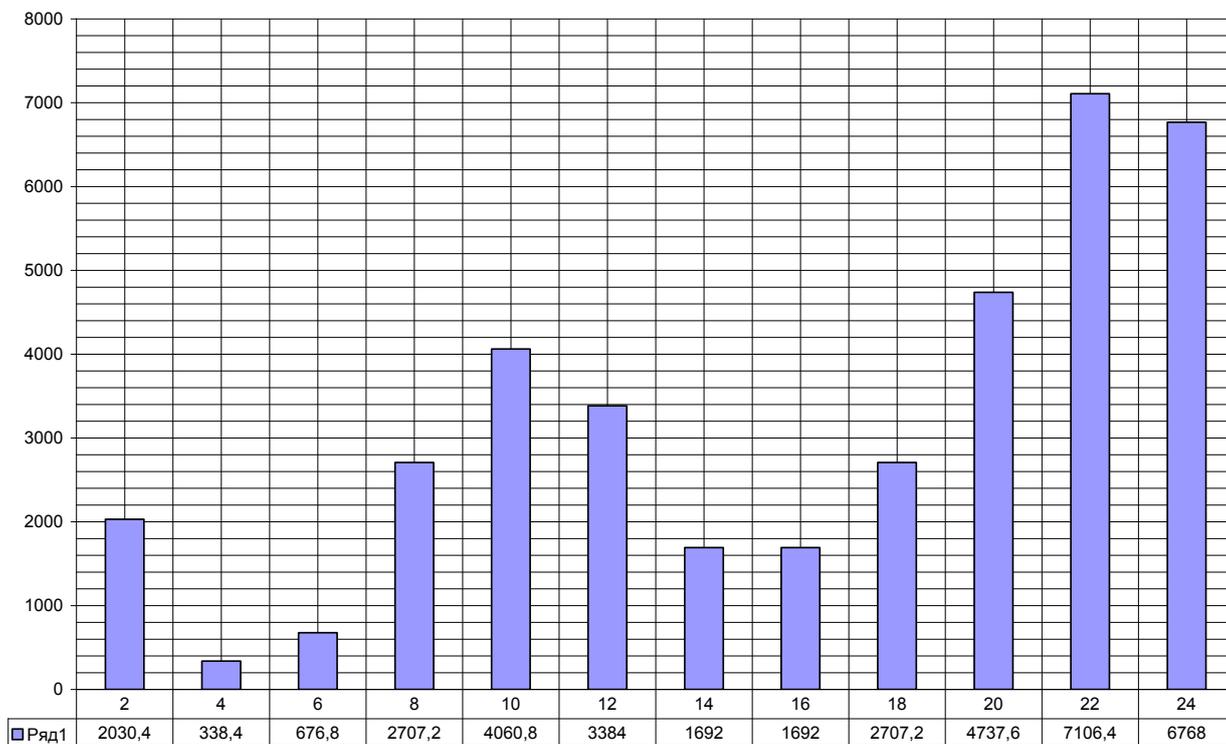


Рисунок 3 - График расхода теплоты по часам суток

Далее на основании график расхода теплоты по часам суток строим интегральный график подачи и потребления теплоты

2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4060,8	4737,6	6091,2	11505,6	19627,2	26395,2	29779,2	33163,2	38577,6	48052,8	62265,6	75801,6

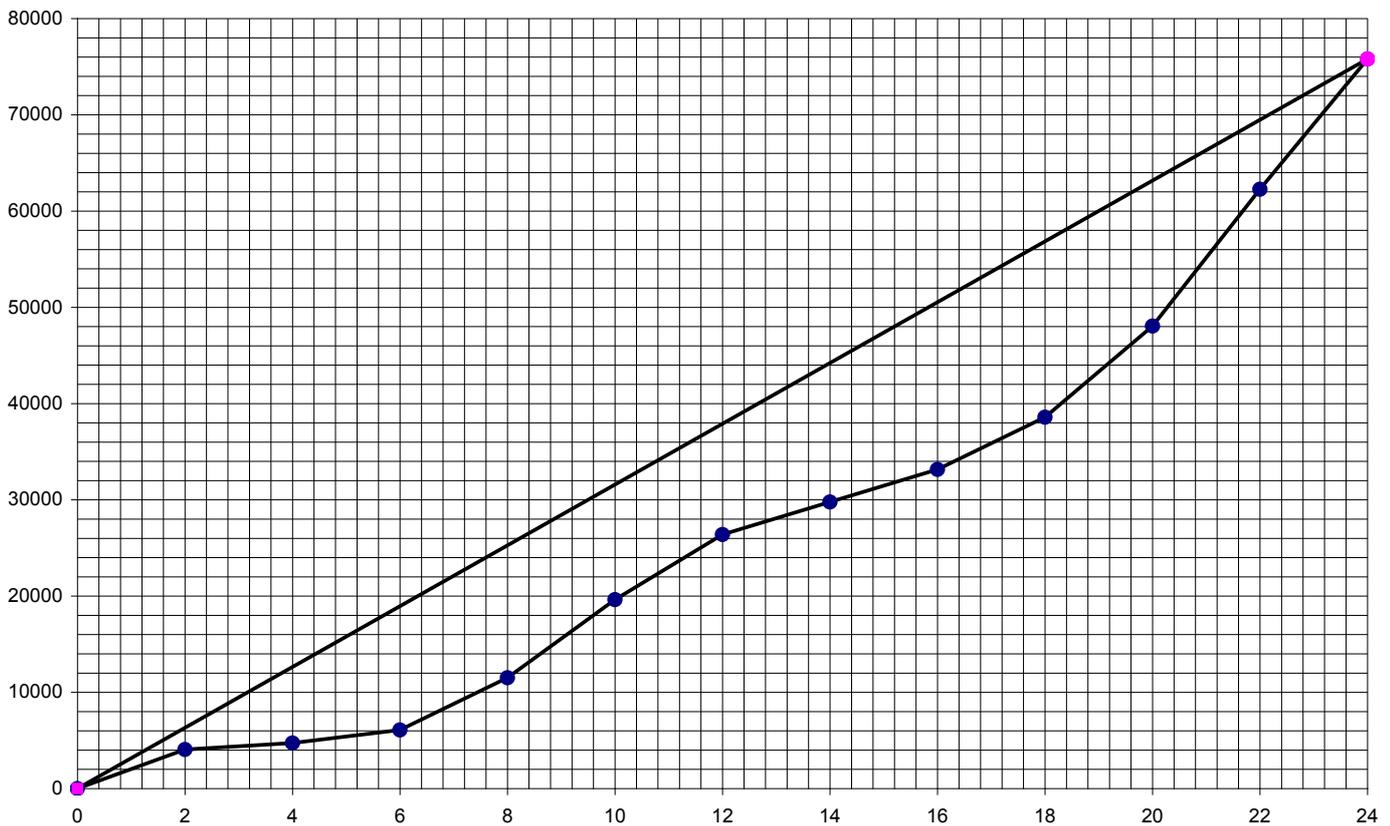


Рисунок 4 - интегральный график потребления и подачи теплоты

При температуре горячей воды $t_r=55^\circ\text{C}$, холодной $t_x=5^\circ\text{C}$, объем бака аккумулятора теплоты составляет:

$$V_{\text{ак}} = A^{\text{max}} / (t_r - t_x) \cdot c \cdot \rho = 18274 \cdot 10^3 / (55 - 5) \cdot 4,187 \cdot 1000 = 87,29 \text{ м}^3.$$

4.2 Построение графиков расхода воды и температур обратной воды после теплотребляющих установок

Отпуск теплоты на вентиляцию осуществляется способом регулирования изменения расхода сетевой воды при разных температурах наружного воздуха.

Таблица 5 – Расчетные параметры сетевой воды

$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{н.к.}}$	$t_{\text{н.и.}}$	$t_{\text{н.г.}}$	$t_{\text{н.в.}}$	$t_{\text{н.о.}}$
τ_1	46,31	64,21	94,08	93,15	115
τ_2	28,97	41,33	60,09	59,64	70
Обозначения	τ_1' / τ_2'	τ_1'' / τ_2''	τ_r	τ_1''' / τ_2'''	τ_1 / τ_2

Температуру воды после калорифера $\tau_{2,в}'$, $^\circ\text{C}$, при $t_{\text{н.о}}$ определяем из уравнения:

$$((\tau_1' + \tau_{2,в}') - (t_{\text{н}} + t_{\text{в}})) / ((\tau_1''' + \tau_{2,в}''') - (t_{\text{н.в}} + t_{\text{в}})) \cdot ((\tau_1''' - \tau_{2,в}''') / (\tau_1' + \tau_{2,в}'))^{0,25} = 1, \quad (22)$$

где $\tau_{2,в}'''$ – расчетная температура воды на выходе из калорифера при $t_{н,в}$.
Принимаем, что $\tau_{2,в}''' = \tau_2''' = 59,64$ °С.

$$((115 + \tau_{2,в}') - (-24 + 18)) / ((93,15 + 59,64) - (-17 + 18)) \cdot ((93,15 - 59,64) / (115 - \tau_{2,в}'))^{0,25} = 1.$$

Решив это уравнение, получаем значение $\tau_{2,в}' = 51,9$ °С.

Температура воды после калорифера $\tau_{2,в}''$, °С, при $t_{н,и}$ равна:

$$\tau_{2,в}'' = \tau_1'' - (\tau_1''' - \tau_{2,в}''') \cdot (t_в - t_{н,и}) / (t_в - t_{н,в}). \quad (23)$$

По формуле (19) имеем:

$$\tau_{2,в}'' = 64,21 - (93,15 - 59,64) \cdot (18 - 0,185) / (18 + 17) = 47,15$$
 °С.

Температура воды на выходе из калорифера $\tau_{2,в}$, °С, при $t_{н} = +8$ °С определяется по уравнению:

$$\begin{aligned} ((\tau_1'' + \tau_{2,в}) - (t_{н} + t_в)) / ((\tau_1'' + \tau_{2,в}'') - (t_{н,и} + t_в)) \cdot ((\tau_1'' - \tau_{2,в}'') / (\tau_1'' - \tau_{2,в}))^{0,15} \\ = ((t_в - t_{н}) / (t_в - t_{н,и}))^{0,85} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} ((64,21 + \tau_{2,в}) - (8 + 18)) / ((64,21 + 47,15) - (0,185 + 18)) \cdot ((64,21 - 47,15) / (64,21 - \tau_{2,в}))^{0,15} = \\ = ((18 - 8) / (18 - 0,185))^{0,85}. \end{aligned}$$

Решая это уравнение, получаем значение $\tau_{2,в} = 26,2$ °С.

По известным значениям $\tau_{2,в}$ строим график зависимости температуры после калорифера $\tau_{2,в}$ от температуры наружного воздуха $t_{н}$. (Рисунок 3).

