

## **Практичні заняття №15-16**

### **Аналіз роботи водопровідних мереж**

**Мета занять:** навчитись аналізувати результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі, засвоїти принципи складання п'єзометричних карт, набути вмінь з визначення поточкорозподілу у мережі.

**Завдання № 15.1.** Для схеми кільцевої мережі №1, яка показана на рис.2.7.1.1, визначити кількість вузлів живлення і показати напрямки руху води на ділянках.

**Вихідні дані.** Чисельні значення необхідних величин прийняти за табл. А.8 додатка А.

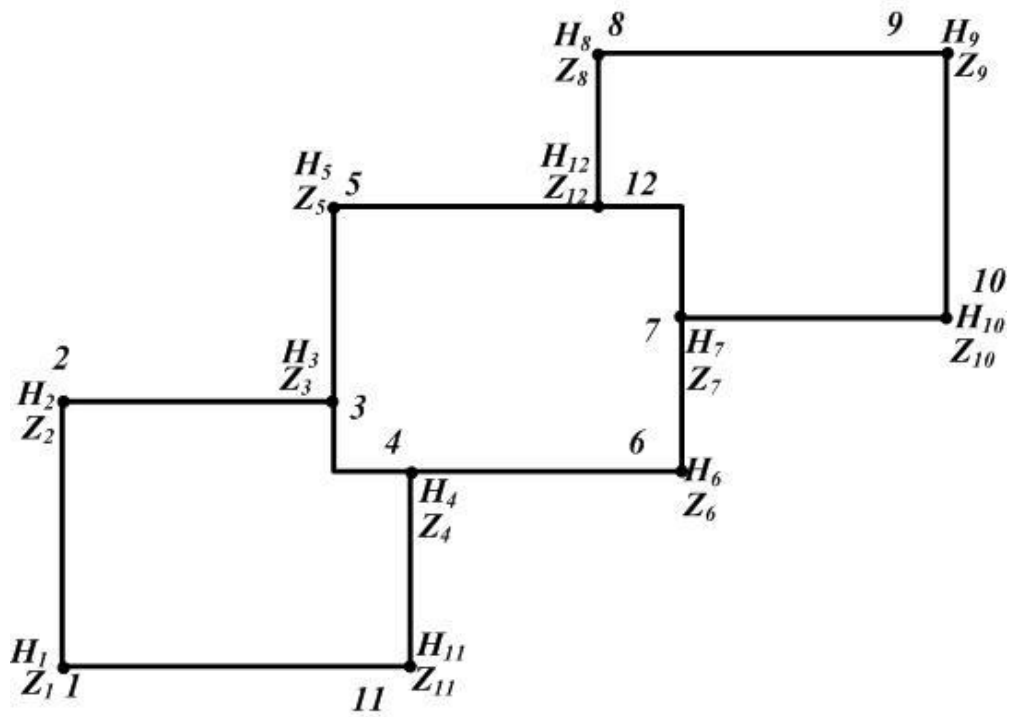
Таблиця 2.7.1 – Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі

Номер кільця	Номер	Довжина $l$ лілянки, м	Попередній розподіл витрат					Перше виправлення					Друге виправлення					Третє виправлення					
			$q$ , л/с	$D$ , м	$V$ , м/с	$100$ $0i$	$h=il$ , м	$Sq=h/q$	$\Delta q'$	$q'$	$100$ $0i$	$h=i$ $l$	$Sq=h/q$	$\Delta q''$	$q''$	$100$ $0i$	$h=il$	$Sq=h/q$	$\Delta q'''$	$q'''$	$100$ $0i$	$h=il$	$v$
1	2-3	600	36,6 4	20 0	1,1 3	11	+6,6	0,18	+3, 64	35,67	10, 5	+6, 3	0,177	+2, 79	37,33	11, 5	+6,9	0,185	+0, 84	37,56	11, 54	+6,9 8	1,16
									- 4,6 1					- 1,1 3					- 0,6 1				
	3-4	720	355, 88	60 0	1,2 6	3,2 9	+2,3 7	0,007	+3, 64	362,9 2	3,4 2	+2, 46	0,007	+2, 79	362,2 7	3,4	+2,45	0,007	+0, 84	362,2 3	3,4	+2,4 5	1,28
									+3, 4					- 3,4 4					- 0,8 8				
	1-2	720	92,3 2	30 0	1,2 6	8,0 3	- 5,78	0,063	- 3,6 4	88,68	7,3 4	- 5,2 8	0,059	- 2,7 9	85,89	7,0 3	-5,06	0,059	- 0,8 4	85,06	6,9	- 4,97	1,17
	1-4	600	142, 35	35 0	1,4 5	8,0 0	- 5,28	0,037	- 3,6 4	138,7 1	8,4	- 5,0 4	0,036	- 2,7 9	135,9 2	7,9 5	-4,77	0,035	- 0,8 4	135,0 8	7,9 6	- 4,78	1,38
							$\Delta h=-2,09$ $\Sigma=0,287$						$\Delta h=-1,56$ $\Sigma=0,279$					$\Delta h=-0,48$ $\Sigma=0,286$				$\Delta h=-0,32$	
							$\Delta q=\Delta h/2\Sigma=3,64$						$\Delta q=1,56/(2\cdot 0,279)$ $=2,79$					$\Delta q=0,48/(2\cdot 0,286)$ $=0,84$					

