

Аннотация

Февралёв А.А. Курсовая работа
– Челябинск: ЮУрГУ, АС,
2007, 27 с, ил.
Библиографический список – 3
наименования.

В курсовой работе представлены расчеты гидравлического режима различных тепловых сетей при различных режимах работы. В 1 задании это режимы при всех включенных абонентах, при отключенном первом, при снижении сопротивления первого абонента на 30%. Во 2 задании выполняется расчет количества теплоносителя, проходящего по магистралям кольцевой тепловой сети при известных расходах на абонентских вводах. В 3 задании схема тепловой сети аналогична заданию №1, однако 5 абонент заменен дополнительным источником теплоснабжения. В 4 задании выполняется расчет расходов магистралей кольцевой тепловой сети при неизвестных расходах теплоносителя на абонентских вводах. 5 задание дополнительное, производится расчёт усложненной кольцевой тепловой сети.

					2907.2007.187.21 КР			
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лит	Лист	Листов
Разраб.		Февралёв А.А.					2	
Провер.		Панферов В.И						
Н.контр.		В				ЮУрГУ Кафедра ТГСИВ		
Утв.								

Содержание

Введение.....	4
1. Расчёт закрытой системы теплоснабжения	5
2. Расчёт кольцевой системы теплоснабжения	14
3. Расчёт закрытой системы теплоснабжения с двумя источниками тепла.....	16
4. Расчёт кольцевой системы теплоснабжения при отсутствии регуляторов расхода у абонентов.....	19
5. Расчёт усложненной кольцевой системы теплоснабжения.....	24
Библиографический список	27

Введение

Водяные системы теплоснабжения представляют собой сложные гидравлические системы, в которых работа отдельных звеньев находится во взаимной связи. В современных крупных городах такие сети образуют многокольцевые системы. Расчет потокораспределения в подобных системах является сложной задачей, решаемой с помощью электронно-вычислительной техники или методом физического моделирования. Существуют два основных метода расчета гидравлического режима, основанных на уравнении Кирхгофа. Данная работа направлена на приобретение навыков расчета гидравлических режимов тепловых сетей различной конфигурации.

Задание № 1

Расчет гидравлического режима закрытой тепловой сети

Исходные данные:

Подающая и обратная магистрали					Абонентские вводы				
$S_I,$ $\text{м}^3\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$	$S_{II},$ $\text{м}^3\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$	$S_{III},$ $\text{м}^3\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$	$S_{IV},$ $\text{м}^3\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$	$S_{IV},$ $\text{м}^3\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$	$S_{I,}$ $\text{м}^3\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$	$S_{2,}$ $\text{м}^3\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$	$S_{3,}$ $\text{м}^3\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$	$S_{4,}$ $\text{м}^3\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$	$S_{5,}$ $\text{м}^3\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$
100	800	700	500	500	3000	7000	2000	4000	1000

Напор тепловой станции $\Delta H_{\text{ст}}=120\text{м}$.

Выполнить расчет для трёх режимов:

1. все абоненты включены;
2. отключен 1 абонент;
3. сопротивление 1 абонента уменьшилось на 30%.

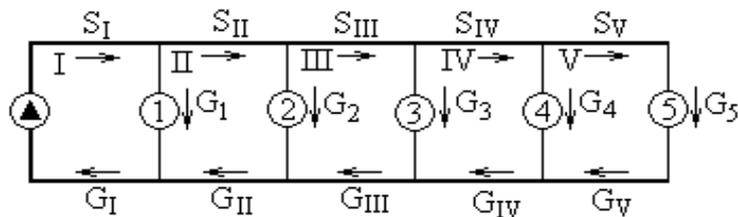


Рисунок 1.1 – Схема тепловой сети.

Расчетные формулы:

Потеря напора на участке:

$$\Delta H = S \cdot G^2, \quad \text{м} \quad (1.1)$$

где S – гидравлическое сопротивление участка, выраженное в единицах напора, $(\text{м}^3\cdot\text{с}^2)/\text{м}^6$;

G – расход теплоносителя на этом участке, $\text{м}^3/\text{с}$.

Суммарное гидравлическое сопротивление:

- для последовательного соединения участков

$$S_{\Sigma} = \Sigma(S_i), \quad (\text{м}^3\text{с}^2)/\text{м}^6 \quad (1.2)$$

- для параллельного соединения двух участков

$$S_{\Sigma} = \frac{S_1 \cdot S_2}{(\sqrt{S_1} + \sqrt{S_2})^2}, \quad (\text{м}^3\text{с}^2)/\text{м}^6 \quad (1.3)$$

где S_1, S_2 – сопротивления соответственно 1-го и 2-го участков.

Суммарная потеря напора на участках, ΔH_{Σ} :

- при последовательном соединении:

$$\Delta H_{\Sigma} = \Sigma(\Delta H_i) = \Sigma(S_i \cdot G_i^2), \quad \text{м} \quad (1.4)$$

- при параллельном соединении:

$$\Delta H_{\Sigma} = \Delta H_i, \quad \text{м} \quad (1.5)$$

Потери напора на участках определяются по формуле:

$$\Delta H_1 = \Delta H_{\text{ст}} - S_1 \cdot (G_{\text{общ}})^2, \quad \text{м} \quad (1.6)$$

где ΔH_1 – потеря напора на первом абоненте, м;

$\Delta H_{\text{ст}}$ – напор тепловой станции, м;

S_1 – гидравлическое сопротивление I-го магистрального участка, $(\text{м}^3\text{с}^2)/\text{м}^6$;

$G_{\text{общ}}$ – расход на этом участке, $\text{м}^3/\text{с}$.

Расчет

1 Определение гидравлического сопротивления участка V-5 (1.2):

$$S_{V-5} = 500 + 1000 = 1500 \quad (\text{м}^3\text{с}^2)/\text{м}^6.$$

Находится гидравлическое сопротивление участка 4-5 по формуле (1.3):

$$S_{4-5} = \frac{4000 \cdot 1500}{(\sqrt{4000} + \sqrt{1500})^2} = 576,98 \quad (\text{м}^3\text{с}^2)/\text{м}^6.$$

Аналогично определяются гидравлические сопротивления для всех остальных участков:

$$S_{IV-5} = 500 + 576,98 = 1076,98 \quad (\text{м}^3\text{с}^2)/\text{м}^6.$$

$$S_{3-5} = \frac{2000 \cdot 1076,98}{(\sqrt{2000} + \sqrt{1076,98})^2} = 358,26 \quad (\text{м}^3\text{с}^2)/\text{м}^6$$

$$S_{III-5} = 700 + 358,26 = 1058,26 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

$$S_{2-5} = \frac{7000 \cdot 1058,26}{(\sqrt{7000} + \sqrt{1058,26})^2} = 548,66 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6$$

$$S_{II-5} = 800 + 548,66 = 1348,66 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

$$S_{1-5} = \frac{3000 \cdot 1348,66}{(\sqrt{3000} + \sqrt{1348,66})^2} = 483,30 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6$$

$$S_{\text{общ}} = S_{I-5} = 100 + 483,30 = 583,30 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

2 Определение общего расхода теплоносителя (расход на участке-I) (1.1):

$$G_{\text{общ}} = \sqrt{\frac{120}{583,30}} = 0,4536 \text{ м}^3\text{/с}.$$

3 Определение суммарных потерь напора в подающей и обратной линиях 1 магистрального участка (1.1):

$$\Delta H_I = 100 \cdot 0,4536^2 = 20,573 \text{ м}$$

4 Определение располагаемого напора у 1 абонентского ввода:

$$\Delta H_1 = \Delta H_{\text{ст}} - \Delta H_I = 120 - 20,573 = 99,427 \text{ м}.$$

5 Определения расхода теплоносителя, проходящего через 1 абонентский ввод (1.1):

$$G_1 = \sqrt{\frac{\Delta H_1}{S_1}} = \sqrt{\frac{99,427}{3000}} = 0,1821 \text{ м}^3\text{/с}.$$

6 Определение расхода теплоносителя на участке-II:

$$G_{II} = G_{\text{общ}} - G_1 = 0,4536 - 0,1821 = 0,2715 \text{ м}^3\text{/с}.$$