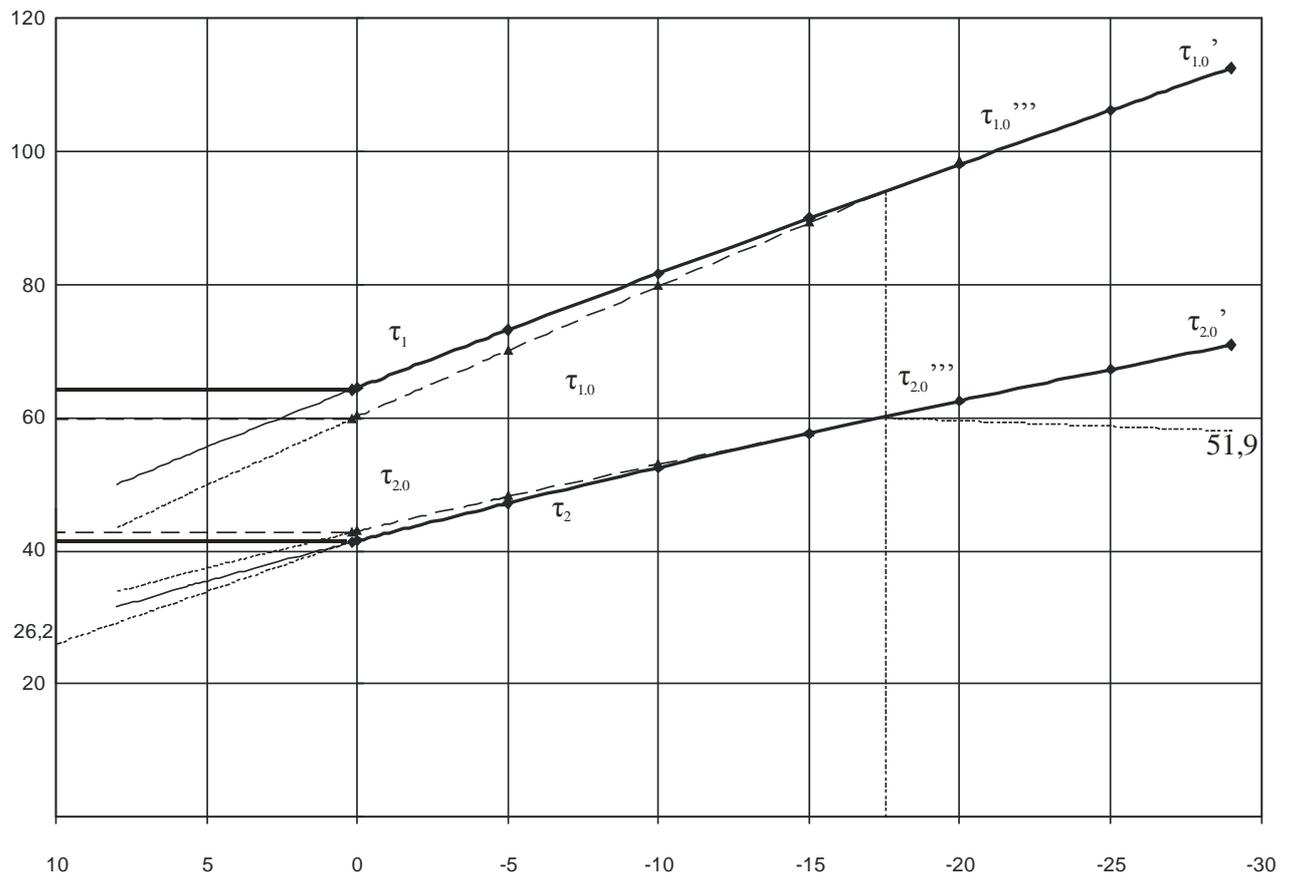


Рисунок 3 - График зависимости температуры воды после калориферов

Определим расход сетевой воды на вентиляцию G_B , кг/ч, при различных температурах наружного воздуха t_n . В общем случае расход определяется по формуле:

$$G_B = Q_B^p \cdot 3600 / (c \cdot (\tau_1 - \tau_{2,B})), \quad (21)$$

где Q_B^p – расчетная тепловая нагрузка на вентиляцию, $Q_B^p = 6,56$ МВт;
 c – теплоемкость воды, $c = 4,187$ кДж/(кг·°C);

$\tau_1, \tau_{2,B}$ – температуры соответственно подающей магистрали и воды при выходе из калорифера при различных температурах наружного воздуха, °C.

При $t_{n,0} = -29$ °C:

$$G_B = 6,56 \cdot 3600 / (4,187 \cdot (115 - 59,1)) = 100,9 \text{ т/ч}$$

При $t_{n,B} = -17$ °C:

$$G_B = 6,56 \cdot 3600 / (4,187 \cdot (93,15 - 59,64)) = 178,15 \text{ т/ч}$$

При $t_{n,И} = 0,185$ °C:

$$Q_B = 6,56 \cdot (18 - 0,185) / (18 + 17) = 3,34 \text{ МВт.}$$

Тогда:

$$G_B = 3,34 \cdot 3600 / (4,187 \cdot (64,21 - 47,15)) = 168,33 \text{ т/ч}$$

При $t_n = +8$ °C:

$$Q_B = 6,56 \cdot (18 - 8) / (18 + 17) = 1,87 \text{ МВт.}$$

Тогда:

$$G_B = 1,87 \cdot 3600 / (4,187 \cdot (64,21 - 26,2)) = 42,3 \text{ т/ч.}$$

Строим график расхода сетевой воды на вентиляцию G_B в зависимости от t_n . (Рисунок 4).

По заданной температуре воды в подающей и обратной магистралях тепловой сети определяем расчетный расход сетевой воды на отопление G_o^p , кг/ч:

$$G_o^p = Q_o^p \cdot 3600 / (4,187 \cdot (\tau_1 - \tau_2)), \quad (22)$$

где Q_o^p – расчетный расход теплоты на отопление, $Q_o^p = 32,8$ МВт, по таблице 1.

Расход воды на отопление при $t_n = +8^\circ\text{C}$ равен:

$$G_o = G_o^p \cdot (t_b - t_n) / (t_b - t_{n,i}). \quad (23)$$

По формулам (22) и (23) определим расходы воды:

$$G_o^p = 32,8 \cdot 3600 / (4,187 \cdot (115 - 70)) = 626,7 \text{ т/ч};$$

$$G_o = 626,7 \cdot (18 - 8) / (18 - 0,185) = 351,78 \text{ т/ч}.$$

Строим график расхода сетевой воды на отопление G_o в зависимости от t_n . (Рисунок 4).

Строим суммарный график расходов сетевой воды на отопление G_o и на вентиляцию G_b в зависимости от t_n . (Рисунок 4).

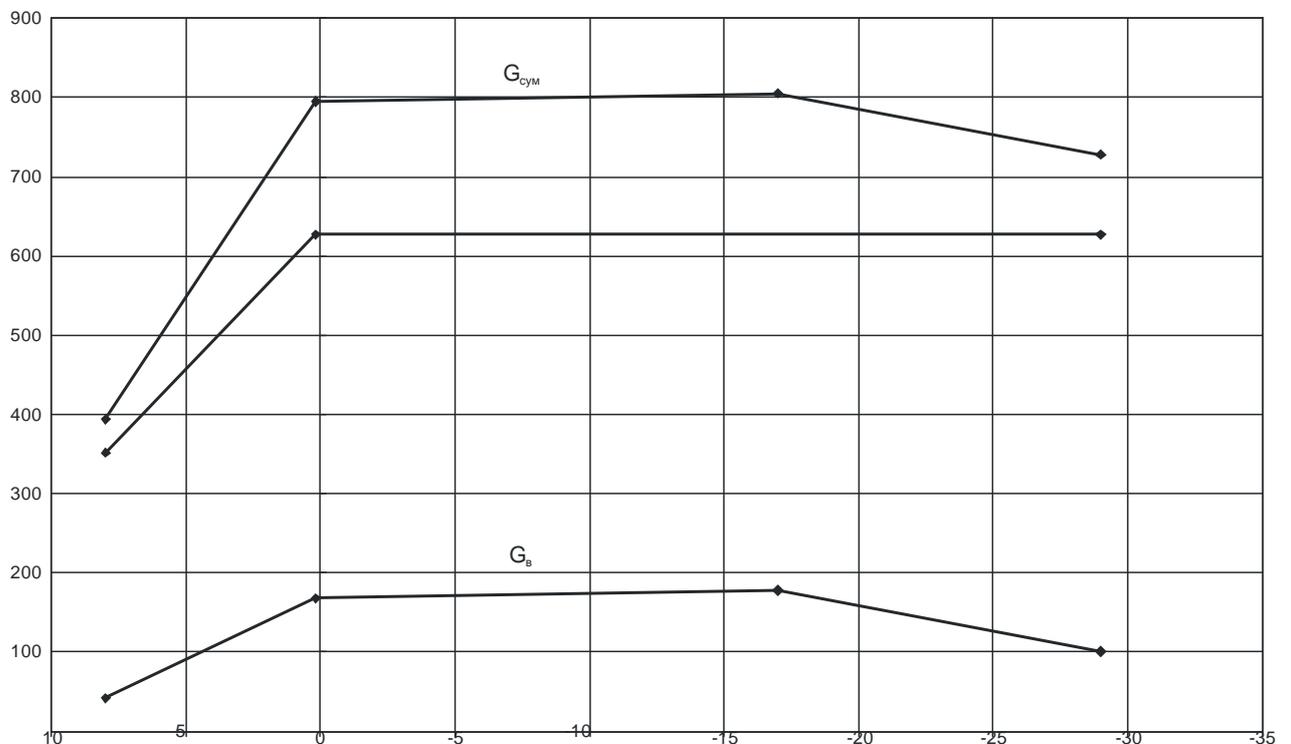
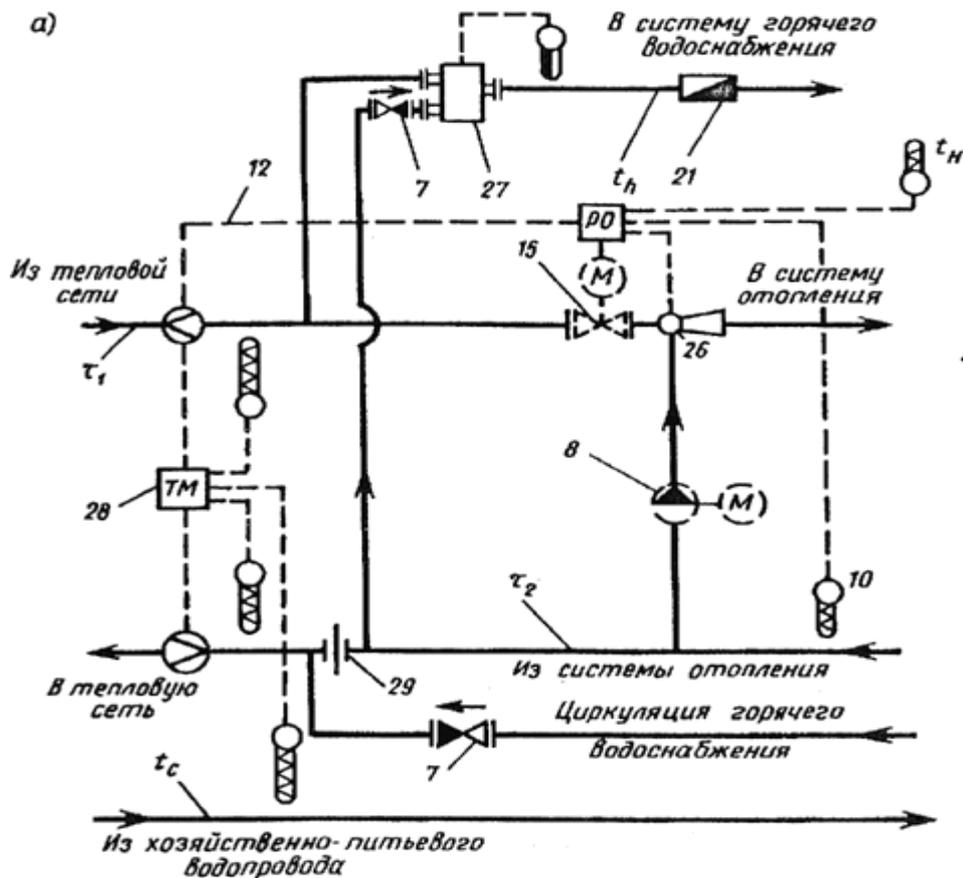


Рисунок 4 - Суммарный график расходов сетевой воды на отопление G_o и на вентиляцию G_b в зависимости от t_n

4.3 Выбор основного способа подключения местных систем потребителей к тепловым сетям



7 — обратный клапан, 8 — корректирующий подмешивающий насос, 10 — датчик температуры, 12 — сигнал ограничений максимального расхода воды из тепловой сети на ввод, 15 — регулятор подачи теплоты на отопление, 21 — водомер горячеводный, 27 — регулятор смешения горячей воды, 28 — тепломер двухпоточный трехточечный, 29 — дроссельная диафрагма.

Присоединение потребителей осуществляется по зависимой схеме, т. е. теплоноситель в отопительные приборы поступает непосредственно из тепловых сетей. Основным недостатком зависимых систем является то, что давление теплоносителя в тепловых сетях передается на приборы местных систем.