2	4-5	670	213,53	450	1,34	5,43	+3,64	0,017	-3,4	210,13	5,23	+3,5	0,017	+3,44	213,57	5,41	+3,62	0,017	+0,88	214,45	5,45	+3,65	1,34
	5-6	720	160,85	400	1,27	5,63	+4,05	0,025	-3,4	157,45	5,43	+3,91	0,025	+3,44	160,89	5,67	+4,08	0,025	+0,88	161,77	5,73	+4,12	1,28
	3-6	670	85,49	300	1,17	6,90	-4,62	0,054	+3,4	94,8	8,52	-5,7	0,06	-3,44	92,25	8,07	-5,41	0,059	-0,88	91,91	8,01	-5,36	1,26
	3-4	720	355,88	600	1,26	3,29	-2,37	0,007	+3,4	362,92	3,42	-2,46	0,007	-3,44	362,27	3,45	-2,48	0,007	-0,88	362,23	3,4	-2,45	1,28
							$\Delta h=0,70$ $\Sigma=0,103$					$\Delta h=-0,75$ $\Sigma=0,109$					$\Delta h=-0,19$ $\Sigma=0,108$					$\Delta h=-0,05$	
							$\Delta q=0,7/(2 \cdot 0,103)$ $=3,4$					$\Delta q=0,75/(2 \cdot 0,109)$ $=3,44$					$\Delta q=0,19/(2 \cdot 0,108)$ $=0,88$						
3	3-8	900	122,13	350	1,25	6,5	+5,91	0,048	+4,61	120,83	6,37	+5,8	0,048	+1,13	121,07	6,4	+5,82	0,048	+0,61	121,14	6,4	+5,82	1,24
	8-9	600	15,78	150	0,88	9,95	+5,97	0,378	+4,61	20,39	15,65	+9,39	0,46	+1,13	21,52	17,2	+10,32	0,478	+0,61	22,13	18,2	+10,92	1,21

	2-3	600	36,6 4	20 0	1,1 3	11	-6,6	0,18	- 4,6 1	35,57	10, 5	-6,3	0,177	- 1,1 3	37,33	11, 5	-6,9	0,185	- 0,6 1	37,56	11, 64	- 6,98	1,16
	2-9	900	43,1 1	20 0	1,3 3	15, 2	- 13,8 3	0,321	- 4,6 1	38,5	12, 2	- 11, 1	0,288	- 1,1 3	37,37	11, 5	- 10,46	0,28	- 0,6 1	36,76	11, 16	- 10,1 5	1,15
								$\Delta h=8,55$ $\Sigma=0,927$					$\Delta h=-2,21$ $\Sigma=0,973$					$\Delta h=-1,22$ $\Sigma=0,992$				$\Delta h=-0,39$	
								$\Delta q=8,55/(2 \cdot 0,927)$ )=4,61					$\Delta q=2,21/(2 \cdot 0,973)$ )=1,13					$\Delta q=1,22/(2 \cdot 0,992)$ =0,61					
4	3-6	670	85,4 9	30 0	1,1 7	6,9	+4,6 2	0,054	+5, 91	94,8	8,5 2	+5, 7	0,06	+0, 89	92,25	8,0 7	+5,41	0,059	+0, 54	91,91	8,0 1	+5,3 7	1,26
									+3, 4					- 3,4 4					- 0,8 8				
	6-7	900	157, 8	40 0	1,2 3	5,3 3	+4,8 5	0,031	+5, 91	163,7 1	5,8 8	+5, 35	0,033	+0, 89	164,6	5,9 4	+5,4	0,033	+0, 54	165,1 4	5,9 8	+5,4 4	1,30
	7-8	670	21,3 2	15 0	1,1 8	17, 2	- 11,5 2	0,54	- 5,9 1	15,41	9,2 8	- 6,2 2	0,404	- 0,8 9	14,52	8,2 9	-5,55	0,382	- 0,5 4	13,98	7,7 7	-5,2	0,77