Аналогично определяются потери напора и расход теплоносителя для остальных абонентов и для магистральных участков:

$$\Delta H_2 = \Delta H_1 - S_{II} \cdot (G_{II})^2 = 99,427 - 800 \cdot (0,2715)^2 = 40,449 \text{ м}.$$

$$G_2 = \sqrt{\frac{\Delta H_2}{S_2}} = \sqrt{\frac{40,449}{7000}} = 0,076 \text{ м}^3\text{/с}.$$

$$G_{III} = G_{II} - G_2 = 0,2715 - 0,076 = 0,1955 \text{ м}^3\text{/с}.$$

$$\Delta H_3 = \Delta H_2 - S_{III} \cdot (G_{III})^2 = 40,449 - 700 \cdot (0,1955)^2 = 13,693 \text{ м}.$$

$$G_3 = \sqrt{\frac{\Delta H_3}{S_3}} = \sqrt{\frac{13,693}{2000}} = 0,0827 \text{ м}^3\text{/с}.$$

$$G_{IV} = G_{III} - G_3 = 0,1955 - 0,0827 = 0,1128 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\Delta H_4 = \Delta H_3 - S_{IV} \cdot (G_{IV})^2 = 13,693 - 500 \cdot (0,1128)^2 = 7,336 \text{ м.}$$

$$G_4 = \sqrt{\frac{\Delta H_4}{S_4}} = \sqrt{\frac{7,336}{4000}} = 0,0428 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$G_5 = G_V = G_{IV} - G_4 = 0,1128 - 0,0428 = 0,0699 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$\Delta H_5 = \Delta H_4 - S_V \cdot (G_V)^2 = 7,336 - 1000 \cdot (0,0699)^2 = 4,891 \text{ м.}$$

При суммировании всех расходов через абонентские вводы получаем расход, равный $G_{\text{общ}} = 0,454 \text{ м}^3/\text{с}$. Расходы определены верно.

По полученным данным строится пьезометрический график (рисунок 1.2).

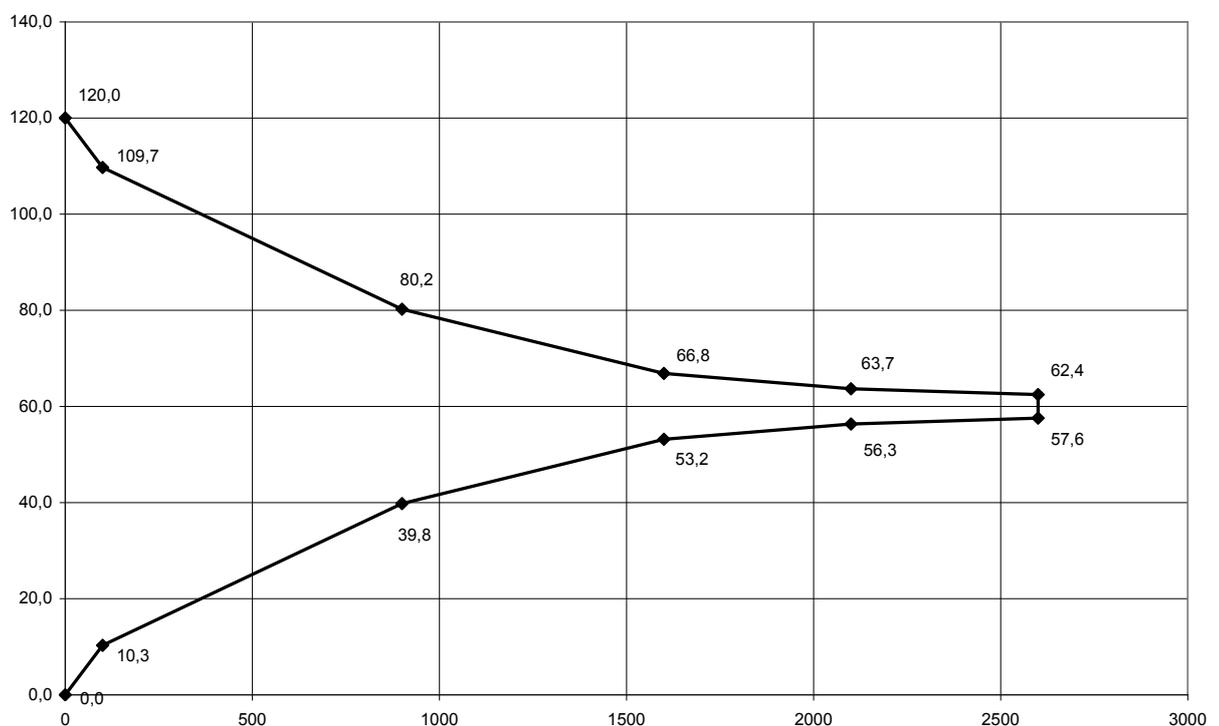


Рисунок 1.2 – Пьезометрический график для 1^{ого} гидравлического режима.

2 гидравлический режим:

1 Определение гидравлического сопротивления участка V-5 (1.2):

$$S_{V-5} = 500 + 1000 = 1500 \text{ (м} \cdot \text{с}^2\text{)/м}^6.$$

Находится гидравлическое сопротивление участка 4-5 по формуле (1.3):

$$S_{4-5} = \frac{4000 \cdot 1500}{(\sqrt{4000} + \sqrt{1500})^2} = 576,98 \text{ (м} \cdot \text{с}^2\text{)/м}^6.$$

Аналогично определяются гидравлические сопротивления для всех остальных участков:

$$S_{IV-5} = 500 + 576,98 = 1076,98 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

$$S_{3-5} = \frac{2000 \cdot 1076,98}{(\sqrt{2000} + \sqrt{1076,98})^2} = 358,26 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6$$

$$S_{III-5} = 700 + 358,26 = 1058,26 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

$$S_{2-5} = \frac{7000 \cdot 1058,26}{(\sqrt{7000} + \sqrt{1058,26})^2} = 548,66 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6$$

$$S_{II-5} = 800 + 548,66 = 1348,66 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

$$S_{\text{общ}} = S_{I-5} = 100 + 1348,66 = 1448,66 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

2 Определение общего расхода теплоносителя (расход на участке-I) (1.1):

$$G_{\text{общ}} = G_I = G_{II} = \sqrt{\frac{120}{1448,66}} = 0,2878 \text{ м}^3\text{/с}.$$

3 Определение располагаемого напора у 2 абонентского ввода:

$$\Delta H_2 = \Delta H_{\text{ст}} - (S_I + S_{II}) \cdot (G_{\text{общ}})^2 = 120 - (800 + 100) \cdot (0,2878)^2 = 45,4482 \text{ м}.$$

4 Определения расхода теплоносителя, проходящего через 2 абонентский ввод (1.1):

$$G_2 = \sqrt{\frac{\Delta H_2}{S_2}} = \sqrt{\frac{45,4482}{7000}} = 0,0806 \text{ м}^3\text{/с}.$$

5 Определение расхода теплоносителя на участке-III:

$$G_{III} = G_{II} - G_2 = 0,2878 - 0,0806 = 0,2072 \text{ м}^3\text{/с}.$$

Аналогично определяются потери напора и расход теплоносителя для остальных абонентов и для магистральных участков:

$$\Delta H_3 = \Delta H_2 - S_{III} \cdot (G_{III})^2 = 45,4482 - 700 \cdot (0,2072)^2 = 15,386 \text{ м}.$$

$$G_3 = \sqrt{\frac{\Delta H_3}{S_3}} = \sqrt{\frac{15,386}{2000}} = 0,0877 \text{ м}^3\text{/с}.$$

$$G_{IV} = G_{III} - G_3 = 0,2072 - 0,0877 = 0,1195 \text{ м}^3\text{/с}$$

$$\Delta H_4 = \Delta H_3 - S_{IV} \cdot (G_{IV})^2 = 15,386 - 500 \cdot (0,1195)^2 = 8,243 \text{ м}.$$

$$G_4 = \sqrt{\frac{\Delta H_4}{S_4}} = \sqrt{\frac{8,243}{4000}} = 0,0454 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$G_5 = G_V = G_{IV} - G_4 = 0,1195 - 0,0454 = 0,0741 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$\Delta H_5 = \Delta H_4 - S_V \cdot (G_V)^2 = 8,243 - 1000 \cdot (0,0741)^2 = 5,495 \text{ м}.$$

При суммировании всех расходов через абонентские вводы получаем расход, равный $G_{\text{общ}} = 0,2878 \text{ м}^3/\text{с}$. Расходы определены верно.

По полученным данным строится пьезометрический график (рисунок 1.3).