Горячее водоснабжение в открытых системах теплоснабжения должно присоединяться к подающему и обратному трубопроводам двухтрубных водяных тепловых сетей через регулятор смешения воды, который смешивая воду разных температур обеспечивает подачу в систему горячего водоснабжения воды заданной температуры.

Отбор воды для горячего водоснабжения из трубопроводов и приборов систем отопления не допускается.

В открытых системах теплоснабжения циркуляционный трубопровод системы горячего водоснабжения рекомендуется присоединять к обратному трубопроводу тепловой сети после отбора воды в систему горячего водоснабжения при этом на трубопроводе между местом отбора воды и

местом подключения циркуляционного трубопровода должна предусматриваться диафрагма, рассчитанная на гашение напора, равного сопротивлению системы горячего водоснабжения в циркуляционном режиме.

Вода из подающей сети поступает в смеситель, регулятор температуры которого контролирует расход в подающем трубопроводе, поддерживая температуру в смесителе около 60°C, с которого она поступает в систему горячего водоснабжения. Обратный клапан препятствует перетеканию воды в обратный трубопровод.

5 Гидравлический расчет и режимы системы теплоснабжения

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

Гидравлический расчет для открытой системы теплоснабжения выполняется для подающего теплопровода, принимая диаметр обратного теплопровода и падение давления в нем такими же, как на подающем.

5.1 Определение расходов сетевой воды

Задача расчета состоит в определении суммарных расчетных расходов для открытой системы теплоснабжения при качественном регулировании отпуска теплоты.

$$G_{\Sigma} = G_o' + G_B' + K_3 * G_{ГВС} \quad (24)$$

где K_3 – коэффициент, учитывающий долю среднечасового расхода на ГВС при регулировании по отопительной нагрузке, $k_3=0$ (т.к. используется регулирование по совмещенной нагрузке отопления и ГВС).

Расходы теплоносителя, т/ч, считают для отопления и вентиляции по формулам:

$$\text{- на отопление: } G_{0,\max} = (Q_{0,\max} * 3600) / c * (t_1 - t_2) \quad (25)$$

$$\text{- на вентиляцию } G_{v,\max} = (Q_{v,\max} * 3600) / c * (t_1 - t_2) \quad (26)$$

где c — теплоёмкость воды $c = 4,187$ кДж/кг °С;

Пример: квартал №1

1) Максимальный расчетный расход на отопление:

$$G_{0,\max} = (1,47 * 3600) / 4,187 * (115 - 70) = 28,09 \text{ т/ч}$$

2) Максимальный расчетный расход на вентиляцию:

$$G_{v,\max} = (0,29 * 3600) / 4,187 * (93,15 - 59,64) = 7,44 \text{ т/ч.}$$

3) Суммарный расход сетевой воды равен:

$$G_{\Sigma} = 28,09 + 7,44 = 35,53 \text{ т/ч}$$

$$G_{\Sigma} = (35,53 / 3,6) / 963,6 = 0,0102 \text{ м}^3/\text{с},$$

где $\rho = 963,6$ кг/м³ – средняя плотность теплоносителя, кг/м³.

Расчет для остальных абонентов аналогичен, результаты сведены в таблицу.

Таблица 6 – Расчетные расходы воды потребителями

№ кварт	G _о , т/ч	G _в , т/ч	G _{сум} , т/ч	G _{сум} , м/с
1	28,14	7,56	35,70	0,0103
2	23,99	6,44	30,44	0,0088
3	34,74	9,33	44,07	0,0127
4	37,83	10,16	47,99	0,0138
5	45,82	12,30	58,12	0,0168
6	49,63	13,33	62,96	0,0181
7	38,45	10,33	48,78	0,0141
8	22,54	6,05	28,59	0,0082
9	47,58	12,78	60,36	0,0174
10	58,23	15,64	73,87	0,0213
11	30,86	8,29	39,15	0,0113
12	30,70	8,25	38,94	0,0112
13	44,11	11,85	55,96	0,0161
14	54,80	14,72	69,52	0,0200
15	27,27	7,32	34,59	0,0100
16	52,02	13,97	65,99	0,0190
сум	626,71	168,32	795,03	0,2292

5.2 Гидравлический расчет теплопроводов

Пример: участок №1

На основании известных объемных расходов ($G=0,2292 \text{ м}^3/\text{с}$), предварительно определяем внутренний диаметр трубопровода ($d=0,616 \text{ м}$), затем определяем скорость движения теплоносителя ($\omega=1,445 \text{ м/с}$). Далее определяем коэффициент гидравлического трения λ по формуле Шиферсона:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{K_{\text{э}}}{d_{\text{в}}} \right)^{0,25}, \quad (27)$$

где $K_{\text{э}}$ -коэффициент эквивалентной шероховатости, равный 0,5 мм; $d_{\text{в}}$ –диаметр трубопровода, м.

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{0,5}{408} \right)^{0,25} = 0,0206$$

Удельные потери давления на участке $R_{\text{л}}$, Па/м, определяем по формуле:

$$R_{\text{л}} = \frac{\lambda}{d_{\text{в}}} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \quad (28)$$

$$R_{\text{л}} = \frac{0,0206}{0,408} \cdot \frac{963,6 \cdot 1,754^2}{2} = 74,77 \text{ Па/м}$$

Так как удельные потери давления для участка № 1 не превысили 80 Па/м, то окончательно определяли линейные потери давления на участке $\Delta P_{\text{л}}$, кПа, по формуле:

$$\Delta P_{\text{л}} = \lambda \cdot \frac{l}{d_{\text{в}}} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \quad (29)$$

где l – длина участка, м;

$$\Delta P_{л} = 0,0206 \cdot \frac{61}{0,408} \cdot \frac{963,6 \cdot 1,754^2}{2} = 4,561 \text{ кПа.}$$

Потери давления в местных сопротивлениях, $\Delta P_{м}$, кПа, определяли по формуле:

$$\Delta P_{м} = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \quad (30)$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на данном участке.

$$\Delta P_{м} = 2,8 \cdot \frac{963,6 \cdot 1,754^2}{2} \cdot 0,001 = 4,15$$

Суммарные потери давления ΔP , кПа, определяли по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_{л} + \Delta P_{м}. \\ \Delta P &= 2,668 + 4,15 = 8,7 \text{ Па.} \end{aligned} \quad (31)$$

Потеря напора на участке 1 определялась по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta H &= \frac{\Delta P \cdot 1000}{\rho \cdot g} \\ \Delta H &= \frac{8,7 \cdot 1000}{963,6 \cdot 9,81} = 0,92 \text{ м.} \end{aligned} \quad (32)$$

Примечание: Принимаем осевые (сальниковые) (при $D_y > 200\text{мм}$) и радиальные компенсаторы (при $D_y < 200\text{мм}$) (П-образные, различные углы поворота, являющиеся участками естественной компенсации при угле от 90 до 120°).

Таблица 7 – Гидравлический расчет тепловой сети

№ уч	$G_v, \text{ м}^3/\text{с}$	$l_{уч}, \text{ м}$	$d_v, \text{ мм}$	$\omega, \text{ м/с}$	λ	$R_{л}, \text{ Па/м}$	$\Delta P_{л}, \text{ кПа}$	$\Sigma \xi$	$\Delta P_m, \text{ кПа}$	$\Delta P, \text{ кПа}$	$\Delta H, \text{ м}$	$\Delta H_{\Sigma}, \text{ м}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Основная магистраль												
1	0,2292	61	408	1,754	0,0206	74,77	4,561	2,8	4,1502	8,7112	0,9215	0,9215
	Характеристика местных сопротивлений участка				- задвижка нормальная $\xi = 0,5$ - тройник на ответв при разветвлении потока $\xi = 1,5$ - УП9 $\xi = 0,5$ - сальниковый компенсатор $\xi = 0,3$							
2	0,1288	172	359	1,273	0,0213	46,222	7,9502	3,4	2,655	10,605	1,1219	2,0434
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на проход при разветвл потока $\xi = 1$ - УП7, УП8 $\xi = 0,5$ - сальниковый компенсатор, 3шт $\xi = 0,3$							
3	0,1161	170	359	1,148	0,0213	37,556	6,3845	1,6	1,0152	7,3997	0,7828	2,8262
	Характеристика местных сопротивлений участка				- тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$ - сальниковый компенсатор, 2шт $\xi = 0,3$							
4	0,0987	20	309	1,317	0,0221	59,651	1,193	1,5	1,2532	2,4462	0,2588	3,085
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$							
5	0,0846	20	309	1,129	0,0221	43,825	0,8765	1	0,6138	1,4903	0,1577	3,2427
	Характеристика местных сопротивлений участка				- тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$							
6	0,0764	253	309	1,019	0,0221	35,741	9,0425	2,1	1,0512	10,094	1,0678	4,3104
	Характеристика местных сопротивлений участка				- УП1 $\xi = 0,5$ - тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$ - сальниковый компенсатор, 2шт $\xi = 0,3$							
7	0,0564	120	259	1,071	0,0231	49,204	5,9044	2,1	1,1607	7,0651	0,7474	5,0578
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$ - сальниковый компенсатор, 2шт $\xi = 0,3$							
8	0,0452	135	259	0,858	0,0231	31,602	4,2663	1,6	0,568	4,8343	0,5114	5,5693
	Характеристика местных сопротивлений участка				- тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$ - сальниковый компенсатор, 2шт $\xi = 0,3$							
9	0,0352	40	207	1,046	0,0244	62,159	2,4864	1,8	0,9497	3,4361	0,3635	5,9327
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$ - сальниковый компенсатор, 1шт $\xi = 0,3$							
10	0,019	245	184	0,715	0,0251	33,611	8,2346	7,6	1,8714	10,106	1,0691	7,0018
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$ - УП2 $\xi = 0,5$ - П-образный компенсатор, 2шт $\xi = 2,8$							

Ответвления от основной магистрали												
18	0,0127	100	100	1,618	0,0293	368,87	36,887	8,1	10,215	47,101	4,9827	4,9827
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на на ответвл при разветвл потока $\xi = 1,5$ - П-образный компенсатор, 1шт $\xi = 2,8$ - задвижка нормальная $\xi = 0,5$							
19	0,0174	140	125	1,419	0,0277	214,58	30,041	8,1	7,8536	37,894	4,0088	4,0088
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на на ответвл при разветвл потока $\xi = 1,5$ - П-образный компенсатор, 2шт $\xi = 2,8$ - задвижка нормальная $\xi = 0,5$							
20	0,0141	60	100	1,796	0,0293	454,67	27,28	5,3	8,2384	35,519	3,7575	3,7575
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на на ответвл при разветвл потока $\xi = 1,5$ - П-образный компенсатор, 1шт $\xi = 2,8$ - задвижка нормальная $\xi = 0,5$							
21	0,0082	53	82	1,554	0,0307	435,88	23,102	8,1	9,4186	32,52	3,4402	3,4402
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на на ответвл при разветвл потока $\xi = 1,5$ - П-образный компенсатор, 1шт $\xi = 2,8$ - задвижка нормальная $\xi = 0,5$							
22	0,02	70	125	1,631	0,0277	283,49	19,845	5,3	6,7893	26,634	2,8175	2,8175
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на на ответвл при разветвл потока $\xi = 1,5$ - П-образный компенсатор, 1шт $\xi = 2,8$ - задвижка нормальная $\xi = 0,5$							
23	0,0112	52	100	1,427	0,0293	286,88	14,918	5,3	5,198	20,116	2,128	2,128
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на на ответвл при разветвл потока $\xi = 1,5$ - П-образный компенсатор, 1шт $\xi = 2,8$ - задвижка нормальная $\xi = 0,5$							
24	0,01	45	100	1,274	0,0293	228,7	10,291	5,3	4,1438	14,435	1,5271	1,5271
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на на ответвл при разветвл потока $\xi = 1,5$ - П-образный компенсатор, 1шт $\xi = 2,8$ - задвижка нормальная $\xi = 0,5$							
25	0,0162	100	150	0,917	0,0264	71,419	7,1419	8,1	3,283	10,425	1,1028	1,1028
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на на ответвл при разветвл потока $\xi = 1,5$ - П-образный компенсатор, 2шт $\xi = 2,8$ - задвижка нормальная $\xi = 0,5$							