3-8	900	122,13	350	1,25	6,5	-5,91	0,048	-5,91	120,83	6,37	-5,8	0,048	-0,89	121,07	6,4	-5,82	0,048	-0,54	121,14	6,4	-5,82	1,24
							$\Delta h = -7,96$ $\Sigma = 0,673$					$\Delta h = -0,97$ $\Sigma = 0,545$					$\Delta h = 0,56$ $\Sigma = 0,552$					$\Delta h = -0,21$
							$\Delta q = 7,96 / (2 \cdot 0,673) = 5,91$					$\Delta q = 0,97 / (2 \cdot 0,545) = 0,89$					$\Delta q = 0,56 / (2 \cdot 0,552) = 0,54$					

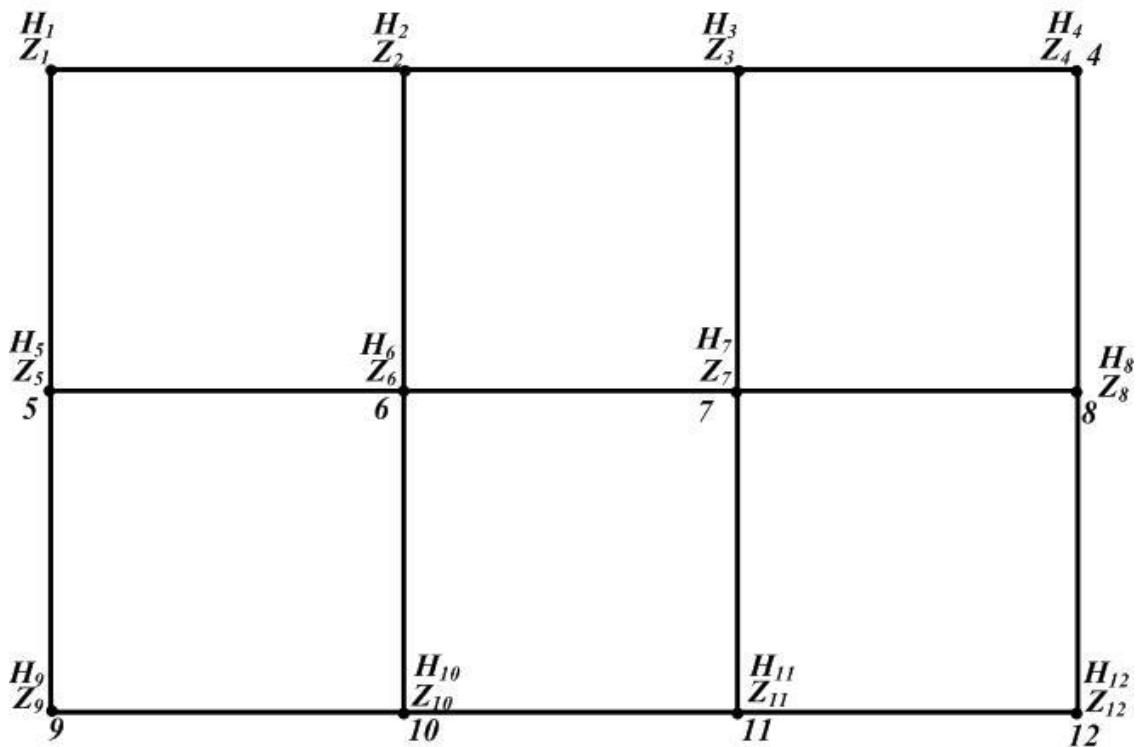


$H_1 \div H_{12}$  – вільні напори;  $Z_1 \div Z_{12}$  – геодезичні позначки місцевості

Рисунок 2.7.1.1 – Розрахункова схема мережі №1 для завдання № 15.1

**Завдання № 15.2.** Для кільцевої мережі №2, яка показана на рис. 2.7.1.2, побудувати п'єзометричні лінії та визначити кількість вузлів живлення.