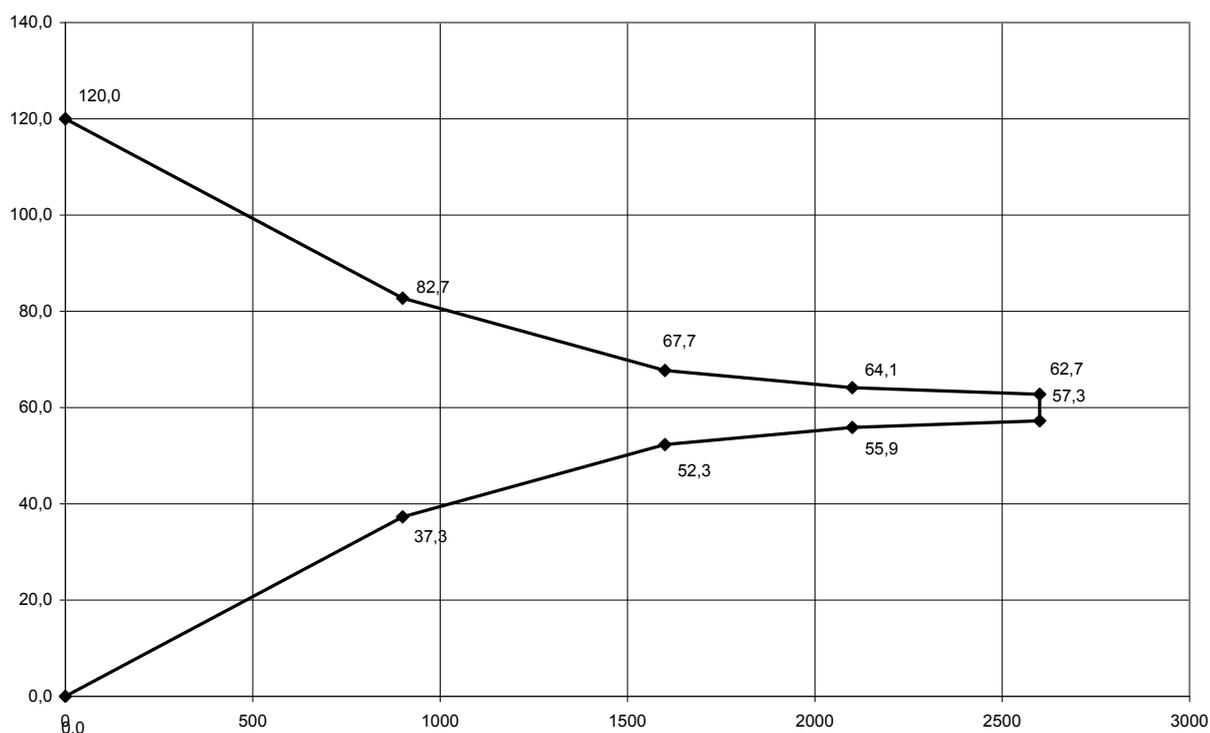


Рисунок 1.3 – Пьезометрический график для 2^{ого} гидравлического режима.

3 гидравлический режим:

1 Определение гидравлического сопротивления участка V-5 (1.2):

$$S_{V-5} = 500 + 1000 = 1500 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

Находится гидравлическое сопротивление участка 4-5 по формуле (1.3):

$$S_{4-5} = \frac{4000 \cdot 1500}{(\sqrt{4000} + \sqrt{1500})^2} = 576,98 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

Аналогично определяются гидравлические сопротивления для всех остальных участков:

$$S_{IV-5} = 500 + 576,98 = 1076,98 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

$$S_{3-5} = \frac{2000 \cdot 1076,98}{(\sqrt{2000} + \sqrt{1076,98})^2} = 358,26 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6$$

$$S_{III-5} = 700 + 358,26 = 1058,26 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

$$S_{2-5} = \frac{7000 \cdot 1058,26}{(\sqrt{7000} + \sqrt{1058,26})^2} = 548,66 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6$$

$$S_{II-5} = 800 + 548,66 = 1348,66 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

$$S_{I-5} = \frac{2100 \cdot 1348,66}{(\sqrt{2100} + \sqrt{1348,66})^2} = 415,61 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6$$

$$S_{\text{общ}} = S_{I-5} = 100 + 415,61 = 515,61 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

2 Определение общего расхода теплоносителя (расход на участке-I) (1.1):

$$G_{\text{общ}} = \sqrt{\frac{120}{515,61}} = 0,4824 \text{ м}^3\text{/с.}$$

3 Определение суммарных потерь напора в подающей и обратной линиях 1 магистрального участка (1.1):

$$\Delta H_I = 100 \cdot 0,4824^2 = 23,271 \text{ м}$$

4 Определение располагаемого напора у 1 абонентского ввода:

$$\Delta H_1 = \Delta H_{\text{ст}} - \Delta H_I = 120 - 23,271 = 96,727 \text{ м.}$$

5 Определения расхода теплоносителя, проходящего через 1 абонентский ввод (1.1):

$$G_1 = \sqrt{\frac{\Delta H_1}{S_1}} = \sqrt{\frac{96,727}{2100}} = 0,2146 \text{ м}^3\text{/с.}$$

6 Определение расхода теплоносителя на участке-II:

$$G_{II} = G_{\text{общ}} - G_1 = 0,4824 - 0,2146 = 0,2678 \text{ м}^3\text{/с.}$$

Аналогично определяются потери напора и расход теплоносителя для остальных абонентов и для магистральных участков:

$$\Delta H_2 = \Delta H_1 - S_{II} \cdot (G_{II})^2 = 96,727 - 800 \cdot (0,2678)^2 = 39,35 \text{ м.}$$

$$G_2 = \sqrt{\frac{\Delta H_2}{S_2}} = \sqrt{\frac{39,35}{7000}} = 0,075 \text{ м}^3\text{/с.}$$

$$G_{III} = G_{II} - G_2 = 0,2678 - 0,075 = 0,1928 \text{ м}^3\text{/с.}$$

$$\Delta H_3 = \Delta H_2 - S_{III} \cdot (G_{III})^2 = 39,35 - 700 \cdot (0,1928)^2 = 13,322 \text{ м.}$$

$$G_3 = \sqrt{\frac{\Delta H_3}{S_3}} = \sqrt{\frac{13,322}{2000}} = 0,0816 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$G_{IV} = G_{III} - G_3 = 0,1928 - 0,0816 = 0,1112 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\Delta H_4 = \Delta H_3 - S_{IV} * (G_{IV})^2 = 13,322 - 500 * (0,1112)^2 = 7,137 \text{ м}.$$

$$G_4 = \sqrt{\frac{\Delta H_4}{S_4}} = \sqrt{\frac{7,336}{4000}} = 0,0422 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$G_5 = G_V = G_{IV} - G_4 = 0,1112 - 0,0422 = 0,069 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$\Delta H_5 = \Delta H_4 - S_V * (G_V)^2 = 7,137 - 1000 * (0,069)^2 = 4,758 \text{ м}.$$

При суммировании всех расходов через абонентские вводы получаем расход, равный $G_{\text{общ}} = 0,4824 \text{ м}^3/\text{с}$. Расходы определены верно.

По полученным данным строится пьезометрический график (рисунок 1.4).

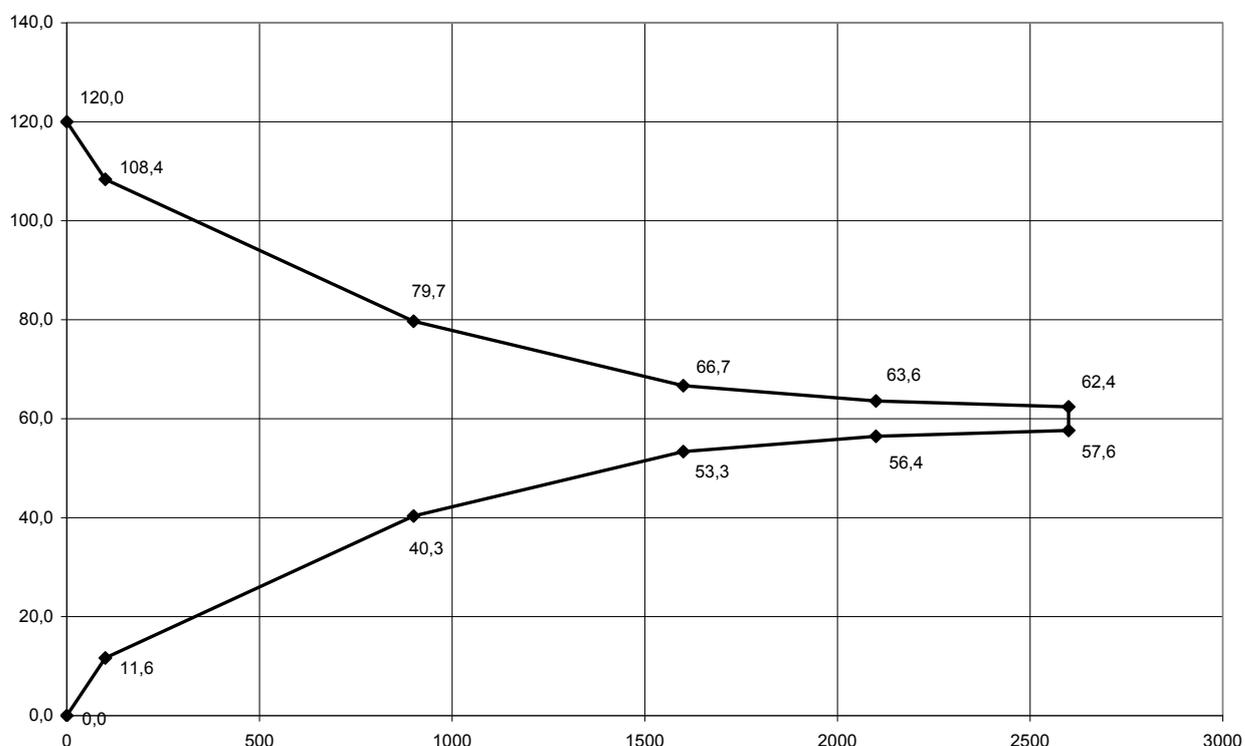


Рисунок 1.4 – Пьезометрический график для 3^{ого} гидравлического режима.