Второстепенная магистраль												
11	0,1004	94	309	1,34	0,0221	61,723	5,802	2,3	1,9883	7,7903	0,8241	0,8241
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение)				ξ = 0,5			
				- тройник на проход при разветвлении потока				ξ = 1				
				- задвижка нормальная				ξ = 0,5				
				- сальниковый компенсатор, 1шт				ξ = 0,3				
12	0,0901	130	309	1,202	0,0221	49,708	6,4621	1,6	1,1139	7,576	0,8015	1,6256
	Характеристика местных сопротивлений участка				- тройник на проход при разветвлении потока				ξ = 1			
				- сальниковый компенсатор, 2шт				ξ = 0,3				
13	0,0763	115	309	1,018	0,0221	35,648	4,0995	1,6	0,7988	4,8983	0,5182	2,1437
	Характеристика местных сопротивлений участка				- тройник на проход при разветвлении потока				ξ = 1			
				- сальниковый компенсатор, 2шт				ξ = 0,3				
14	0,0675	195	259	1,282	0,0231	70,477	13,743	2,8	2,2166	15,96	1,6883	3,8321
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение)				ξ = 0,5			
					- УП3				ξ = 0,5			
					- УП4				ξ = 0,5			
					- тройник на проход при разветвлении потока				ξ = 1			
				- сальниковый компенсатор, 1шт				ξ = 0,3				
15	0,0507	214	259	0,963	0,0231	39,761	8,5088	2,1	0,9379	9,4467	0,9993	4,8314
	Характеристика местных сопротивлений участка				- УП5				ξ = 0,5			
					- тройник на проход при разветвлении потока				ξ = 1			
				- сальниковый компенсатор, 2шт				ξ = 0,3				
16	0,0326	190	207	0,969	0,0244	53,316	10,13	2,1	0,9504	11,08	1,1722	6,0036
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение)				ξ = 0,5			
					- тройник на проход при разветвлении потока				ξ = 1			
				- сальниковый компенсатор, 2шт				ξ = 0,3				
17	0,0213	61	184	0,801	0,0251	42,24	2,5767	2,3	0,7118	3,2884	0,3479	6,3515
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение)				ξ = 0,5			
					- тройник на проход при разветвлении потока				ξ = 1			
					- УП6				ξ = 0,5			
				- сальниковый компенсатор, 1шт				ξ = 0,3				

Примечание: после проведения гидравлического расчета произведена увязка потерь давления между отдельными ответвлениями и соответствующим участком основной магистрали. Невязка должна составлять не более 10%.

Пример расчета:

Невязка ответвления 14 с участком магистрали 7:

$$\frac{\Delta H_{25}^o - \Delta H_{10}^M}{\Delta H_{25}^o} \cdot 100\% = \frac{1,103 - 1,069}{1,103} \cdot 100\% = 3,06\%.$$

Остальной расчет невязок проводится аналогично. Данные по расчету занесены в таблицу 7

Таблица 8 - Увязка ответвлений с соответствующими участками магистрали

№ ответвл	№ магистр	Потери давл в ответвлен	Потери давл в магистр	Невязка
25	10	1,1028	1,069	3,06%
24	10-9	1,5271	1,433	6,19%
23	10-8	2,128	1,944	8,65%
22	10-7	2,8175	2,691	4,48%
21	10-6	3,4402	3,759	8,48%
20	10-5	3,7575	3,917	4,07%
19	10-4	4,0088	4,176	4,00%
18	10-3	4,9827	4,958	0,49%

5.3 Анализ гидравлического режима и построение пьезометрического графика

С помощью пьезометрический графика определяются: напоры в подающем и обратном трубопроводах, располагаемый напор в любой точке тепловой сети; выбираются схемы присоединения абонентов к тепловым сетям (с учетом рельефа местности, располагаемого напора и высоты зданий); подобрать оборудование для ТЭЦ и абонентов.

Пьезометрические графики построены для статического и динамического режимов системы теплоснабжения. За начало координат в магистральных сетях принято местоположение ТЭЦ. Линия статического напора, величина которого выше самого высокого абонента теплопотребления на 5 метров, что обеспечивает защиту от кавитации и подсоса воздуха в насосах.

Величина максимального рабочего напора местных систем теплопотребления составляет 60 метров для систем отопления с чугунными радиаторами (из условия прочности отопительных приборов). Требуемый напор у всасывающих патрубков сетевых насосов (20 – 25 метров), принятый предварительным.

Затем, используя результаты гидравлического расчета, строится линия потерь напора обратной магистрали. Напор воды в обратных трубопроводах водяных тепловых сетей при гидродинамическом режиме должен быть избыточным, то есть быть выше местных систем теплопотребления не менее чем на 5 метров, обеспечивая их защиту от «оголения». Линия потерь напора подающего трубопровода, а также линия потерь напора в коммуникациях ТЭЦ. При отсутствии данных, потери напора в коммуникациях ТЭЦ приняты равными 20 м. Напор во всех точках подающего трубопровода, исходя из условия его механической прочности, не должен превышать 160 м.

5.4 Построение гидравлической характеристики сети и подбор насосного оборудования

В проекте запроектирована открытая система теплоснабжения работающей при повышенном графике регулирования с суммарным тепловым потоком.

Исходные данные для подбора насосов:

$$Q = 39,36 \text{ МВт}$$

$G = 795,03 \text{ т/ч}$ - расчетный расход теплоносителя;

$H_{\text{сн}} = 110,884 \text{ м}$ - требуемый напор сетевого насоса;

$H_{\text{ст}} = 52,1 \text{ м}$ - статический напор на источнике теплоты равен;

Подбираем два рабочих и один резервный консольные нормальновсасывающие насосы Wilo-ASP 350E-315/4 (по параллельной схеме). Гидравлическая характеристика сетевых насосов приведена на рисунке 6.

Требуемый напор подпиточного насоса $H_{\text{пн}}$ равен:

$$H_{\text{пн}} = 55 \text{ м.}$$

Подача подпиточного насоса $G_{\text{пн}}$ в открытой системе теплоснабжения должна компенсировать утечку теплоносителя $G_{\text{ут}}$. Согласно [1], величина утечки принимается в размере 0,75% от объема системы теплоснабжения $V_{\text{сист}}$. При удельном объеме системы $70 \text{ м}^3/\text{МВт}$ и суммарном тепловом потоке $Q = 39,36 \text{ МВт}$ объем системы $V_{\text{сист}}$ равен:

$$V_{\text{сист}} = 70 \cdot Q = 70 \cdot 39,4 = 2758 \text{ м}^3 \quad (33)$$

Величина утечки $G_{\text{ут}}$ составит:

$$G_{\text{ут}} = 0,0075 \cdot V_{\text{сист}} = 0,0075 \cdot 2758 = 20,7 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Подбираем два рабочих и один резервный консольные насосы Wilo ASP Norm-насос с двухсторонним входом
Wilo-ASP 350E-400/4-400V

Число оборотов: 1480 1/мин;

Частота: 50 Hz;

Рабочая точка: $Q=770 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H=111 \text{ м}$;

Всас. патрубок: DN 400 / PN 16;

Напорный патрубок: DN 350/ PN 25;

$$\Delta H_p = 44 \text{ м}$$

$$S = 44 / 770 = 0,057$$

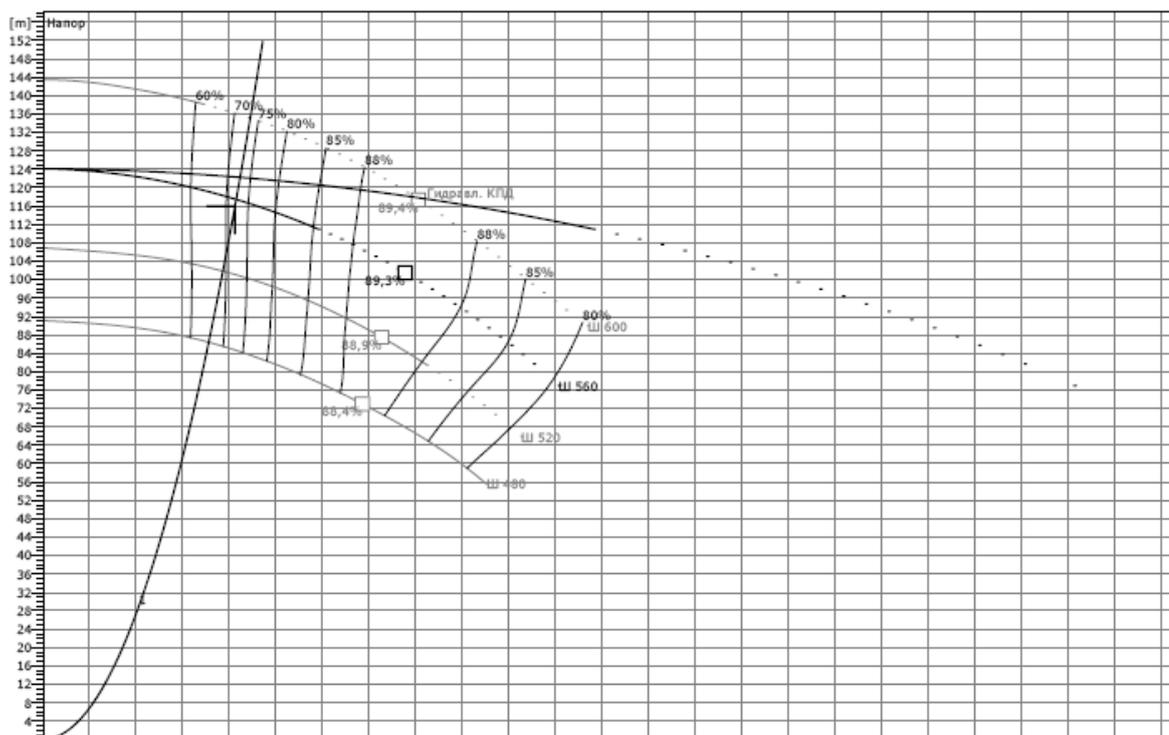


Рисунок 6 – Гидравлическая характеристика сетевых насосов

Дополнительное задание №2

Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{л}} = Q_{\text{ГВС}} \cdot \frac{55 - t_c^{\text{с}}}{55 - t_c} \cdot \beta,$$

где $t_c^{\text{с}}$ - температура холодной воды в летний период, °С, $t_c^{\text{с}}=15^{\circ}\text{C}$

t_c - температура холодной воды в отопительный период года, °С, $t_c^{\text{с}}=5^{\circ}\text{C}$

β - коэффициент, учитывающий снижение расхода горячей воды летом, $\beta=0,8$

Расход на ГВС определяется по формуле:

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{л}} = \frac{Q_{\text{ГВС}} \cdot 3600}{c(\tau_{\text{Г}} - \tau_{\text{Х}})}$$

$\rho = 985,025$ – средняя плотность теплоносителя при параметрах в неотапливаемый период, $\text{кг}/\text{м}^3$, посчитанная в данном случае:

$$\rho = \frac{\rho_{(70)} + \rho_{(40)}}{2} = \frac{977,81 + 992,24}{2} = 985,025 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Пример расчета квартала №1:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{л}} = 0,51 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 0,8 = 0,327 \text{ МВт}$$

$$G_{\text{ГВС}}^{\text{л}} = \frac{0,327 \cdot 3600}{4,187 \cdot (55 - 15)} = 7,03 \text{ т/ч} = 0,00198 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расчеты для остальных кварталов сведены в таблицу 8