**Вихідні дані.** Чисельні значення необхідних величин прийняти за табл. А.8 додатка А.

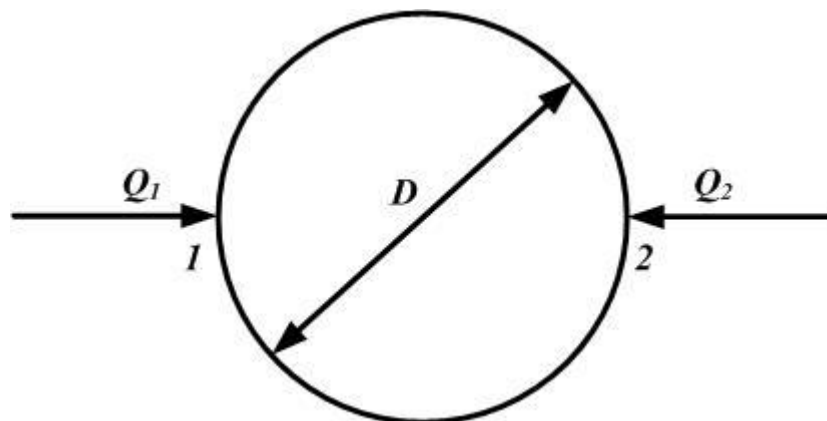


$H_1 \div H_{12}$  – вільні напори;  $Z_1 \div Z_{12}$  – геодезичні позначки місцевості

Рисунок 2.7.1.2 – Розрахункова схема мережі №2 для завдання № 15.1

**Завдання № 15.3.** Для кільцевої мережі №3, яка показана на рис. 2.7.1.3, визначити межі зон живлення, якщо розбір з мережі рівномірно розподілений.

**Вихідні дані.** Чисельні значення необхідних величин прийняти за табл. А.8 додатка А.

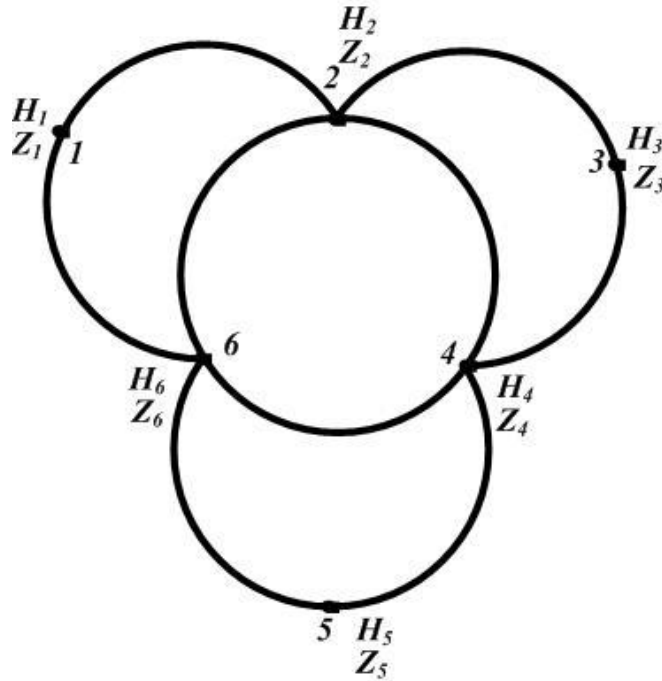


$Q_1 \div Q_{12}$  – витрати води

Рисунок 2.7.1.3 – Розрахункова схема мережі №3 для завдання № 15.3

**Завдання № 16.1.** Показати напрямок руху води і визначити кількість точок живлення для кільцевої водопровідної мережі №4, яка показана на рис. 2.7.1.4.

