

Лекція 8. Гідравлічний розрахунок кільцевих водопровідних мереж

План

1. Основи теорії розрахунку кільцевих водопровідних мереж.
2. Порядок розрахунку кільцевих водопровідних мереж.
3. Суть “ув’язки” за методом проф. В.Г. Лобачова
4. Інженерний спосіб “ув’язки” за методом проф. В.Г. Лобачова.
5. Метод “ув’язки” проф. В.П. Сироткіна.
6. Суть “ув’язки” за методом М.М. Андріяшева.
7. Метод ув’язки проф. Білана А.Є.

Розрахунок кільцевих мереж суттєво відрізняється від розрахунку тупикових мереж. Складність задачі визначається тим, що в кільцевій мережі можна намітити безліч способів розподілу транзитних потоків.

При розрахунку кільцевих мереж невідомими являються:

- діаметри окремих ділянок **D**;
- розрахункові витрати **q** окремих ділянок;
- втрати напору **h** в кожній ділянці.

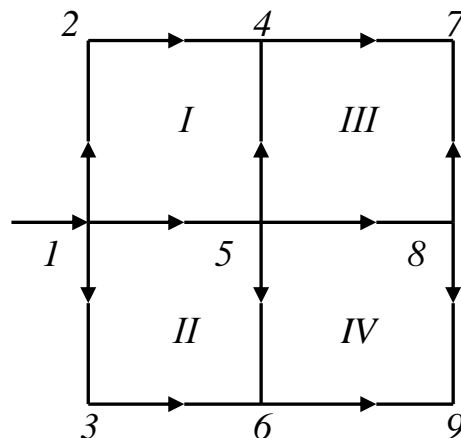


Рисунок 8.1 – Схема руху води в кільцевій мережі

Враховуючи, що втрати напору і діаметри зв’язані між собою, можна рахувати, що для кожної ділянки мережі невідомими являються дві величини. Якщо позначити загальну кількість ділянок через **P**, то загальна

кількість невідомих в кільцевій мережі буде рівною $2P$. Для точного розв'язання задачі необхідно скласти таку ж кількість рівнянь. Аналізуючи гідравліку роботи кільцевої водопровідної мережі можна встановити, що рух води в ній описується двома умовами:

- умовою нерозривності суцільності потоку;
- умовою гідродинамічної рівноваги.

Ці умови аналогічні законам Кірхгофа для кільцевих електричних мереж.

За умовами нерозривності суцільності потоку кількість води, яка притікає до вузла, повинна бути рівною кількості води, яка витікає з вузла.

Якщо умовно рахувати витрати $Q_{\text{вузл}}$, які притікають до вузла, позитивними, а витрати, які виходять з вузла, негативними, то першу умову можна записати так:

$$\sum q_{\text{вузл}} = 0, \quad (1)$$

тобто, алгебраїчна сума витрат для любого вузла мережі дорівнює нулю.

За умовами гідродинамічної рівноваги в кожному замкнутому контурі мережі (кільці) алгебраїчна сума втрат напору рівна нулю:

$$\sum h_k = 0, \quad \sum S q^2 = \sum k Q_i^\beta l_i / D_i^m = 0. \quad (2)$$

При цьому умовно приймемо втрати напору в ділянках, в яких вода рухається за годинниковою стрілкою, за **позитивні**, а проти – **негативні**. Розподіл потоків в кільцевій мережі, при якому виконується рівняння (5), відповідає мінімуму кількості енергії, яка витрачається на подолання втрат на тертя в трубах.

Подивимось, яку кількість рівнянь з $2p$ невідомими дозволяють скласти ці умови. Кількість рівнянь, які задовольняють першій умові, буде дорівнювати кількості вузлів m без одного, тобто $m - 1$, тому, що для останнього вузла рівняння (4) перетворюється в тотожність і буде завжди виконуватись.

Кількість рівнянь, які задовольняють умові (5) дорівнює кількості контурів n .

Всяка водопровідна мережа являє собою граф того або другого типу. По теоремі Ейлера для любого замкнутого графа співвідношення між числом вузлів, кілець і ділянок дорівнює:

$$n + m = p + 1$$

або

$$p = n + m - 1$$

Таким чином, при кількості необхідних $2P$ рівнянь можна скласти тільки їх половину, тобто,

$$n+m-1=p.$$

Тоді для розв'язання задачі необхідно задаватися величинами P невідомих (наприклад, витратами або діаметрами). Якщо задамося діаметрами, то задача зведеться до розв'язання системи $n+m-1$ квадратних рівнянь відносно витрат ділянок q .