Таблица 9 – Расходы воды в летний период

№ кв.	$Q_{\text{ГВС}}^{\text{л}}$, МВт	$G_{\text{ГВС}}^{\text{л}}$, т/ч	$G_{\text{ГВС}}^{\text{л}}$, $\text{м}^3/\text{с}$
1	0,327	7,021	0,00198
2	0,279	5,986	0,00169
3	0,403	8,667	0,00244
4	0,439	9,438	0,00266
5	0,532	11,431	0,00322
6	0,576	12,383	0,00349
7	0,446	9,595	0,00271
8	0,262	5,624	0,00159
9	0,552	11,872	0,00335
10	0,676	14,530	0,00410
11	0,358	7,700	0,00217
12	0,356	7,659	0,00216
13	0,512	11,005	0,00310
14	0,636	13,673	0,00386
15	0,316	6,803	0,00192
16	0,604	12,979	0,00366
сум	7,274	156,366	0,04410

Гидравлический расчет проводится аналогично п. 5.2 и сводится в таблицу 9

Таблица 10 - Гидравлический расчет тепловой сети для летнего периода

Основная магистраль												
1	0,0441	61	408	0,337	0,0206	2,829	0,1726	2,8	0,157	0,3296	0,0341	0,0341
	Характеристика местных сопротивлений участка				- задвижка нормальная $\xi = 0,5$ - тройник на ответ при разветвлении потока $\xi = 1,5$ - УП9 $\xi = 0,5$ - сальниковый компенсатор $\xi = 0,3$							
2	0,0248	172	359	0,245	0,0213	1,7491	0,3008	3,4	0,1005	0,4013	0,0415	0,0756
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на проход при разветвл потока $\xi = 1$ - УП7, УП8 $\xi = 0,5$ - сальниковый компенсатор, 3шт $\xi = 0,3$							
3	0,0223	170	359	0,221	0,0213	1,4211	0,2416	1,6	0,0384	0,28	0,029	0,1046
	Характеристика местных сопротивлений участка				- тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$ - сальниковый компенсатор, 2шт $\xi = 0,3$							
4	0,019	20	309	0,253	0,0221	2,2571	0,0451	1,5	0,0474	0,0926	0,0096	0,1142
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$							
5	0,0163	20	309	0,217	0,0221	1,6597	0,0332	1	0,0232	0,0564	0,0058	0,12
	Характеристика местных сопротивлений участка				- тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$							
6	0,0147	253	309	0,196	0,0221	1,3522	0,3421	2,1	0,0398	0,3819	0,0395	0,1596
	Характеристика местных сопротивлений участка				- УП1 $\xi = 0,5$ - тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$ - сальниковый компенсатор, 2шт $\xi = 0,3$							
7	0,0108	120	259	0,206	0,0231	1,8587	0,223	2,1	0,0438	0,2669	0,0276	0,1872
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$ - сальниковый компенсатор, 2шт $\xi = 0,3$							
8	0,0087	135	259	0,165	0,0231	1,1919	0,1609	1,6	0,0214	0,1823	0,0189	0,206
	Характеристика местных сопротивлений участка				- тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$ - сальниковый компенсатор, 2шт $\xi = 0,3$							
9	0,0068	40	207	0,201	0,0244	2,3459	0,0938	1,8	0,0358	0,1297	0,0134	0,2195
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$ - сальниковый компенсатор, 1шт $\xi = 0,3$							
10	0,0037	245	184	0,138	0,0251	1,2749	0,3123	7,6	0,071	0,3833	0,0397	0,2591
	Характеристика местных сопротивлений участка				- переход диаметра (внезапное сужение) $\xi = 0,5$ - тройник на проход при разветвлении потока $\xi = 1$ - УП2 $\xi = 0,5$ - П-образный компенсатор, 2шт $\xi = 2,8$							

6 Расчет оборудования тепловой сети

6.1 Описание конструкции и разработка монтажной схемы

В населённых пунктах и городах предусматривается, подземная прокладка теплопроводов, независимо от качества грунта, загруженности подземных коммуникаций и стеснённости проездов. При обосновании допускается надземная прокладка тепловых сетей. Канальные прокладки предназначены для защиты трубопроводов от механического воздействия грунтов и коррозионного влияния почвы. В курсовом проекте предусмотрена канальная прокладка тепловых сетей. Схема квартальных тепловых сетей. Общая протяженность основного магистрального трубопровода составила 1210 м. С целью повышения надежности работы теплосетей устроена секционирующая задвижка на середине главной магистрали (в УТ4).

Уклон тепловых сетей независимо от направления движения теплоносителя и способа прокладки должен быть не менее 0,002. Уклон тепловых сетей к отдельным зданиям при подземной прокладке должен приниматься от здания к ближайшей камере. На отдельных участках (при пересечении коммуникаций, прокладке по мостам и т.п.) допускается принимать прокладку тепловых сетей без уклона.

По территории района проходит хозяйственно-противопожарный водопровод с глубиной 2,8 м., и бытовая канализация с глубиной заложения 3 м. Заглубление тепловых сетей от поверхности земли или дорожного покрытия следует принимать до верха перекрытий каналов и тоннелей – не менее 0,5 м., до верха перекрытий камер не менее – 0,3 м. Уклон тепловых сетей независимо от направления движения теплоносителя и способа прокладки должен быть не менее 0.002 п. 9.5 [1]. Участки тепловой сети нумеруются, начиная от источника тепла (ТЭЦ 3). Количество узлов трубопроводов (тепловых камер) определяется числом участков, где меняется расход теплоносителя. Согласно СНИП, на выводах тепловых сетей от источников теплоты и на вводах в центральные тепловые пункты (ЦТП) предусматривается стальная запорная арматура.

В нижних точках трубопроводов водяных тепловых сетей и конденсатопроводов, а также секционируемых участков необходимо предусматривать штуцера с запорной арматурой для спуска воды (спускные устройства). Спускные устройства водяных тепловых сетей следует предусматривать исходя из обеспечения продолжительности спуска воды и заполнения секционирующего участка (одного трубопровода). В высших точках трубопроводов тепловых сетей, в том числе на каждом секционирующем участке, должны предусматриваться штуцера с запорной арматурой для выпуска воздуха (воздушники).

Для компенсации тепловых деформаций трубопроводов тепловых сетей радиальные компенсаторы (П-образные при $D_y < 200\text{мм}$); различные углы поворота, являющиеся участками естественной компенсации при угле от 90 до 120°) и осевые (сальниковые) (при $D_y > 200\text{мм}$).

Таблица 11 – Конструкции тепловой сети

№ уч.	Ду, мм	Наименование трубы	ГОСТ или ТУ трубы	Марка канала	Обозначение задвижки	Материал задвижки
1	400	Электросварные прямошовные термообработанные	ТУ 14-3-377-75	КЛ150-60	30с572нж	сталь
2	350	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ150-60	30с572нж	сталь
3	350	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ150-60	30с572нж	сталь
4	300	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ120-60	30с572нж	сталь
5	300	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ120-60	30с572нж	сталь
6	300	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ120-60	30с572нж	сталь
7	250	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ120 – 60	30с97нж (ЗЛ11025Сп1)	сталь
8	250	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ120 – 60	30с97нж (ЗЛ11025Сп1)	сталь
9	200	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ120 – 60	30с97нж (ЗЛ11025Сп1)	сталь
10	175	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ90-60	30с76нж	сталь
18	100	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ90-45	30с76нж	сталь
19	125	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ60-60	30с76нж	сталь
20	100	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ90-45	30с76нж	сталь
21	80	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ60-45	30с76нж	сталь
22	125	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ60-60	30с76нж	сталь
23	100	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ90-45	30с76нж	сталь
24	100	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ90-45	30с76нж	сталь
25	150	Бесшовные горячедеформированные	ТУ 14-3-190-80	КЛ90-45	30с76нж	сталь

6.2 Определение диаметров спускных и выпускных устройств

В нижних точках трубопроводов водяных тепловых сетей, а также секционируемых участков предусматриваются штуцера с запорной арматурой для спуска воды (спускные устройства).

Спускные устройства водяных тепловых сетей предусматриваются, исходя из обеспечения продолжительности спуска воды и заполнения секционированного участка (одного трубопровода):

для трубопроводов $D_y \leq 300$ мм - не более 2 ч;

$D_y = 350-500$ - 4 ч;

Таблица 12 – Значения коэффициента n

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

Расчетный диаметр штуцера округляют с увеличением до стандартного и сравнивают с приведенными в таблице 10.

Таблица 13 – Условный проход штуцера и запорной арматуры для выпуска воздуха.

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

Диаметр штуцера и запорной арматуры d , м, для спуска воздуха из секционируемого участка трубопровода водяных тепловых сетей, имеющего уклон в одном направлении, следует определять по формуле

$$d = d_{\text{ред}} \cdot m \cdot n \cdot \sqrt[4]{\frac{\sum l}{i_{\text{ред}}}}, \quad (34)$$

где $d_{\text{ред}}$, $\sum l$, $i_{\text{ред}}$ - соответственно приведенный диаметр, м, общая длина, м, и приведенный уклон секционируемого участка трубопровода:

$$d_{\text{ред}} = \frac{d_1 l_1 + d_2 l_2 + \dots + d_n l_n}{\sum l} \quad (35)$$

$$i_{\text{ред}} = \frac{i_1 l_1 + i_2 l_2 + \dots + i_n l_n}{\sum l} \quad (36)$$

где l_1, l_2, \dots, l_n - длины отдельных участков трубопровода, м, с диаметрами d_1, d_2, \dots, d_n , м, при уклонах i_1, i_2, \dots, i_n ;

m — коэффициент расхода арматуры, принимаемый для вентилей $m = 0,0144$, для задвижек $m = 0,011$;

n — коэффициент, зависящий от времени спуска воды (Таблица 12)

Определим приведенный диаметр $d_{\text{ред}}$ по формуле (35) для левой стороны (УТУТ2):

$$d_{\text{red}} = \frac{0,408 \cdot 61}{61} = 0,408 \text{ м}$$

$$i_{\text{red}} = \frac{0,0033 \cdot 61}{61} = 0,0033$$

Приняв коэффициент расхода для задвижки $m = 0,011$, коэффициент $n = 0,5$ при времени опорожнения не более 4 часов, так как $D_y > 300$ на всех участках, по формуле (34) определим диаметр спускного устройства для левой стороны d_1 :

$$d = 0,408 \cdot 0,011 \cdot 0,5 \cdot \sqrt[4]{\frac{61}{0,0033}} = 0,026 \text{ м}$$

Выполним аналогичные расчеты и для правой стороны (УТ2-УТ3). Приведенный диаметр d_{red} составит:

$$d_{\text{red}} = \frac{0,359 \cdot 342}{342} = 0,359 \text{ м}$$

$$i_{\text{red}} = \frac{0,0052 \cdot 172 + 0,077 \cdot 170}{342} = 0,0064$$

Приняв коэффициент расхода для задвижки $m = 0,011$, коэффициент $n = 0,5$ при времени опорожнения не более 4 часов, так как $D_y > 300$, по формуле (33) определим диаметр спускного устройства для правой стороны d_2 :

$$d = 0,359 \cdot 0,011 \cdot 0,5 \cdot \sqrt[4]{\frac{342}{0,0064}} = 0,03 \text{ м}$$

Определим диаметр штуцера и запорной арматуры d для обеих сторон:

$$d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2} = \sqrt{0,026^2 + 0,03^2} = 0,04 \text{ м}$$

К установке принимаем штуцер диаметром $d_y = 100$ мм.

Условный проход для спуска воды определяется аналогичным образом и подбирается по таблице 11.

Таблица 14 - Условный проход штуцера и запорной арматуры для спуска воды.

D_y , мм	65 вкл.	80-125	до 150	200-250	300-400	500	600-700
Условный проход штуцера, мм	25	40	50	80	100	150	200

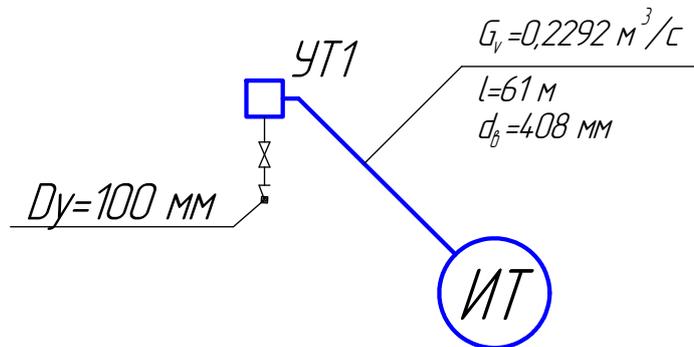


Рисунок 7 – Расчетная схема спускных и выпускных устройств

6.3 Теплотехнический расчет теплотрассы

В конструкциях теплоизоляции оборудования и трубопроводов с температурой содержащихся в них веществ в диапазоне от 20°C до 300°C для канальной прокладки следует применять теплоизоляционные материалы и изделия с плотностью не более 200 кг/м³ и коэффициентом теплопроводности в сухом состоянии не более 0,06 Вт/(м·К).