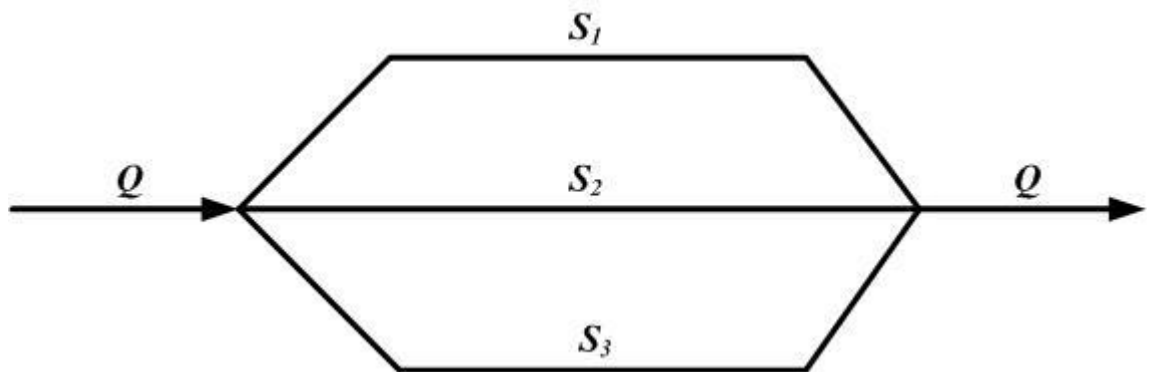
**Вихідні дані.** Чисельні значення необхідних величин прийняти за табл. А.8 додатка А.



$H_1 \div H_6$  – вільні напори;  $Z_1 \div Z_6$  – геодезичні позначки місцевості

Рисунок 2.7.1.2 – Розрахункова схема мережі №4 для завдання № 16.1

**Завдання № 16.2.** Дана схема кільцевої мережі №5 (рис.2.7.1.5). Необхідно визначити витрату води по кожному трубопроводу.



$S_1 \div S_6$  – опори ділянок



Рисунок 2.7.1.2 – Розрахункова схема мережі №5 для завдання № 16.2

**Вихідні дані.** Чисельні значення необхідних величин прийняти за табл. А.8 додатка А.

**Приклади рішення завдань**

**До завдання № 15.1.** Вихідні дані:  $Z_1=30$  м;  $H_1=50$  м;  $Z_2=35$  м;  $H_2=50$  м;  $Z_3=35$  м;  $H_3=55$  м;  $Z_4=35$  м;  $H_4=60$  м;  $Z_5=40$  м;  $H_5=40$  м;  $Z_6=35$  м;  $H_6=50$  м;  $Z_7=35$  м;  $H_7=47$  м;  $Z_8=40$  м;  $H_8=40$  м;  $Z_9=35$  м;  $H_9=40$  м;  $Z_{10}=Z_{11}=30$  м;  $H_{10}=50$  м;  $H_{11}=60$  м;  $Z_{12}=40$  м;  $H_{12}=20$  м.

**Рішення.** Першим етапом розв’язування цієї задачі являється розрахунок п’езометричних позначок для всіх вузлів мережі, за якими визначається напрямок руху води на ділянках. Вода рухається від більш високої

п’езометричної позначки до меншої.

Для визначення вузлів живлення необхідно перевірити кожний вузол на принципову можливість дотримання в ньому балансу витрат води, які надходять в нього і виходять з нього. Вузли, з яких витрати тільки виходять, будуть точками живлення.

П’езометричні позначки у вузлах визначаються за формулою:

$$P_i = Z_i + H_i. \tag{2.7.1.1}$$

$P_1=80$  м;  $P_2=85$  м;  $P_3=90$  м;  $P_4=95$  м;  $P_5=80$  м;  $P_6=85$  м;

$P_7=82$  м;  $P_8=80$  м;  $P_9=75$  м;  $P_{10}=80$  м;  $P_{11}=90$  м;  $P_{12}=60$  м.

Визначення точок живлення зводиться в табл. 2.7.1.1.

Замість складання табл. 2.7.1.1 можна нанести на схему мережі напрямки руху води в ділянках мережі, які дозволять відразу визначити кількість і номера вузлів живлення, якщо там, де можуть бути порушення балансу, показати стрілками вхід води.