Враховуючи вище сказане рекомендується слідуєчий порядок розрахунку кільцевої мережі:

- а) Накреслити схему мережі і пронумерувати вузли та ділянки.
- б) Визначити питомі витрати окремих районів.
- в) Визначити шляхові витрати на всіх ділянках.
- г) Визначити вузлові витрати.
- д) Намітити стрілками бажаний напрям потоків води в окремих лініях.
- е) Визначити розрахункові витрати води для всіх ділянок, зберігаючи умову

$$\sum q_{\text{вузл.}} = 0,$$

і виходячи з принципу подачі транзитних витрат для живлення віддалених районів найбільш короткими шляхами, а також враховуючи взаємну заміняємість ділянок (діаметри ліній, які попадають в перетин, що перпендикулярний до осі мережі не повинні

сильно відрізнятися). Крім того, до вузлів з великими зосередженими витратами вода повинна подаватися не менше ніж двома шляхами.

ж) На основі попередньо намічених витрат для кожної ділянки визначити їх діаметри, користуючись таблицями граничних витрат.

з) Виконують власне гідравлічний розрахунок (“ув’язку”) мережі, тобто визначають величини дійсних витрат по лініях мережі при прийнятих діаметрах. Така ув’язка необхідна тому, що попередній розподіл витрат, а отже, і діаметрів проводився без дотримання умови $\sum h_k = 0$.

Тому, якщо визначити за наміченими витратами і прийнятими діаметрами втрати напору в усіх ділянках і скласти для кожного кільця рівняння виду $\sum h_k = 0$, то для кожного кільця буде одержана деяка величина, $\Delta h_k \neq 0$ яка називається “нев’язкою”. За знаком і величиною невід’язки Δh_k можна судити про те, які ділянки кільця і в якій мірі перевантажені або недовантажені. Для усунення цієї невід’язки треба недовантажені ділянки довантажити, а перевантажені розвантажити. Цей процес корегування розрахункових витрат води в ділянках мережі і називається **гідравлічною ув’язкою мережі**. Процес ув’язки мережі дуже трудоміський. Тому при ручних розрахунках їх проводять тільки до тих пір, поки невід’язка стане достатньо малою, щоб бути прийнятною для розрахунку напорів насосів, висоти водонапірної башти і т.п. Такою допустимою невід’язкою рахують невід’язку $\Delta h = 0,5\text{м}$ для кожного кільця і $\Delta h = 1-1,5\text{м}$ для охоплюючого мережу контура.

Розглянемо способи ув’язки кільцевих мереж. Їх існує багато. Вони відрізняються один від одного методом визначення ув’язувальних витрат до попередньо намічених витрат, способом визначення втрат напору і оформленням результатів. Можна відзначити наступні способи ув’язки водопровідних мереж: спосіб інтуїтивних спроб Н.Н.Генієва (1930р.), метод

М.М.Андріяшева (1932р.), метод В.Г.Лобачова (1936р.), метод Харді Кроса (1936р.), метод В.П.Сироткіна (1951р.). Розберемо деякі з цих способів.

Метод ув'язки кільцевих мереж В.Г.Лобачова

Розглянемо однокільцеву мережу (рис.37).

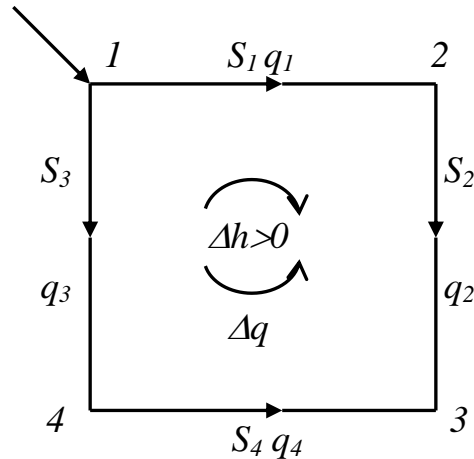


Рисунок 8.2 – Схема однокільцевої мережі

Припустимо, що попередньо намічені витрати q₁, q₂, q₃, q₄ не дають ув'язки кільця, тобто