Пример:

Максимальный диаметр на участке 1 $d_H = 426$ мм.

Материал теплоизоляции: К-флекс ЕСО $\lambda_{к.1,2} = 0,036$ Вт/(м·°C);

Тип канала принят КЛ 150 – 60

- внутренние размеры 1500 x 600;

- наружные размеры 1800 x 850;

Глубина заложения канала $h = 1,125$ м;

Определяем эквивалентные диаметры каналов по формуле :

$$d_{вэ} = \frac{4 \cdot F}{P} \quad (37)$$

$$d_{вэ} = \frac{4 \cdot (1,5 \cdot 0,6)}{2 \cdot (1,5 + 0,6)} = 0,857 \text{ м};$$

$$d_{нэ} = \frac{4 \cdot (1,8 \cdot 0,85)}{2 \cdot (1,8 + 0,85)} = 1,15 \text{ м}.$$

где F - внутреннее сечение канала, м²; P - периметр сторон по внутренним размерам, м

Определим термическое сопротивление внутренней поверхности канала:

$$R_{пк} = \frac{1}{\alpha_e \cdot \pi \cdot d_{вэ}}, \quad (38)$$

где $d_{вэ}$ - внутренний эквивалентный диаметр канала, м

α_e - коэффициент теплоотдачи с поверхности тепловой изоляции в окружающий воздух, $\alpha_e = 8$ Вт/(м² ·°C)

$$R_{пк} = \frac{1}{8 \cdot 3,14 \cdot 0,857} = 0,046$$

Найдём термическое сопротивление стенки канала определяемое по формуле:

$$R_k = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{ct}} \cdot \ln \frac{d_{нз}}{d_{вз}}, \quad (39)$$

где λ_{ct} - теплопроводность стенки канала, для железобетона $\lambda_{ct} = 2,04$ Вт/(м·°С); $d_{нз}$ - наружный эквивалентный диаметр канала, определяемый по наружным размерам канала, м;

$$R_k = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,04} \cdot \ln \frac{1,15}{0,857} = 0,023 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт};$$

Найдём термическое сопротивление грунта, определяемое по формуле:

$$R_{гр} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{гр}} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot h}{d_{нз}} + \sqrt{\frac{4 \cdot h^2}{d_{нз}^2} - 1} \right), \quad (40)$$

где $\lambda_{гр}$ - теплопроводность грунта, зависящая от его структуры и влажности, принимаем для сухих грунтов $\lambda_{гр} = 1,5$ Вт/(м·°С); h - глубина заложения оси теплопровода от поверхности земли, м, принимаем равной 1,125 м

$$R_{гр} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 1,125}{1,15} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1,125^2}{1,15^2} - 1} \right) = 0,137 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}.$$

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

$$t_{m.n} = \frac{\tau_1 + 40}{2} = \frac{90 + 40}{2} = 65 \text{ °С};$$

$$t_{m.o} = \frac{\tau_2 + 40}{2} = \frac{50 + 40}{2} = 45 \text{ °С};$$

Найдём термическое сопротивление поверхности изоляционного слоя, (м²·°С)/Вт, по формуле:

$$R_{nc} = \frac{1}{\alpha_e \cdot \pi \cdot (d_n + 2 \cdot \delta_u)} \quad (41)$$

где d - наружный диаметр трубопровода, м

Принимаем предварительную толщину тепловой изоляции $\delta_{из} = 0,055$ м.,

$$R_{пов.из} = \frac{1}{8 \cdot 3,14 \cdot (0,426 + 2 \cdot 0,055)} = 0,0743 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$$

Примем по таблице 8 [12] нормируемые линейные плотности тепловых потоков для подающего $q_{11}=70$ Вт/м и обратного $q_{12}=28$ Вт/м трубопроводов. Определим суммарные термические сопротивления для подающего $R_{tot,1}$ и $R_{tot,2}$ трубопроводов:

$$R_{tot,1} = \frac{(\tau_1 - t_e)}{q_{11} \cdot k_1} \quad (42)$$

$$R_{tot,2} = \frac{(\tau_2 - t_o)}{q_{12} \cdot k_1} \quad (43)$$

где q_e – нормированная линейная плотность теплового потока, Вт/м, принимаемая по приложению 8 [12]

$\tau_{1,2}$ – средняя за период эксплуатации температура теплоносителя, принимаем равной 90 °С для подающего теплопровода и 50 °С для обратного, соответственно;

k_1 – коэффициент, учитывающий изменение стоимости теплоты в зависимости от района строительства и способа прокладки трубопровода, принимаем равным $0,92$;

t_e – среднегодовая температура окружающей среды, принимаем равной $+3$ °С.

$$R_{tot,1} = \frac{(90 - 3)}{70 \cdot 0,92} = 1,35 \text{ м},$$

$$R_{tot,2} = \frac{(50 - 3)}{28 \cdot 0,92} = 1,825 \text{ м};$$

Определим коэффициенты, учитывающие взаимное влияние температурных полей соседних теплопроводов, определяемые по формулам:

$$\Psi_1 = \frac{q_{e2}}{q_{e1}}, \quad (44)$$

$$\Psi_2 = \frac{q_{e1}}{q_{e2}}, \quad (45)$$

где q_{e1}, q_{e2} – нормированные линейные плотности тепловых потоков соответственно для подающего и обратного трубопроводов, Вт/м

$$\Psi_1 = \frac{28}{70} = 0,4$$

$$\Psi_2 = \frac{70}{28} = 2,5$$

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

$$R_{кп} = R_{tot,1} - R_{пс} - (1 + \varphi_1) \cdot (R_{пк} + R_{к} + R_{гр}) \quad (46)$$

$$R_{кп} = 0,988 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт}$$

$$R_{\text{ко}} = R_{\text{tot},2} - R_{\text{пс}} - (1 + \varphi_1) \cdot (R_{\text{пк}} + R_{\text{к}} + R_{\text{гр}}) \quad (47)$$

$$R_{\text{ко}} = 1,03 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$

Найдём коэффициент B , определяющий толщину тепловой изоляции по формуле:

$$B = e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{\text{к}} \cdot R_{\text{к}}}, \quad (48)$$

где e - основание натурального логарифма; $\lambda_{\text{к}}$ - коэффициент теплопроводности теплоизоляционного слоя, Вт/(м · °C); $R_{\text{к}}$ - термическое сопротивление слоя изоляции, м · °C/Вт

$$B_1 = e^{2 \cdot 3,14 \cdot 0,036 \cdot 0,23} = 1,25;$$

$$B_2 = e^{2 \cdot 3,14 \cdot 0,036 \cdot 0,46} = 1,26.$$

Найдём толщину тепловой изоляции трубопроводов $\delta_{\text{к}}$ по нормированной плотности теплового потока по формуле:

$$\delta_{\text{к}} = \frac{d \cdot (B - 1)}{2}, \quad (49)$$

где d - наружный диаметр трубопровода, м

$$\delta_{\text{из1}} = \frac{0,426 \cdot (1,25 - 1)}{2} = 0,053 \text{ м};$$

$$\delta_{\text{из2}} = \frac{0,426 \cdot (1,26 - 1)}{2} = 0,055 \text{ м}.$$

Принимаем толщину основного слоя изоляции одинаковой для подающего и обратного трубопроводов и равной 55 мм.

Проверка:

Фактическое термическое сопротивление изоляции без поверхностного слоя:

$$R_{\text{пов.из}} = \frac{1}{8 \cdot 3,14 \cdot (0,426 + 2 \cdot 0,055)} = 0,07427 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}.$$

Фактическое термическое сопротивление толщины изоляции :

$$R_{\text{из.1,2}}^{\text{ф}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,036} \cdot \ln\left(\frac{0,426 + 2 \cdot 0,055}{0,426}\right) = 1,016 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт};$$

$$R_{\text{tot},1}^{\text{ф}} = 1,001 + (0,05039 + (1 + 0,376) \cdot (0,02607 + 0,01358 + 0,0808)) = 1,38 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт};$$

$$R_{\text{tot},2}^{\text{ф}} = 1,001 + (0,05039 + (1 + 2,657) \cdot (0,02607 + 0,01358 + 0,0808)) = 1,81 (\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт};$$

Потери, приходящиеся на 1 м длины для данного участка:

$$q_1^{\text{ф}} = \frac{90 - 3}{1,38 \cdot 0,92} = 68,6 \text{ Вт/м}$$

$$q_2^{\text{ф}} = \frac{50 - 3}{1,81 \cdot 0,92} = 28,2 \text{ Вт/м}$$

$$q_{\phi} = q_1^{\phi} + q_2^{\phi} = 68,6 + 28,2 = 96,8 \text{ Вт/м.}$$

Так как $q_{\phi} < q_e$ ($96,8 < 98$), то принимаем данную тепловую изоляцию.
На рисунке 8 изображена расчетная схема теплопроводов в теплоизоляции:

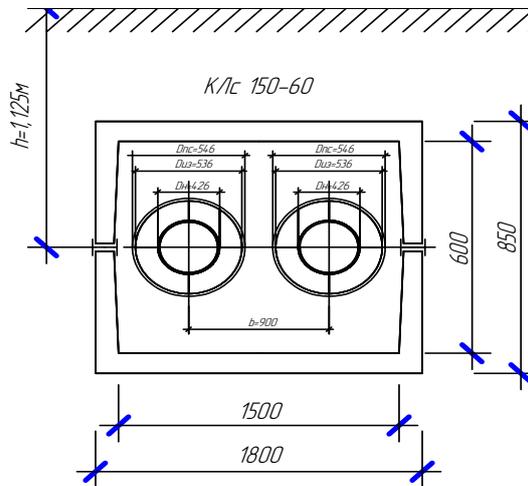


Рисунок 8 – Расчетная схема теплопроводов в теплоизоляции

Аналогично проводится расчет для минимального диаметра трубопровода

Максимальный диаметр на участке $10 d_H = 194 \text{ мм.}$

Материал теплоизоляции: К-флекс ЕСО, $\lambda_{к,1,2} = 0,036 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$;

Тип канала принят КЛ 90 – 60

- внутренние размеры 900 x 600;

- наружные размеры 1150 x 780;

Глубина заложения канала $h = 1,356 \text{ м;}$

Определяем эквивалентные диаметры каналов по формуле (37):

$$d_{вз} = \frac{4 \cdot (0,9 \cdot 0,6)}{2 \cdot (0,9 + 0,6)} = 0,72 \text{ м;}$$

$$d_{нз} = \frac{4 \cdot (1,15 \cdot 0,78)}{2 \cdot (1,15 + 0,78)} = 0,93 \text{ м.}$$

Определим термическое сопротивление внутренней поверхности канала по формуле (38):

$$R_{пк} = \frac{1}{8 \cdot 3,14 \cdot 0,72} = 0,055$$

Найдём термическое сопротивление стенки канала определяемое по формуле (39):

$$R_k = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,04} \cdot \ln \frac{0,93}{0,72} = 0,02 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт;}$$

Найдём термическое сопротивление грунта определяемое по формуле (40):

$$R_{гр} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 1,356}{0,964} + \sqrt{\frac{4 \cdot 1,356^2}{0,964^2} - 1} \right) = 0,184 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Определим средние температуры теплоизоляционных слоев подающего $t_{тп}$ и обратного $t_{то}$ трубопроводов:

$$t_{m.n} = \frac{\tau_1 + 40}{2} = \frac{90 + 40}{2} = 65 \text{ °C};$$

$$t_{m.o} = \frac{\tau_2 + 40}{2} = \frac{50 + 40}{2} = 45 \text{ °C};$$

Найдём термическое сопротивление поверхности изоляционного слоя, по формуле (41):

Примечание:

Принимаем предварительную толщину тепловой изоляции $\delta_{из} = 0,05 \text{ м.}$,

$$R_{пов.из} = \frac{1}{8 \cdot 3,14 \cdot (0,194 + 2 \cdot 0,05)} = 0,135 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

Примем по таблице 8 [12] нормируемые линейные плотности тепловых потоков для подающего $q_{11}=49 \text{ Вт/м}$ и обратного $q_{12}=19 \text{ Вт/м}$ трубопроводов.