Таблица 1.1 – Сравнительная таблица 1^{ого} и 2^{ого} режимов.

	Расход на участках G, м ³ /с									
	I	II	III	IV	V	1	2	3	4	5
1	0,454	0,272	0,196	0,113	0,070	0,182	0,076	0,083	0,043	0,070
2	0,288	0,288	0,207	0,120	0,074	0,000	0,081	0,088	0,045	0,074
%	-36,55	6	6	6	6	-100	6	6	6	6

Таблица 1.2 – Сравнительная таблица 1^{ого} и 3^{ого} режимов.

	Расход на участках G, м ³ /с									
	I	II	III	IV	V	1	2	3	4	5
1	0,454	0,272	0,196	0,113	0,070	0,182	0,076	0,083	0,043	0,070
3	0,482	0,268	0,193	0,111	0,069	0,215	0,075	0,082	0,042	0,069
%	6,36	-1,37	-1,37	-1,37	-1,37	17,89	-1,37	-1,37	-1,37	-1,37

При отключении одного из абонентов $S_{\text{общ}}$ увеличивается. Падение напора на магистральных участках уменьшается. Разность напоров на абонентских вводах $\Delta H_{\text{аб}}$ увеличивается (особенно это заметно после отключаемого абонента: ΔH_2) и следовательно расходы на абонентских вводах увеличиваются, что доказано на примере опыта 2, результаты которого сведены в таблицу 1.1.

При снижении сопротивления одного из абонентов наблюдается небольшое увеличение общего расхода в сети, тогда как общее сопротивление сети уменьшается, а также происходит незначительное увеличение расхода абонента, сопротивление которого снижено, вследствие этого у последующих абонентов уменьшается расход теплоносителя. Результаты вычислений занесены в таблицу 1.2.

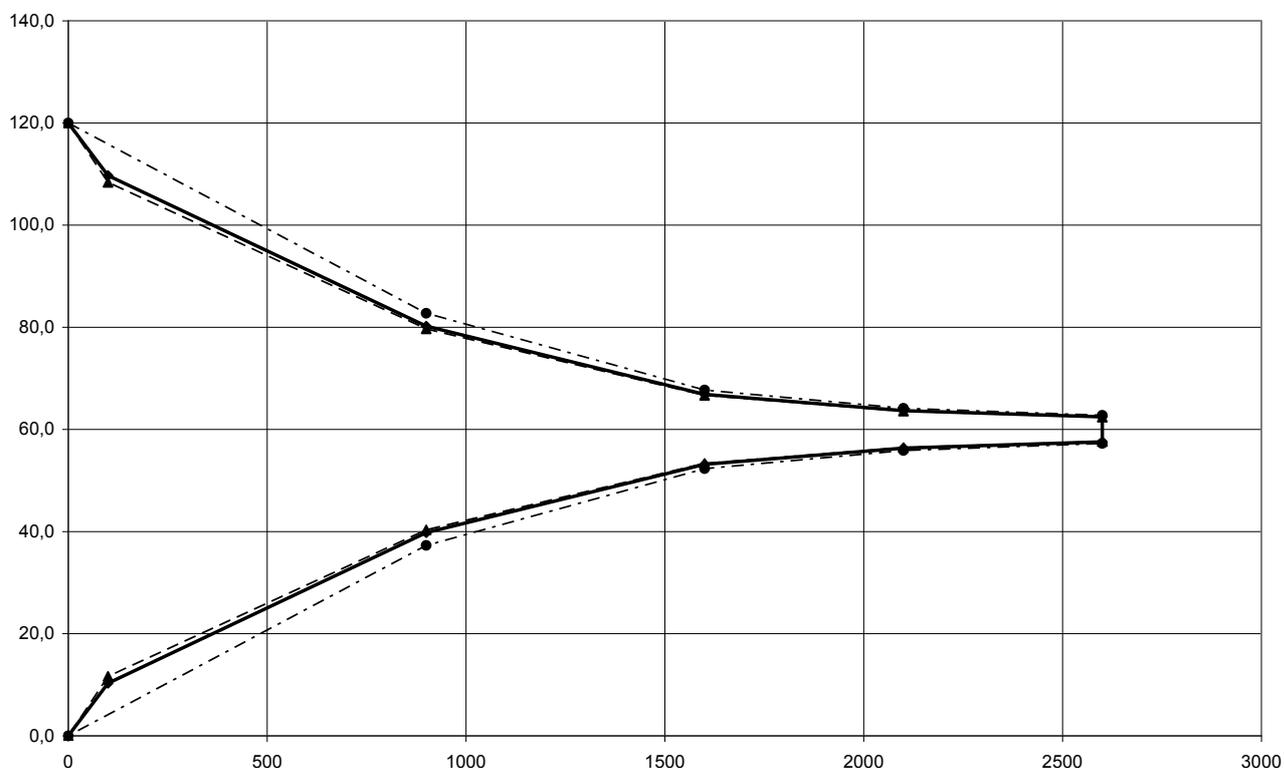


Рисунок 1.5 – Пьезометрический график для гидравлических режимов №1,2,3

Задание №2

Расчет гидравлического режима кольцевой сети с регуляторами расхода на абонентских вводах.

Исходные данные:

$S_I, \text{м}^3 \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6$	$S_{II}, \text{м}^3 \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6$	$S_{III}, \text{м}^3 \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6$	$S_{IV}, \text{м}^3 \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6$	$G_1, \text{м}^3 / \text{с}$	$G_2, \text{м}^3 / \text{с}$	$G_3, \text{м}^3 / \text{с}$
100	800	700	400	0,4	0,8	0,3

Схема тепловой сети представлена на рисунке 2.

Рассчитать гидравлический режим закрытой системы теплоснабжения (абонентские вводы оборудованы регуляторами расхода):

Расчетные формулы:

Поправочный расход:

$$\Delta G = \frac{\Delta H_{\Sigma}}{2 \sum_{i=1}^{IV} S_i G_i},$$

где ΔH_{Σ} - суммарные потери напора в контуре, м;

S_i - гидравлическое сопротивление участка, $(\text{м}^3 \cdot \text{с}^2) / \text{м}^6$;

G_i - расход теплоносителя на участке, $\text{м}^3 / \text{с}$

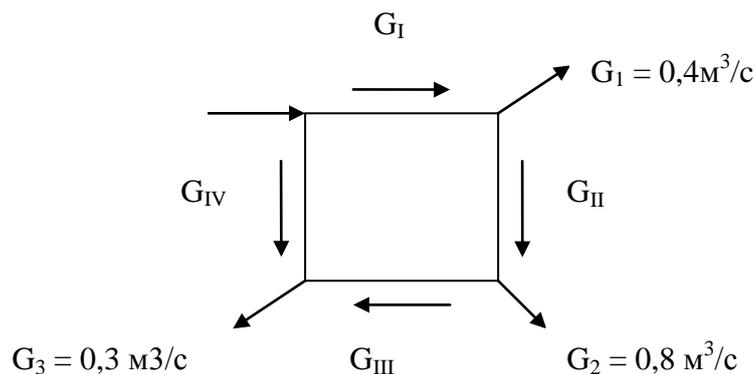


Рисунок 2.1 - Схема тепловой сети

Расчет:

Выберем начальные приближения расходов так, чтобы выполнялся 1 закон Кирхгофа (знак “+” у расходов направленных по часовой стрелке, “-” – направленных против часовой стрелки):

$$G_I^0 = 1,2 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{II}^0 = G_I^0 - G_1 = 1,2 - 0,4 = 0,8 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{III}^0 = G_{II}^0 - G_2 = 0,8 - 0,8 = 0,0 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{IV}^0 = -G_3 = -0,3 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$\Delta H_{\Sigma}^I = |100 \cdot 1,2| \cdot 1,2 + |800 \cdot 0,8| \cdot 0,8 + |700 \cdot 0| \cdot 0 + |500 \cdot 0,3| \cdot (-0,3) = 611 \text{ м}$$

$$\sum_{i=I}^{IV} S_i |G_i^0| = |100 \cdot 1,2| + |800 \cdot 0,8| + |700 \cdot 0| + |500 \cdot 0,3| = 910 \text{ м}$$

$$\Delta G = \frac{611}{2 \cdot 910} = 0,3357 \text{ м}^3/\text{с}$$

Вводим поправку в ранее принятые расходы:

$$G_I^I = G_I^0 - \Delta G_1 = 1,2 - (0,3357) = 0,864 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{II}^I = G_{II}^0 - \Delta G_1 = 0,8 - (0,3357) = 0,464 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{III}^I = G_{III}^0 - \Delta G_1 = 0 - (0,3357) = -0,3357 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{IV}^I = G_{IV}^0 - \Delta G_1 = -0,3 - (0,3357) = -0,6357 \text{ м}^3/\text{с};$$

Далее, аналогично выполняется следующая итерация, расчёт приведён в таблице.