Як видно з табл. 2.7.1.1 вузлами живлення являються вузли 4 і 8.

Таблиця 2.7.1.1– Перевірка балансу витрат у вузлах

Номер вузла	Вхід/вихід з вузла		Висновок відносно балансу витрат
	вхід від вузла	вихід до вузла	

1	11, 2	вузловий відбір	МОЖЛИВИЙ
2	3	1	МОЖЛИВИЙ
3	4	5	МОЖЛИВИЙ
4	-	3, 11, 6	не можливий
5	3	12	МОЖЛИВИЙ
6	4	7	МОЖЛИВИЙ
7	6	10, 12	МОЖЛИВИЙ
8	-	12, 9	не можливий
9	10, 8	вузловий відбір	МОЖЛИВИЙ
10	7	9	МОЖЛИВИЙ
11	4	1	МОЖЛИВИЙ
12	8, 7, 5	вузловий відбір	МОЖЛИВИЙ

**До завдання № 15.2.** Вихідні дані:  $Z_1=60$  м;  $H_1=50$  м;  $Z_2=63$  м;  $H_2=50$  м;  $Z_3=62$  м;  $H_3=30$  м;  $Z_4=57$  м;  $H_4=50$  м;  $Z_5=63$  м;  $H_5=30$  м;  $Z_6=60$  м;  $H_6=20$  м;  $Z_7=57$  м;  $H_7=16$  м;  $Z_8=56$  м;  $H_8=50$  м;  $Z_9=61$  м;  $H_9=30$  м;  $Z_{10}=58$  м;  $H_{10}=50$  м;  $Z_{11}=54$  м;  $H_{11}=50$  м;  $Z_{12}=55$  м;  $H_{12}=60$  м.

Завдання вирішується аналогічно завданню № 15.1. Розрахунок зводиться в табл. 2.7.1.2.

Таблиця 2.7.1.2 – Величини п'езометричних позначок у вузлах та перевірка в них балансів витрат (схема №2)

Номер вузла	П'езометрична позначка у вузлі, м	Вхід/вихід з вузла		Висновок відносно балансу витрат
		вхід від вузла	вихід до вузла	
1	110	5, 2	вузловий відбір	МОЖЛИВИЙ
2	113	-	1, 6, 3	не можливий
3	92	2, 4	7	МОЖЛИВИЙ
4	107	8	3	МОЖЛИВИЙ
5	113	-	1, 6, 9	не можливий
6	80	5, 10, 2	7	МОЖЛИВИЙ

7	73	6, 11, 3, 8	вузловий відбір	можливий
8	106	12	7, 4	можливий
9	91	5, 10	вузловий відбір	можливий
10	108	-	9, 6, 11	не можливий
11	104	10, 12	7	можливий
12	115	-	11, 8	не можливий

Вузлами живлення являються вузли 2, 5, 10, 12.

**До завдання № 15.3.** Вихідні дані:  $D=1$  км;  $Q_1=1$  м<sup>3</sup>/с;  $Q_2=2$  м<sup>3</sup>/с.

**Рішення.** Витрати води, які надходять в мережу, повністю розбираються на шляху транспортування води, тому

$$Q_1 = Q_2 = Q_{\text{шл.}}, \quad (2.7.1.2)$$

де  $Q_{\text{шл.}}$  – шляхова витрата води.

З іншого боку

$$Q_{1\text{шл.}} = q_{\text{пит.}} \cdot l_1, \quad Q_{2\text{шл.}} = q_{\text{пит.}} \cdot l_2, \quad (2.7.1.3)$$

де  $q_{\text{пит.}}$  – питома витрата;

$l_1$  і  $l_2$  – довжина зон живлення відповідно від витрат  $Q_1$  і  $Q_2$ ;

$Q_{1\text{шл.}}$  і  $Q_{2\text{шл.}}$  – шляхові витрати в мережі від першого і другого джерела відповідно.

$$Q_1 / Q_2 = Q_{1\text{шл.}} / Q_{2\text{шл.}} = (q_{\text{пит.}} \cdot l_1) / (q_{\text{пит.}} \cdot l_2) = l_1 / l_2 \quad (2.7.1.4)$$