Определим суммарные термические сопротивления для подающего $R_{tot,1}$ и $R_{tot,2}$ трубопроводов по формулам (41) и (42):

$$R_{tot,1} = \frac{(90 - 3)}{49 \cdot 0,92} = 1,93 \text{ м,}$$

$$R_{tot,2} = \frac{(50 - 3)}{19 \cdot 0,92} = 2,69 \text{ м ;}$$

Определим коэффициенты, учитывающие взаимное влияние температурных полей соседних теплопроводов, определяемые по формулам (42) и (43):

$$\Psi_1 = \frac{19}{49} = 0,388$$

$$\Psi_2 = \frac{49}{19} = 2,579$$

Определим требуемые термические сопротивления слоёв для подающего $R_{кп}$ и обратного $R_{ко}$ трубопроводов, $\text{м} \cdot \text{°C/Вт}$ по формулам (44) и (45):

$$R_{кп} = 1,93 - 0,135 - (1 + 0,388) \cdot (0,0553 + 0,0199 + 0,184) = 1,435 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}$$

$$R_{ко} = 2,69 - 0,135 - (1 + 2,579) \cdot (0,0553 + 0,0199 + 0,184) = 1,626 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$

Найдём коэффициент B , определяющий толщину тепловой изоляции по формуле (46):

$$B_1 = e^{2 \cdot 3,14 \cdot 0,036 \cdot 1,435} = 1,38;$$

$$B_2 = e^{2 \cdot 3,14 \cdot 0,036 \cdot 1,63} = 1,44.$$

Найдём толщину тепловой изоляции трубопроводов δ_k по нормированной плотности теплового потока по формуле (48):

$$\delta_{из1} = \frac{0,194 \cdot (1,38 - 1)}{2} = 0,0369 \text{ м};$$

$$\delta_{из2} = \frac{0,194 \cdot (1,44 - 1)}{2} = 0,0427 \text{ м}.$$

Принимаем толщину основного слоя изоляции одинаковой для подающего и обратного трубопроводов и равной 50 мм.

Проверка:

Фактическое термическое сопротивление изоляции без поверхностного слоя:

$$R_{пов.из} = \frac{1}{8 \cdot 3,14 \cdot (0,194 + 2 \cdot 0,05)} = 0,135 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

Фактическое термическое сопротивление толщины изоляции :

$$R_{из.1,2}^{\phi} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,036} \cdot \ln\left(\frac{0,194 + 2 \cdot 0,05}{0,194}\right) = 1,839 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт};$$

$$R_{tot,1}^{\phi} = 1,839 + (0,135 + (1 + 0,388) \cdot (0,0553 + 0,0199 + 0,184)) = 2,33 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт};$$

$$R_{tot,2}^{\phi} = 1,839 + (0,135 + (1 + 2,579) \cdot (0,0553 + 0,0199 + 0,184)) = 2,9 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт};$$

Потери, приходящиеся на 1 м длины для данного участка:

$$q_1^{\phi} = \frac{90 - 3}{2,33 \cdot 0,92} = 40,5 \text{ Вт/м};$$

$$q_2^{\phi} = \frac{50 - 3}{2,9 \cdot 1} = 17,6 \text{ Вт/м}.$$

$$q_{\phi} = q_1^{\phi} + q_2^{\phi} = 40,5 + 17,6 = 58,1 \text{ Вт/м}.$$

Так как $q_{\phi} < q_e$ ($58,1 < 68$), то принимаем данную тепловую изоляцию. На рисунке 9 изображена расчетная схема теплопроводов в теплоизоляции

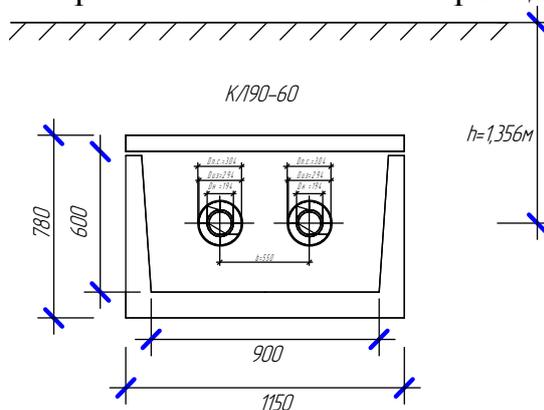


Рисунок 9 – Расчетная схема теплопроводов в теплоизоляции

Дополнительное задание №3:

Теплотехнический расчет для остальных участков сведен в таблицу 12

Таблица 12 –Теплотехнический расчет теплотрассы

$D_{нар}, м$	Марка канала	q_1^{Φ}	q_2^{Φ}	q_n	Толщина тепловой изоляции
0,426	КЛ150-60	68,6	28,2	96,8	0,55
0,377	КЛ150-60	60,7	26,5	87,2	0,06
0,325	КЛ150-60	54,1	23,8	77,9	0,06
0,273	КЛ120-60	47,8	21,3	69,1	0,06
0,219	КЛ120-60	46,0	20,6	66,7	0,05
0,194	КЛ90-60	40,5	17,6	58,1	0,05
0,159	КЛ90-45	31,6	14,6	46,2	0,06
0,133	КЛ90-45	35,9	15,9	51,8	0,04
0,108	КЛ90-45	31,2	14,5	45,7	0,04
0,089	КЛ60-45	27,2	12,8	40,0	0,04

Считая потери по длине постоянными, записываем уравнение теплового баланса:

$$Q \cdot l \cdot (1+\beta) = G_m \cdot c_m \cdot (\tau_n - \tau_k) \quad (50)$$

Выразив конечную температуру, получим функцию для построения графика падения температуры теплоносителя по длине трубы:

$$\tau_k = \tau_n - Q \cdot l \cdot (1+\beta) / (G_m \cdot c_m) \quad (51)$$

96,8	61	61	0,2292	220,8571	115	0
87,2	172	233	0,1288	124,1117	114,99234	61
87,2	170	403	0,1161	111,874	114,9577	233
77,9	20	423	0,0987	95,10732	114,91973	403
77,9	20	443	0,0846	81,52056	114,91503	423
77,9	253	696	0,0764	73,61904	114,90955	443
69,1	120	816	0,0564	54,34704	114,83283	696
69,1	135	951	0,0452	43,55472	114,7891	816
66,7	40	991	0,0352	33,91872	114,72772	951
58,1	245	1236	0,019	18,3084	114,70517	991
					114,48234	1236

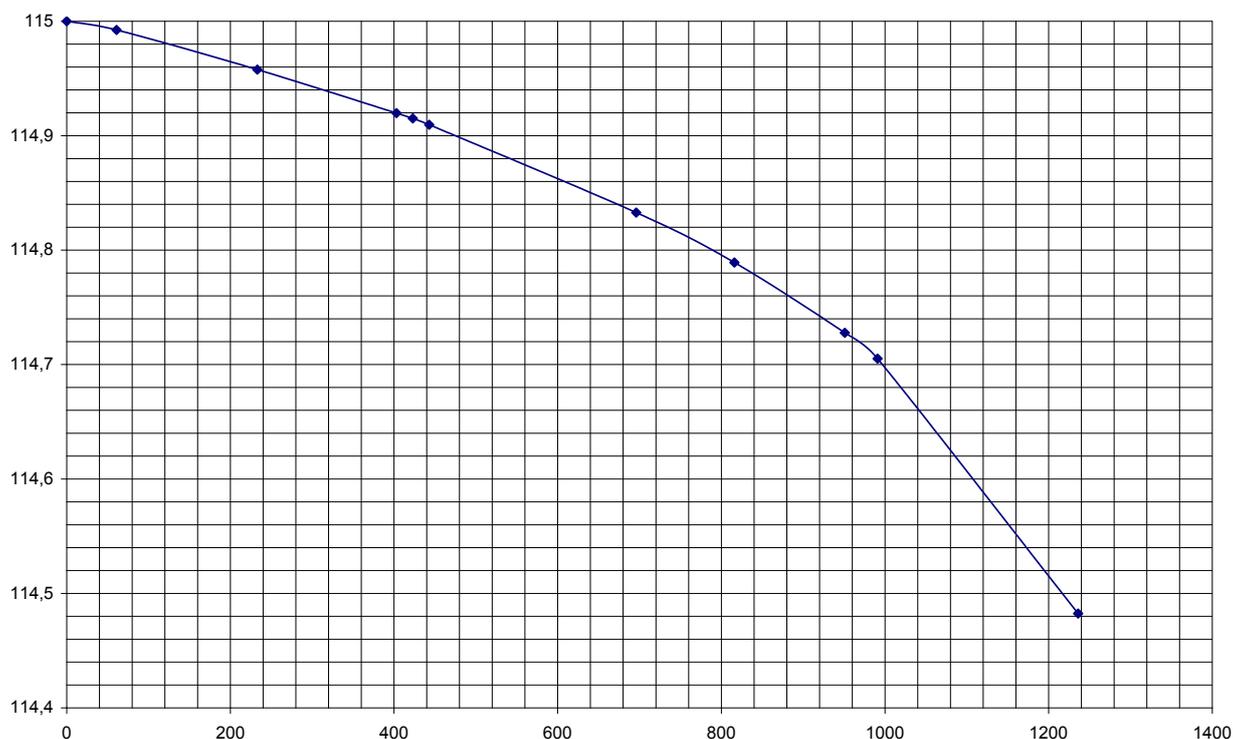


Рисунок 10 – Распределение температур

6.4 Расчет компенсаторов температурных удлинений

Расчет сводится к определению геометрических рамеров компенсатора и его реакции.

1. Определим размеры П-образного компенсатора и его реакцию для участка с длиной пролета между неподвижными опорами $L = 52$ м, и $D_y = 100$ мм. Расчетная температура теплоносителя $\tau_1 = 115$ °C. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления $t_{н.о} = -29$ °C. Учитываем предварительную растяжку компенсатора.

Принимаем коэффициент температурного удлинения $\alpha = 1,20 \cdot 10^{-5}$ мм/м·°C, определим расчетное удлинение участка трубопровода по формуле:

$$\Delta l = \alpha \cdot L \cdot (\tau_1 - t_0) \quad (49)$$

$$\Delta l = \alpha \cdot L \cdot (\tau_1 - t_0) = 1,20 \cdot 10^{-5} \cdot 52 \cdot 10^3 \cdot (115 + 29) = 89,9 \text{ мм.}$$

Расчетное удлинение Δl_p с учетом предварительной растяжки компенсатора составит

$$\Delta l_p = 0,5 \cdot \Delta l = 0,5 \cdot 89,9 = 44,95 \text{ мм}$$

Принимаем П-образный компенсатор имеющий компенсирующую способность $\Delta l_k = 100$ мм, вылет $H = 1,2$ м, спинку $c = 1,1$ м. Компенсатор изображен на рисунке 10.