Таблица 2.1.

G_I	1,2	0,8642857	0,881012	0,881054	0,881054
G_{II}	0,8	0,4642857	0,481012	0,481054	0,481054
G_{III}	0	-0,3357143	-0,31899	-0,31895	-0,31895
G_{IV}	-0,3	-0,6357143	-0,61899	-0,61895	-0,61895
ΔH_I	144	74,69898	77,61823	77,62559	77,62559
ΔH_{II}	512	172,44898	185,0981	185,1302	185,1302
ΔH_{III}	0	-78,892857	-71,2273	-71,2087	-71,2087
ΔH_{IV}	-45	-202,06633	-191,573	-191,547	-191,547
ΔH_Σ	611	-33,811224	-0,08393	-5,2E-07	0
S_I*G_I	120	86,428571	88,10121	88,10538	88,10538
S_{II}*G_{II}	640	371,42857	384,8097	384,8431	384,8431
S_{III}*G_{III}	0	235	223,2915	223,2623	223,2623
S_{IV}*G_{IV}	150	317,85714	309,4939	309,4731	309,4731
Σ S_i*G_i	910	1010,7143	1005,696	1005,684	1005,684
G_{погр}	0,335714	-0,0167264	-4,2E-05	-2,6E-10	0

Таким образом, расходы на магистральных участках равны:

$$G_I = 0,881054 \text{ м}^3/\text{с}; G_{II} = 0,881054 \text{ м}^3/\text{с}; G_{III} = -0,31895 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{IV} = -0,61895 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Задача №3

Расчёт закрытой системы теплоснабжения с двумя источниками тепла

Исходные данные:

$S_I, \text{м}^3 \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6$	$S_{II}, \text{м}^3 \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6$	$S_{III}, \text{м}^3 \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6$	$S_{IV}, \text{м}^3 \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6$	$S_V, \text{м}^3 \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6$	$G_1, \text{м}^3 / \text{с}$	$G_2, \text{м}^3 / \text{с}$	$G_3, \text{м}^3 / \text{с}$	$G_4, \text{м}^3 / \text{с}$
20	75	85	40	55	0,4	0,8	0,3	0,7

Располагаемый напор на станции А $\Delta H_A = 100\text{м}$,

на станции В $\Delta H_B = 80\text{м}$.

Рассчитать гидравлический режим закрытой системы теплоснабжения. Построить пьезометрические графики тепловой сети.

Схема тепловой сети представлена на рисунке 3.1.

Решение

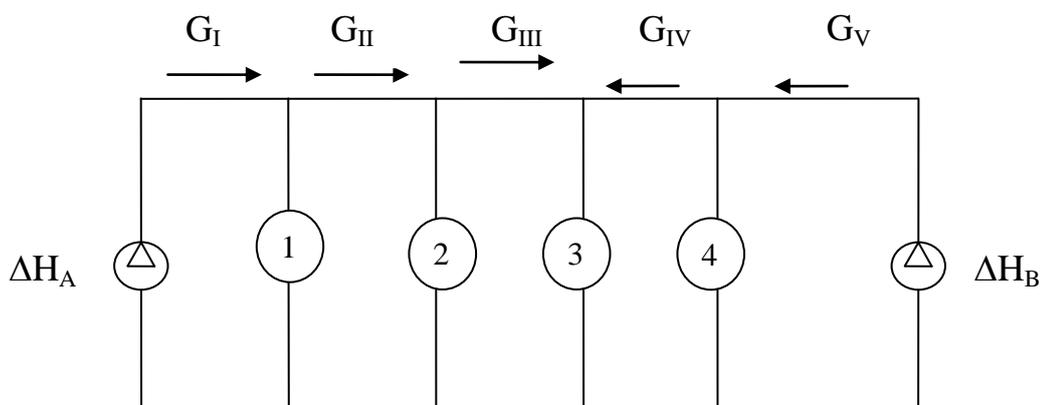


Рисунок 3.1 – Расчетная схема тепловой сети

Предположим, что точка водораздела находится в месте присоединения абонента 4. Задаемся начальными приближениями для магистральных расходов так, чтобы выполнялся 1 закон Кирхгофа:

$$G_I^0 = 1,4 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$G_{II}^0 = G_I^0 - G_1 = 1,4 - 0,4 = 1,0 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$G_{III}^0 = G_{II}^0 - G_2 = 1,0 - 0,8 = 0,2 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$G_{IV}^0 = G_{III}^0 - G_3 = 0,2 - 0,3 = -0,1 \text{ м}^3 / \text{с};$$

$$G_V^0 = G_{IV}^0 - G_4 = -0,1 - 0,7 = -0,8 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$\Delta H_{\Sigma}^0 = |10*1,4|*1,4 + |80*1|*1 + |70*0,2|*0,2 + |50*0,1|*(-0,1) + |50*0,8|*(-0,8) + 100 - 80 = 121,9 \text{ м.}$$

$$\sum_{i=I}^V S_i |G_i^0| = |10*1,4| + |80*1| + |70*0,2| + |50*0,1| + |50*0,8| = 113 \text{ м}$$

$$\Delta G^I = \frac{121,9}{2*113} = 0,539 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$G_I^I = G_I^0 - \Delta G_1 = 1,4 - 0,539 = 0,8612 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{II}^I = G_{II}^0 - \Delta G_1 = 1 - 0,539 = 0,4612 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{III}^I = G_{III}^0 - \Delta G_1 = 0,2 - 0,539 = -0,3394 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{IV}^I = G_{IV}^0 - \Delta G_1 = -0,1 - 0,539 = -0,6394 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_V^I = G_V^0 + \Delta G_1 = -0,8 - 0,539 = -1,3394 \text{ м}^3/\text{с};$$

Далее расчёт производится аналогично, результаты сведены в таблицу.

Таблица 3.1

	1	2	3	4	5	6	7
G_I	1,4	1,0016	0,9257	0,8983	0,8878	0,8837	0,8821
G_{II}	1,0	0,6016	0,5257	0,4983	0,4878	0,4837	0,4821
G_{III}	0,2	-0,1984	-0,2743	-0,3017	-0,3122	-0,3163	-0,3179
G_{IV}	-0,1	-0,4984	-0,5743	-0,6017	-0,6122	-0,6163	-0,6179
G_V	-0,8	-1,1984	-1,2743	-1,3017	-1,3122	-1,3163	-1,3179
ΔH_I	19,6	10,0327	8,5696	8,0701	7,8826	7,8098	7,7812
ΔH_{II}	80,0	28,9571	22,1106	19,8671	19,0389	18,7197	18,5946
ΔH_{III}	2,8	-2,7544	-5,2660	-6,3701	-6,8212	-7,0018	-7,0737
ΔH_{IV}	-0,5	-12,4184	-16,4898	-18,1000	-18,7371	-18,9893	-19,0892
ΔH_V	-32,0	-71,8041	-81,1894	-84,7165	-86,0885	-86,6281	-86,8413
ΔH_Σ	121,9	23,8169	8,9243	3,4671	1,3632	0,5383	0,2130
S_I*G_I	14,0	10,0163	9,2572	8,9834	8,8784	8,8373	8,8211
S_{II}*G_{II}	80,0	48,1307	42,0577	39,8669	39,0270	38,6985	38,5690
S_{III}*G_{III}	14,0	13,8856	19,1995	21,1165	21,8513	22,1388	22,2521
S_{IV}*G_{IV}	5,0	24,9183	28,7140	30,0832	30,6081	30,8134	30,8944
S_V*G_V	40,0	59,9183	63,7140	65,0832	65,6081	65,8134	65,8944
Σ S_i*G_i	153,0	156,869	162,942	165,133	165,973	166,301	166,431
G_{поп}	0,398	0,0759	0,0274	0,0105	0,0041	0,0016	0,0006

Задание №4

Расчет гидравлического режима закрытой тепловой сети без регуляторов расхода на абонентских вводах

Исходные данные:

S_I , (м·с ²)/м ⁶	S_{II} (м·с ²)/м ⁶	S_{III} (м·с ²)/м ⁶	S_{IV} (м·с ²)/м ⁶	S_1 (м·с ²)/м ⁶	S_2 (м·с ²)/м ⁶	S_3 (м·с ²)/м ⁶
200	750	850	400	3000	8000	8000

Располагаемый напор на станции $\Delta H_{ст} = 120$ м.