Враховуючи, що загальна довжина мережі становить

$$l_1 + l_2 = \pi \cdot D, \quad (2.7.1.5)$$

знаходимо

$$l_1 = \frac{Q_1 \cdot \pi \cdot D}{Q_2 + Q_1} = \frac{1 \cdot 3,14 \cdot 1}{2 + 1} = 1,05 \text{ км.}$$

Тоді

$$l_2 = \pi \times D - l_1 = 3,14 \cdot 1 - 1,05 = 2,09 \text{ км.}$$

Таким чином, зона живлення від джерела у вузлі 1 буде знаходитись на відстані  $1,05:2=0,525$  км в кожную сторону, а від джерела у вузлі 2 – на відстані по 1,045 км в обидві сторони.

**До завдання № 16.1.** Вихідні дані:  $Z_1=65$  м;  $H_1=30$  м;  $Z_2=60$  м;  $H_2=40$  м;  $Z_3=57$  м;  $H_3=38$  м;  $Z_4=55$  м;  $H_4=38$  м;  $Z_5=50$  м;  $H_5=45$  м;  $Z_6=56$  м;  $H_6=36$  м.

**Рішення.** Завдання розв'язується аналогічно завданням № 15.1 і № 15.2. Розрахунок зводиться в табл. 2.7.1.5.

Таблиця 2.7.1.5 – Величини п'езометричних позначок у вузлах і перевірка в них балансу витрат (схема мережі №4)

Номер вузла	П'езометрична позначка в вузлі, м	Вхід/вихід з вузла		Висновок відносно балансу витрат
		вхід від вузла	вихід до вузла	
1	95	2	6	можливий
2	100	-	1, 3	не можливий
3	95	2	4	можливий
4	93	2, 3	6	можливий
5	95	-	6	не можливий
6	92	5, 4, 2, 1	вузловий відбір	можливий

Вузлами живлення являються вузли 2 і 5.

**До завдання № 16.2.** Вихідні дані:  $Q=1$  м<sup>3</sup>/с;  $S_1=15,0$ ;  $S_2=20,0$ ;  $S_3=10,0$ .

**Рішення.** Мережа, яка показана на рис. 2.7.1.7 – кільцева. З урахуванням того, що всі ділянки мережі мають загальний початковий і загальний кінцевий вузли, можна скласти наступні рівняння:

$$S_1 \times Q_1^2 = S_2 \times Q_2^2 = S_3 \times Q_3^2. \quad (2.7.1.6)$$

Звідси запишемо

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{Q_2^2}{Q_1^2}, \quad \frac{S_2}{S_3} = \frac{Q_3^2}{Q_2^2} \quad i \quad \frac{S_1}{S_3} = \frac{Q_3^2}{Q_1^2}, \quad (2.7.1.7)$$

Визначимо витрати для кожної з ділянок мережі:

$$Q_1 = Q_2 \sqrt{\frac{S_2}{S_1}} = 1,154 \cdot Q_2, \quad Q_3 = Q_2 \sqrt{\frac{S_2}{S_3}} = 1,414 \cdot Q_2, \text{ тоді загальна витрата}$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q, \text{ отже } 1,154 \times Q_2 + Q_2 + 1,414 = 1, \text{ звідки}$$

$$3,568 Q_2 = 1, \quad Q_2 = 0,28 \text{ м}^3/\text{с}, \quad Q_1 = 0,323 \text{ м}^3/\text{с}; \quad Q_3 = 0,396 \text{ м}^3/\text{с}.$$

### Питання для самоконтролю

1. З якою метою виконують гідравлічні розрахунки водопровідних мереж?
2. Як визначити розташування невідгідного вузла на водопровідній мережі?
3. Як розраховуються п'єзометричні позначки у вузлах мережі?
4. Як визначаються вільні напори у вузлах водопровідної мережі, і в яких межах вони повинні бути?
5. Які види п'єзометричних карт існують?
6. За якими принципами розраховуються п'єзометричні карти?
7. Як застосовують результати аналізу гідравлічних розрахунків водопровідних мереж?
8. Який параметр водопровідних мереж виправляється на кожному етапі її ув'язування?
9. За якими умовами визначаються діаметри ділянок кільцевих мереж?
10. Як визначити значення вільного напору?