Определим реакцию компенсатора P при значении $P_k = 1,16$ кН/см и $\Delta l_p = 4,495$ см:

$$P = P_k \cdot \Delta l_p = 1,16 \cdot 4,495 = 5,21 \text{ кН.}$$

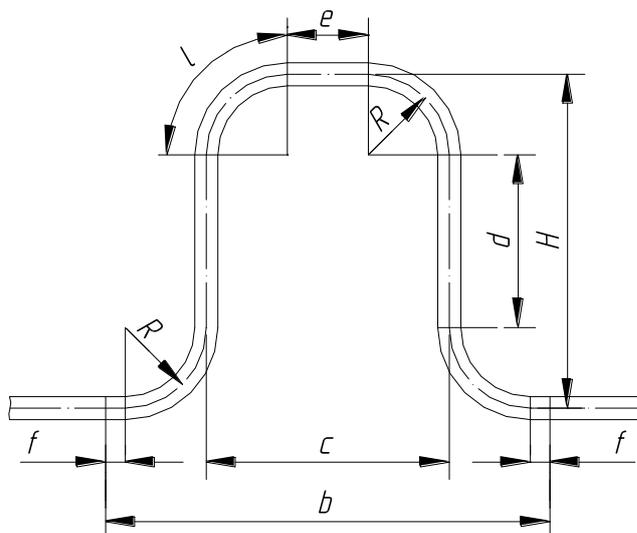


Рисунок 11– Схема П-образного компенсатора

2. Определим количество односторонних сальниковых компенсаторов для участка 1 тепловой сети с $D_n = 426$ мм, $D_{ст} = 408$ мм и длиной $L = 61$ м; рабочее давление $P_p = 1,12$ МПа; расчетная температура теплоносителя $\tau_1 = 115$ °С; расчетная температура наружного воздуха $t_{н.о} = -29$ °С.

Принимаем коэффициент температурного удлинения $\alpha = 1,20 \cdot 10^{-5}$ мм/м·°С, определим удлинение участка трубопровода Δl :

$$\Delta l = \alpha \cdot L \cdot (\tau_1 - t_0) = 1,20 \cdot 10^{-5} \cdot 61 \cdot 10^3 \cdot (115 + 29) = 105,4 \text{ мм.}$$

Определим компенсирующую способность одностороннего сальникового компенсатора $\Delta K = 300$ мм и длину сальниковой набивки $l_c = 120$ мм. Расчетная компенсирующая способность компенсатора составит:

$$\Delta P = \Delta K - 50 = 300 - 50 = 250 \text{ мм.}$$

Количество компенсаторов n на расчетном участке составит:

$$n = \Delta l / \Delta P = 105,4 / 250 = 0,42 \approx 1 \text{ шт.}$$

Определим реакцию компенсатора P_k , по формуле:

$$R_k = 2 \cdot P_p \cdot l_c \cdot d_{нс} \cdot \mu_c \cdot \pi, \quad (50)$$

где P_p - рабочее давление теплоносителя, МПа; l_c - длина слоя набивки по оси сальникового компенсатора, мм; d_{nc} - наружный диаметр патрубка сальникового компенсатора, м; μ_c - коэффициент трения набивки о металл, принимается равным 0,15.

$$P_k = 2 \cdot 1,12 \cdot 10^6 \cdot 0,12 \cdot 0,426 \cdot 0,15 \cdot 3,14 = 53,93 \text{ кН.}$$

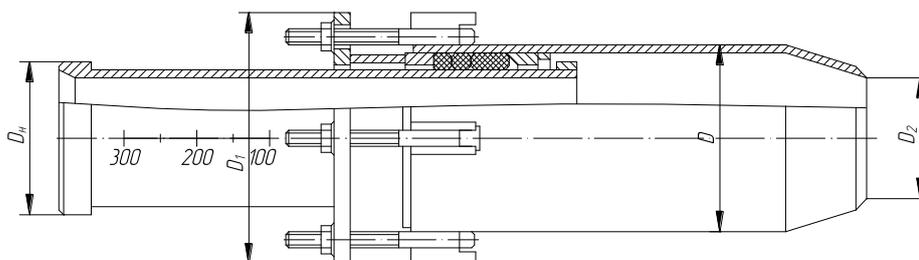


Рисунок 12– Односторонний сальниковый компенсатор

6.5 Расчет усилий на неподвижную опору

Горизонтальные усилия, действующие на неподвижную опору, находятся как сумма неуравновешенных сил внутреннего давления, горизонтальных реакций свободных опор и реакций компенсаторов.

Результирующее усилие:

$$N = a \cdot p \cdot F_e + \mu \cdot G_h \cdot \Delta l + \Delta S, \quad (53)$$

где, a – коэффициент, зависящий от направления действия осевых сил с обеих сторон опоры, $a = 0$, т.к. с обеих сторон неподвижной опоры расположены сальниковые компенсаторы, торцевые сечения участков трубопровода с обеих сторон неподвижной опоры открыты, на рассматриваемый участок не передается осевое усилие внутреннего давления;

p – внутреннее давление теплоносителя, Па;

F_e – площадь внутреннего сечения трубы, м²;

μ - коэффициент трения на свободных опорах, $\mu=0,3$;

G_h – вес погонного метра теплопровода, принимаем по прил. 25 [11];

Δl – расстояние от опоры до компенсаторов, м;

ΔS – разность сил трения осевых скользящих компенсаторов или сил упругости компенсаторов с обеих сторон неподвижной опоры, Н, $\Delta S=0$, т.к. диаметр участков не изменяется, а диаметр стакана и толщина сальниковой набивки одинаковы.

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

$$F_v = G_h \cdot L, \quad (52)$$

где G_h - вес одного метра трубопровода в рабочем состоянии включающий вес трубы, теплоизоляционной конструкции и воды, Н/м;
 L - пролет между подвижными опорами, м, (таблица 2.9 [10]).

Для расчета представлен участок № 7. Условный диаметр, $D_y=200$ мм. На участке устраиваем два сальниковых компенсатора.

Исходные данные:

$G_h=860$ Н/м;

$l_1=67,5$ м; $l_2=67,5$ м.

$$P_1=P_2 = 0,3 \cdot 860 \cdot 67,5 = 17415 \text{ Н.}$$

Для повышения запаса прочности силу P_2 принимаем с коэффициентом 0,3, тогда результирующая сила равна:

$$P = 17415 - 17415 \cdot 0,3 = 12190,5 \text{ Н.}$$

Расчетная схема представлена на рисунке 25.

Вертикальная нагрузка для скользящей опоры определена по формуле (52), $L=9$ м:

$$F_v = 860 \cdot 9 = 7740 \text{ Н,}$$

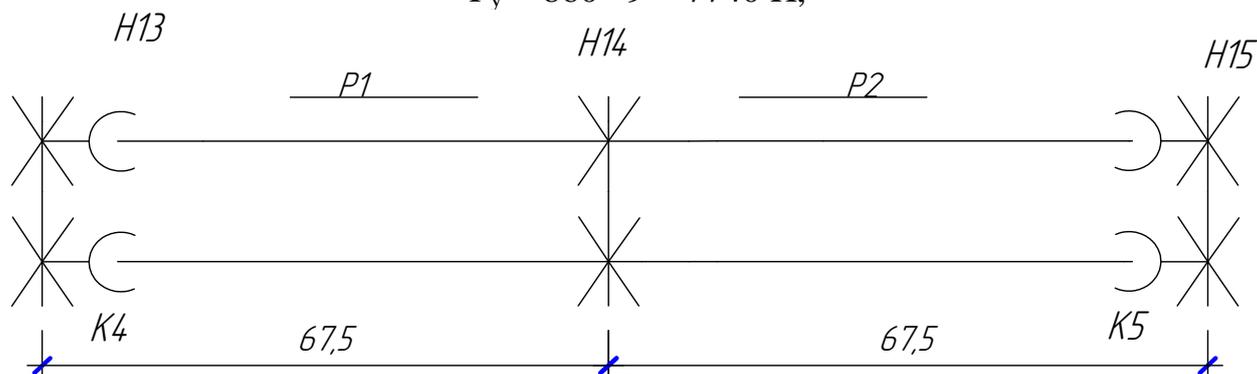


Рисунок 13 – Расчетная схема неподвижной опоры

Дополнительное задание №4:

Расчет расстояний между подвижными опорами

Расчет ведется на основе теории изгибающих моментов. Теплопровод рассматривается как многопролетная балка.

Исходные данные:

$D_y=250$ мм;

$q=843$ Н/м (прил.23 [11]);

$l=11,6$ м (прил.23 [11]);

$\sigma_{доп}=54$ МПа.

$$M_{и}=(q \cdot l^2)/12, \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (54)$$

где l – пролет между свободными опорами, м

$$\sigma_{и} = M_{и}/W \leq [\sigma_{доп}],$$

где W – экваториальный момент трубопровода, м³

$$W = \frac{0,1 \cdot (d_n^4 - d_e^4)}{d_n} \quad (55)$$

$$W = \frac{0,1 \cdot (0,273^4 - 0,259^4)}{0,273} = 0,000386$$

Найдем удельную нагрузку:

$$q = \sqrt{q_B^2 + q_G^2} \quad (56)$$

где q_B – вертикальная удельная нагрузка, при канальной или надземной прокладке, Н/м

q_G – горизонтальная удельная нагрузка, Н/м (не учитывается, т.к. канальная прокладка).

Найдем максимальное расстояние между подвижными опорами из условия прочности:

$$l \leq \sqrt{\frac{12 \cdot W \cdot [\sigma_{\text{доп}}]}{q}} \quad (57)$$

$$l \leq \sqrt{\frac{12 \cdot 0,000386 \cdot [54 \cdot 10^6]}{843}} = 17,23$$

Из эпюры видно, что изгибающий прогиб в середине пролета меньше, чем на эюре и на расстоянии 0,21 от опоры становится равным 0. В середине пролета имеем максимальный прогиб, следовательно, условие (58) должно проверяться допустимой стрелой прогиба $f_{\text{пр}}$.

$$f_{\text{пр}}^1 = 0,25 \cdot i \cdot l \quad \text{и} \quad f_{\text{пр}}^2 = (q \cdot l^4 / 384 \cdot E \cdot J) \quad (58)$$

где J – экваториальный момент инерции.

$$J = 0,05 \cdot (d_H^4 - d_B^4) = 0,05 \cdot (0,273^4 - 0,259^4) = 2,11 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4,$$

E – модуль упругости металла трубы, Па, $E = 20 \cdot 10^{10}$ Па

Приравняв $f_{\text{пр}}^1$ и $f_{\text{пр}}^2$ можем определить расстояние между подвижными опорами из условия допустимого прогиба:

$$l \leq \sqrt[3]{\frac{0,25 \cdot 384 \cdot 0,0022 \cdot 20 \cdot 10^{10} \cdot 0,45 \cdot 10^{-4}}{843}} = 6,1 \text{ м}$$

В результате расчет показал, что для трубопроводов больших диаметров определяющим является условие (57), следовательно, расстояние между подвижными опорами на данном участке принимается равным 50м.

Библиографический список

1. СНиП II-36-73. Тепловые сети. – М.: Стройиздат, 1974 г. – 56с.
2. В.М. Копко и др. Теплоснабжение (курсовое проектирование). – Мн.: Выш. шк., 1985 г. – 139 с., ил.
3. Теплоснабжение: Учеб. пособие для вузов / В.Е. Козин, Т.А. Левина, А.П. Марков и др. – М.: Высш. шк., 1980 г. – 408 с.
4. СНиП II-3 – 79*. Строительная теплотехника / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 1995. – 29 с.
5. Теплоснабжение: Учеб. пособие для вузов / А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов и др.; Под ред. А.А. Ионина. – М.: Высш. шк., 1982 г. – 336 с.
6. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей / В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж, А.И. Манюк, В.К. Ильин. – 2е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982 г. – 215 с.
7. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей/ Под ред. Николаева А.А. – М.: Стройиздат, 1965 г. – 359 с.
8. Теплоснабжение.: Учебное пособие к курсовому проекту /Ророкин В. М. –Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2001. -45 с.
9. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. Минстрой России – М.: ГУП ЦПП, 1997 – 79 с.
10. Тихомиров А. К. Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию: Теплоснабжение района города: - Хабаровск, 2006 г;
- 11 Теплофикация и тепловые сети.: Учебник для ВУЗов / Е. Я. Соколов. -6-е издание, перераб. –М.: Изд. МЭИ, 1999. -472 с.: ил.
- 12 СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. ГОССТРОЙ РОССИИ. Москва 2003, 22 с. (взамен СНиП 2.04.14-88)