Рассчитать гидравлический режим закрытой системы
теплоснабжения (абонентские вводы не оборудованы регуляторами расхода).

Расчет:

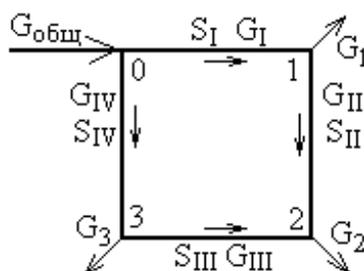


Рисунок 4.1 – Схема тепловой сети

Методика решения данной задачи следующая. Сначала, выбирают точку водораздела. Далее, задаются долей расхода воды G_N от G_n

$$\alpha = \frac{G_N}{G_n}, \text{ аналогично } (1 - \alpha) = \frac{G_{N+1}}{G_n}$$

Схему кольцевой сети разобьем на две эквивалентные схемы.

S_n выбирается из условия, что потери напора на этих эквивалентных вводах должны быть такими же, что и потери напора на реальном абонентском вводе:

$$S_n(G_n)^2 = S_{эп}(\alpha * G_n)^2 \rightarrow S_{эп} = S_n / \alpha,$$

Далее расчёт приводиться аналогично 1^{ой} задачи. Когда определены расходы на всех магистральных участках, переходят от эквивалентных схем обратно к кольцевой схеме. После этого, проверяют выполняется ли 2^{ой} закон Кирхгофа, т.е. находят $\Delta H_{\Sigma} = \Sigma[S_N \cdot (G_N)^2]$, если суммарные потери давления не равны 0. Тогда изменяя долю расхода, добиваются выполнения второго закона Кирхгофа. Расчёт приведён в таблице.

Например, пусть точка водораздела, находится в точке 1. Пусть $\alpha=0,5$.

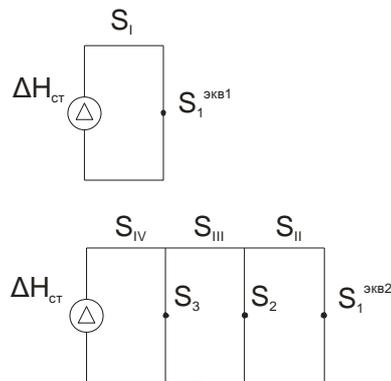


Рисунок 4.2 – Эквивалентная схема тепловой сети

$$S_1^{\text{эKB1}} = S_1 / \alpha = 3000 / 0,5 = 6000 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6;$$

$$S_1^{\text{эKB2}} = S_1 / (1-\alpha) = 3000 / 0,5 = 6000 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

Эквивалентная схема 1.

$$S_{\Sigma}^{\text{эKB1}} = S_I + S_1^{\text{эKB1}} = 100 + 6000 = 6100 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6;$$

$$G_{\Sigma}^{\text{эKB1}} = \sqrt{\frac{120}{6100}} = 0,1403 \text{ м}^3\text{/с}.$$

Эквивалентная схема 2.

Находим гидравлические сопротивления для всех участков.

$$S_{II-1} = 800 + 6000 = 6800 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

$$S_{2-1} = \frac{6800 \cdot 7000}{(\sqrt{6800} + \sqrt{7000})^2} = 1724,73 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

$$S_{III-1} = 700 + 1724,73 = 2424,73 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

$$S_{3-1} = \frac{2000 \cdot 2424,73}{(\sqrt{2000} + \sqrt{2424,73})^2} = 549,26 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6$$

$$S_{\Sigma}^{\text{эKB2}} = S_{VI-1} = 500 + 549,26 = 1049,26 \text{ (м}^3\text{с}^2\text{)/м}^6.$$

Определение общего расхода теплоносителя (VI-1):

$$G_{\text{общ}} = \sqrt{\frac{120}{1049,26}} = 0,34 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Определение потерь напора:

$$\Delta H_{\text{IV}} = 500 \cdot 0,34^2 = 57,8 \text{ м}$$

$$\Delta H_3 = \Delta H_{\text{ст}} - \Delta H_{\text{IV}} = 120 - 57,8 = 62,82 \text{ м}.$$

Нахождение расхода теплоносителя, проходящего через 3 абонент. ввод:

$$G_3 = \sqrt{\frac{\Delta H_3}{S_3}} = \sqrt{\frac{62,82}{3000}} = 0,1447 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Определение расхода теплоносителя на участке II:

$$G_{\text{III}} = G_{\text{общ}} - G_1 = 0,34 - 0,1447 = 0,1953 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Аналогично определяются потери напора и расход теплоносителя для остальных абонентов и для магистральных участков:

$$\Delta H_2 = \Delta H_3 - S_{\text{III}} \cdot (G_{\text{III}})^2 = 62,82 - 700 \cdot (0,1953)^2 = 36,614 \text{ м}.$$

$$G_2 = \sqrt{\frac{\Delta H_2}{S_2}} = \sqrt{\frac{36,614}{7000}} = 0,0723 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$G_{\text{II}} = G_1^{\text{экви}} = G_{\text{III}} - G_2 = 0,1953 - 0,0723 = 0,12 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Далее, переходим обратно к кольцевой схеме. Получаем следующие результаты.

$$G_I = 0,1403 \text{ м}^3/\text{с}, G_{\text{II}} = 0,1212 \text{ м}^3/\text{с}, G_{\text{III}} = 0,1935 \text{ м}^3/\text{с}, G_{\text{IV}} = 0,3382 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Определяем ΔH_{Σ} – выполняется ли второй закон Кирхгофа.

$$\Delta H_{\Sigma} = S_I \cdot G_I^2 - S_{\text{II}} \cdot G_{\text{II}}^2 - S_{\text{III}} \cdot G_{\text{III}}^2 - S_{\text{IV}} \cdot G_{\text{IV}}^2 = 100 \cdot 0,1403^2 - 800 \cdot 0,1212^2 - 700 \cdot 0,1935^2 - 500 \cdot 0,3382^2 = -93,16 - 2^{\text{ой}} \text{ закон Кирхгофа не выполняется}.$$

Далее все расчёты проводятся аналогично, все результаты сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Расчёт кольцевой сети.

водораздел - в т.3				водораздел - в т.1			
α	0,5	0,1	0,9	α	0,5	0,1	0,9
G_1	0,1860	0,1860	0,1860	G_1	0,2614	0,1942	0,2841
G_2	0,0974	0,1064	0,0931	G_2	0,0723	0,0702	0,0771
G_3	0,2822	0,2716	0,2220	G_3	0,1447	0,1447	0,1447
G_I	0,4023	0,3612	0,4184	G_I	0,1403	0,0631	0,1870
G_{II}	0,2163	0,1752	0,2324	G_{II}	0,1212	0,1311	0,0972
G_{III}	0,1189	0,0688	0,1393	G_{III}	0,1935	0,2012	0,1742
G_{IV}	0,1633	0,2100	0,0765	G_{IV}	0,3382	0,3459	0,3189
$S_3^{эKB1}$	4000	20000	2222,222	$S_1^{эKB1}$	6000	30000	3333,333
$S_3^{эKB2}$	4000	2222,22222	20000	$S_1^{эKB2}$	6000	3333,333	30000
ΔH_1	16,183267	13,0472645	17,50767	ΔH_1	1,9672131	0,398671	3,495146
ΔH_2	37,414214	24,5516113	43,2063	ΔH_2	11,742822	13,74317	7,551079
ΔH_3	9,8897369	3,31069964	13,59176	ΔH_3	26,203414	28,34839	21,24604
ΔH_4	13,333333	22,0408163	2,926829	ΔH_4	57,182994	59,83847	50,85496
ΔH_{Σ}	50,153884	18,8687591	71,37889	ΔH_{Σ}	-93,16202	-101,531	-76,1569
эKB 1				эKB 1			
S_{III-3}	4700,00	20700,00	2922,22	$S_{\Sigma}^{эKB1}$	6100	30100	3433,333
S_{2-3}	1419,84	2798,65	1078,44	$G_1^{эKB1}$	0,1403	0,0631	0,1870
S_{II-3}	2219,84	3598,65	1878,44				
S_{1-3}	641,51	819,73	585,41	эKB 2			
$S_{\Sigma}^{эKB1}$	741,51	919,73	685,41	S_{II-1}	6800,00	4133,33	30800,00
				S_{2-1}	1724,73	1321,68	3209,93
$G_{общ}$	0,4023	0,3612	0,4184	S_{III-1}	2424,73	2021,68	3909,93
				S_{3-1}	549,26	502,70	679,83
G_1	0,1860	0,1860	0,1860	$S_{\Sigma}^{эKB2}$	1049,26	1002,70	1179,83
G_2	0,0974	0,1064	0,0931				
$G_3^{эKB1}$	0,1189	0,0616	0,1455	$G_{общ}$	0,3382	0,3459	0,3189
G_I	0,4023	0,3612	0,4184	G_3	0,1447	0,1447	0,1447
G_{II}	0,2163	0,1752	0,2324	G_2	0,0723	0,0702	0,0771
G_{III}	0,1189	0,0688	0,1393	$G_1^{эKB2}$	0,1212	0,1311	0,0972
ΔH_1	103,817	103,817	103,817	G_{IV}	0,3382	0,3459	0,3189
ΔH_2	66,403	79,265	60,610	G_{III}	0,1935	0,2012	0,1742
ΔH_3	56,513	75,954	47,019	G_{II}	0,1212	0,1311	0,0972
эKB 2				ΔH_3	62,817	62,817	62,817
$S_{\Sigma}^{эKB2}$	4500	2722,22222	20500	ΔH_2	36,614	34,469	41,571
$G_3^{эKB2}$	0,1633	0,2100	0,0765	ΔH_1	24,871	20,725	34,020
проверка				проверка			
$G_{общ}$	0,5656	0,5640	0,5010	$G_{общ}$	0,4784	0,4091	0,5059
1 узел	0	0	0	1 узел	0	0	0
2 узел	0	0	0	2 узел	0	0	0
3 узел	0	0	0	3 узел	0	0	0
4 узел	0	0	0	4 узел	0	0	0

водораздел - в т.2								
α	0,5	0,9	0,85	0,84	0,83	0,829	0,828	0,8285
G₁	0,1380	0,1228	0,1246	0,1250	0,1253	0,1254	0,1254	0,1254
G₂	0,2170	0,2184	0,2215	0,2219	0,2222	0,2223	0,2223	0,2223
G₃	0,2021	0,2115	0,2098	0,2095	0,2092	0,2092	0,2091	0,2091
G_I	0,2804	0,3056	0,3029	0,3024	0,3018	0,3018	0,3017	0,3018
G_{II}	0,1424	0,1828	0,1783	0,1774	0,1765	0,1764	0,1763	0,1764
G_{III}	0,0746	0,0356	0,0431	0,0444	0,0457	0,0458	0,0460	0,0459
G_{IV}	0,2767	0,2471	0,2529	0,2539	0,2549	0,2550	0,2551	0,2550
S₂^{экв1}	14000	7777,7778	8235,294	8333,333	8433,735	8443,908	8454,106	8449,004
S₂^{экв2}	14000	70000	46666,67	43750	41176,47	40935,67	40697,67	40816,33
ΔH₁	7,861482	9,3414921	9,177828	9,144501	9,110968	9,107603	9,104236	9,10592
ΔH₂	16,22498	26,732617	25,44606	25,18799	24,92967	24,90382	24,87797	24,8909
ΔH₃	3,891395	0,8858836	1,300815	1,382105	1,462869	1,470917	1,478959	1,474939
ΔH₄	38,2807	30,525759	31,97816	32,23631	32,48603	32,51057	32,53503	32,52281
ΔH_Σ	-18,0856	4,6624667	1,344904	0,714081	0,091737	0,02994	-0,03178	-0,00093
ЭКВ 1								
S_{II-2}	14800	8577,7778	9035,294	9133,333	9233,735	9243,908	9254,106	9249,004
S_{I-2}	1426,43	1184,59	1207,50	1212,26	1217,09	1217,58	1218,07	1217,82
S_Σ^{экв1}	1526,43	1284,59	1307,50	1312,26	1317,09	1317,58	1318,07	1317,82
G_I	0,2804	0,3056	0,3029	0,3024	0,3018	0,3018	0,3017	0,3018
G₁	0,137971	0,1228387	0,124603	0,124959	0,125316	0,125352	0,125388	0,12537
G_{II}	0,1424	0,1828	0,1783	0,1774	0,1765	0,1764	0,1763	0,1764
G₂^{экв1}	0,14	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
ЭКВ 2								
S_{III-2}	14700,00	70700,00	47366,67	44450,00	41876,47	41635,67	41397,67	41516,33
S₃₋₂	1067,37	1465,55	1376,28	1361,26	1346,95	1345,55	1344,17	1344,86
S_Σ^{экв2}	1567,37	1965,55	1876,28	1861,26	1846,95	1845,55	1844,17	1844,86
G_{IV}	0,2767	0,2471	0,2529	0,2539	0,2549	0,2550	0,2551	0,2550
G₃	0,202138	0,2115115	0,209788	0,20948	0,209182	0,209152	0,209123	0,209138
G_{III}	0,0746	0,0356	0,0431	0,0444	0,0457	0,0458	0,0460	0,0459
G₂^{экв2}	0,07	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
проверка								
G_{общ}	0,5571	0,5527	0,5558	0,5563	0,5567	0,5568	0,5568	0,5568
1 узел	0	0	0	0	0	0	0	0
2 узел	0	0	0	0	0	0	0	0
3 узел	0	0	0	0	0	0	0	0
4 узел	0	0	0	0	0	0	0	0

Дополнительное задание.

В данном случае, усложнена вторая задача. Усложнённая схема кольцевой сети, следующая ($S_V = 15 \text{ (м}^3\text{с}^2)/\text{м}^6$, $S_{VI} = 50 \text{ (м}^3\text{с}^2)/\text{м}^6$, $S_{VII} = 40 \text{ (м}^3\text{с}^2)/\text{м}^6$, $G_4 = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$, $G_5 = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$, дополнительные данные):

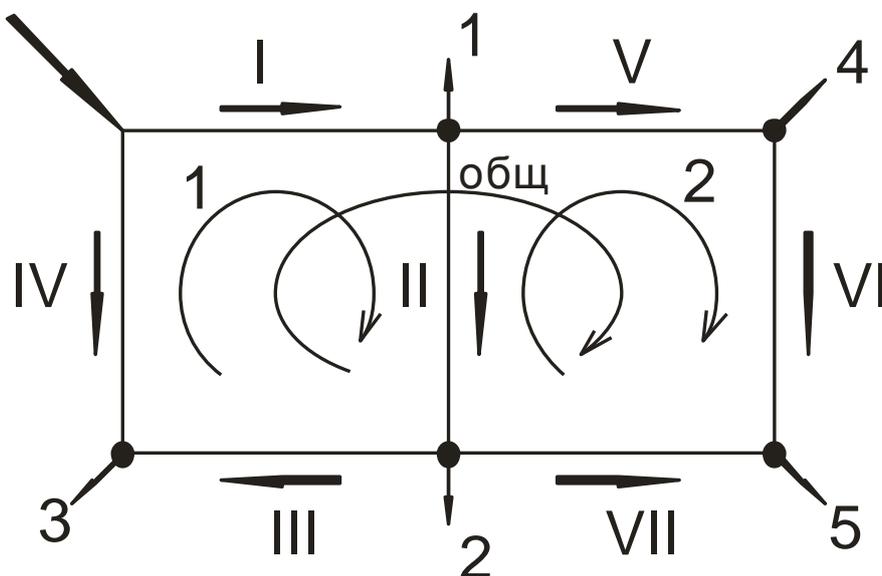
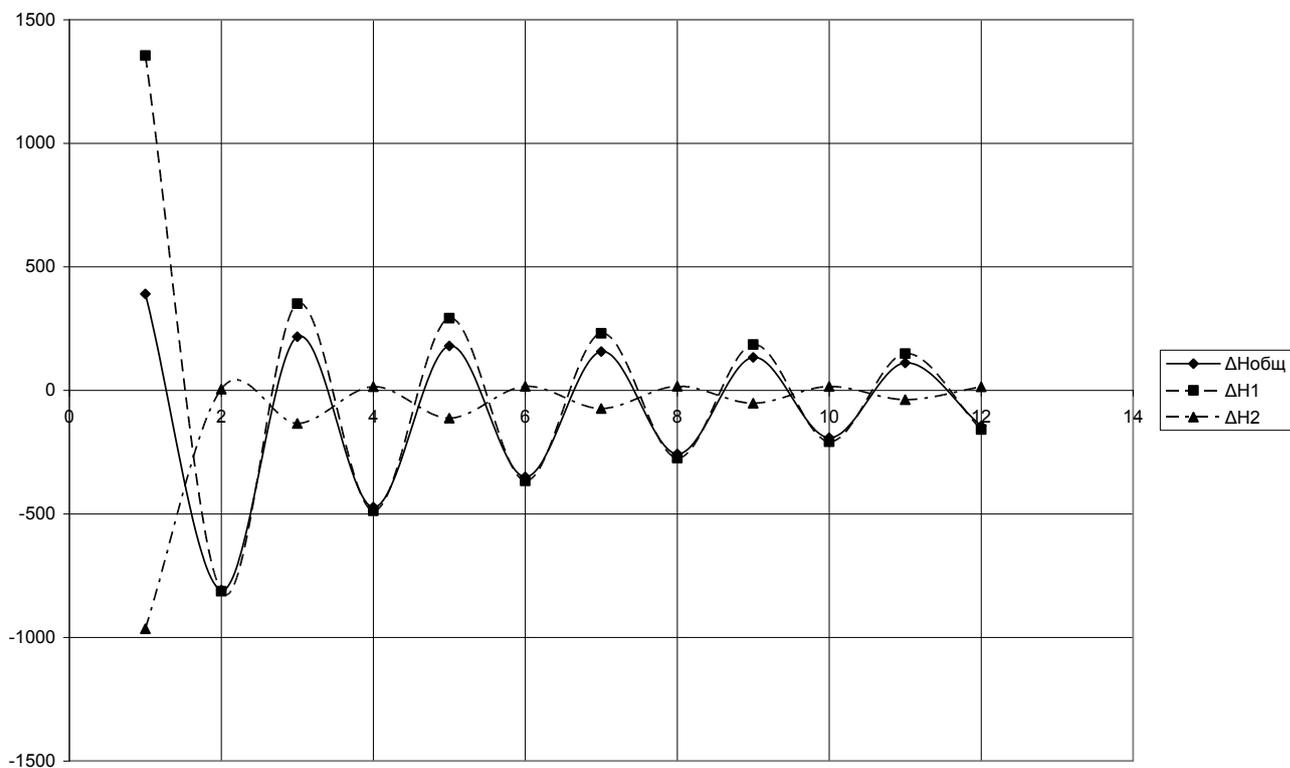


Рисунок 5.1 – Схема усложненной кольцевой сети.

При решении пользуемся аналогичным способом решения, что и во второй задаче. Только в данном случае, мы имеем дело с тремя кольцами, т.е. производим расчёт для ΔH_{Σ} и $G_{\text{попр}}$ для каждого из колец, как показано на схеме, общее кольцо, кольцо 1 и кольцо 2. При использовании метода последовательных приближений и при введении сразу нескольких поправочных расходов имеем следующую картину, из представленной диаграммы, видно значения уменьшаются, и происходит приближение к верным величинам, но существуют некие шумы, это приводит к необходимости множества приближений.



Результаты расчёта приведены в таблице, в общей сложности сделано 80 последовательных приближений. При определении суммарных потерь давления (проверка на 2^{ой} закон Кирхгофа) были получены значения близкие к 0, с точностью до тысячных.

Номер прибрл	1	2	3	4	5	...	77	78	79	80
G_1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	...	0,4	0,4	0,4	0,4
G_2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	...	0,8	0,8	0,8	0,8
G_3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	...	0,3	0,3	0,3	0,3
G_4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	...	0,1	0,1	0,1	0,1
G_5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	...	0,2	0,2	0,2	0,2
...										
$G_{\text{общ}}$	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	...	1,8	1,8	1,8	1,8
G_I	1,8	0,784026	1,515043	0,947271	1,459943	...	1,259044	1,258965	1,259035	1,258973
G_{II}	1,1	0,027324	0,449617	0,023426	0,415522	...	0,188734	0,188673	0,188727	0,188679
G_{III}	0,3	-0,71597	0,015043	-0,55273	-0,04006	...	-0,24096	-0,24103	-0,24096	-0,24103
G_{IV}	0	-1,01597	-0,28496	-0,85273	-0,34006	...	-0,54096	-0,54103	-0,54096	-0,54103
G_V	0,3	0,356703	0,665426	0,523846	0,644421	...	0,67031	0,670293	0,670308	0,670294
G_{VI}	0,2	0,256703	0,565426	0,423846	0,544421	...	0,57031	0,570293	0,570308	0,570294
G_{VII}	0	0,056703	0,365426	0,223846	0,344421	...	0,37031	0,370293	0,370308	0,370294
...										
$S_I \cdot G_I^2$	324	61,4697	229,5356	89,73233	213,1434	...	158,5192	158,4993	158,5169	158,5013
$S_{II} \cdot G_{II}^2$	968	0,597263	161,7245	0,439008	138,1269	...	28,49645	28,47786	28,49434	28,47973
$S_{III} \cdot G_{III}^2$	63	-358,833	0,158412	-213,856	-1,12319	...	-40,6419	-40,6684	-40,6449	-40,6658
$S_{IV} \cdot G_{IV}^2$	0	-516,101	-40,6001	-363,573	-57,8193	...	-146,317	-146,359	-146,322	-146,355
$S_V \cdot G_V^2$	1,35	1,908551	6,641878	4,116217	6,229175	...	6,73973	6,739383	6,73969	6,739418
$S_{VI} \cdot G_{VI}^2$	2	3,294811	15,98533	8,982266	14,81971	...	16,26267	16,26168	16,26256	16,26178
$S_{VII} \cdot G_{VII}^2$	0	0,128607	5,341449	2,004279	4,745031	...	5,485176	5,484666	5,485118	5,484717
$\Delta H_{\text{общ}}$	390,35	-808,133	217,0626	-472,594	179,9948	...	0,048185	-0,04272	0,037866	-0,03357
ΔH_1	1355	-812,867	350,8185	-487,258	292,3278	...	0,057067	-0,05059	0,044845	-0,03976
ΔH_2	-964,65	4,734706	-133,756	14,66375	-112,333	...	-0,00888	0,007871	-0,00698	0,006186
...										
$S_I \cdot G_I $	360	156,8052	303,0087	189,4543	291,9886	...	251,8088	251,793	251,807	251,7946
$S_{II} \cdot G_{II} $	1760	43,71773	719,3876	37,481	664,8355	...	301,9746	301,8761	301,9634	301,886
$S_{III} \cdot G_{III} $	420	1002,363	21,06071	773,8199	56,07966	...	337,3384	337,4487	337,3509	337,4376
$S_{IV} \cdot G_{IV} $	0	1015,974	284,9566	852,7285	340,0569	...	540,956	541,0348	540,965	541,0269
$S_V \cdot G_V $	9	10,70108	19,96278	15,71538	19,33263	...	20,1093	20,10878	20,10924	20,10883
$S_{VI} \cdot G_{VI} $	20	25,67026	56,54261	42,38459	54,44209	...	57,03099	57,02926	57,03079	57,02944
$S_{VII} \cdot G_{VII} $	0	4,536206	29,23409	17,90767	27,55367	...	29,62479	29,62341	29,62463	29,62355
$\Sigma_{\text{общ}}$	809	2216,05	714,7655	1892,01	789,4536	...	1236,868	1237,038	1236,888	1237,021
Σ_1	2540	2218,86	1328,414	1853,484	1352,961	...	1432,078	1432,153	1432,086	1432,145
Σ_2	1789	84,62527	825,1271	113,4886	766,1639	...	408,7397	408,6375	408,7281	408,6478
...										
$G_{\text{общ}}^{\text{попр}}$	0,482509	-0,36467	0,303684	-0,24978	0,227999	...	3,9E-05	-3,5E-05	3,06E-05	-2,7E-05
$G_1^{\text{попр}}$	0,533465	-0,36634	0,264088	-0,26289	0,216065	...	3,98E-05	-3,5E-05	3,13E-05	-2,8E-05
$G_2^{\text{попр}}$	-0,53921	0,055949	-0,1621	0,129209	-0,14662	...	-2,2E-05	1,93E-05	-1,7E-05	1,51E-05
проверка на 1 закон Кирхгофа										
узел 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00
узел 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00
узел 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00
узел 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00
узел 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00
узел 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	...	0,00	0,00	0,00	0,00

Литература

1. Зингер Н. М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем – М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Ионин А.А., Хыбов Б.М., Братенков В.Н. Теплоснабжение. Учебник для вузов.- М.: Стройиздат, 1982.
3. Лекции. Гидравлические режимы. Надежность тепловых сетей.