$$S_1q_1^2 + S_2q_2^2 - S_3q_3^2 - S_4q_4^2 = \Delta h \neq 0 .$$

Нехай $\Delta h > 0$. Тоді ділянки 1-2 та 2-3 перевантажені, а ділянки 1- 4 і 3-4 недовантажені. Щоб ув'язати втрати напору в кільці, необхідно ділянки 1-2 і 2-3 розвантажити, а ділянки 1-4 і 3-4 довантажити. При цьому умова $\sum q=0$ не повинна порушуватись. Цього можна досягнути, якщо витрати на ділянках 1-2 і 2-3 зменшити на деяку величину, а витрати на ділянках 1-4 і 3-4 збільшити на ту ж величину Δq . Назвемо цю величину ув'язувальною витратою або поправочною витратою. Як видно із схеми, ув'язувальна витрата пропускається по лініям кільця із знаком протилежним знаку нев'язки. Запишемо рівняння нев'язки з виправленими витратами:

$$S_1(q_1 - \Delta q)^2 + S_2(q_2 - \Delta q)^2 - S_3(q_3 + \Delta q)^2 - S_4(q_4 + \Delta q)^2 = 0 ,$$

$$S_1(q_1^2 - 2q_1\Delta q + \Delta q^2) + S_2(q_2^2 - 2q_2\Delta q + \Delta q^2) - S_3(q_3^2 + 2q_3\Delta q + \Delta q^2) - S_4(q_4^2 + 2q_4\Delta q + \Delta q^2) = 0 .$$

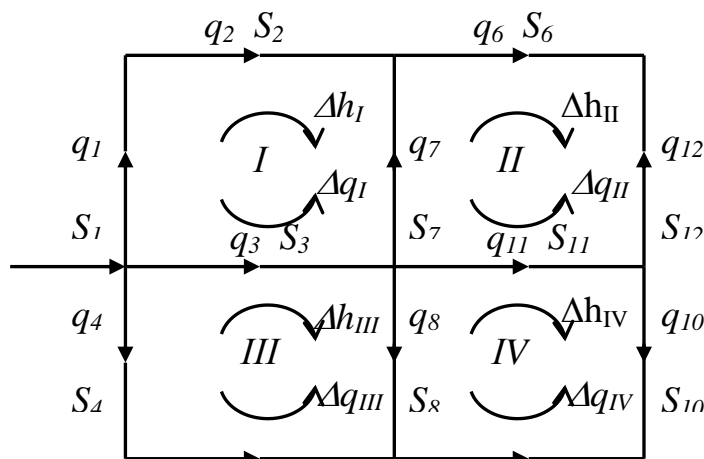
Враховуючи, що Δq мала, її квадрат буде ще меншим, тому членами, які мають Δq^2 , знехтуємо. Тоді

$$\Delta q = \frac{S_1 q_1^2 + S_2 q_2^2 - S_3 q_3^2 - S_4 q_4^2}{2(S_1 q_1 + S_2 q_2 + S_3 q_3 + S_4 q_4)} = \frac{\Delta h}{2\Sigma(Sq)}$$

Таким чином, для одного кільця ув'язувальна витрата може бути легко знайдена. Після виправлення витрат одержують Δh , як правило, в межах допустимого. Нові витрати будуть

$$q'_1 = q_1 - \Delta q; \quad q'_2 = q_2 - \Delta q; \quad q'_3 = q_3 + \Delta q; \quad q'_4 = q_4 + \Delta q.$$

Розглянемо 4-кільцеву мережу (рис.10.3). Запишемо систему рівнянь для нев'язок в кільцях



$$\begin{cases} \Delta h_I = S_1 q_1^2 + S_2 q_2^2 - S_3 q_3^2 - S_4 q_4^2, \\ \Delta h_{II} = S_6 q_6^2 + S_7 q_7^2 - S_{11} q_{11}^2 - S_{12} q_{12}^2, \\ \Delta h_{III} = S_3 q_3^2 + S_8 q_8^2 - S_4 q_4^2 - S_5 q_5^2, \\ \Delta h_{IV} = S_{11} q_{11}^2 + S_{10} q_{10}^2 - S_8 q_8^2 - S_9 q_9^2. \end{cases}$$

Допустимо, що нев'язки в кільцях мають позитивний знак $\Delta h > 0$.

Виправимо витрати, зважаючи на те, що суміжні лінії повинні мати поправку в витратах від обох кілець. Тоді одержимо:

$$\begin{aligned} q'_1 &= q_1 - \Delta q_I; & q'_2 &= q_2 - \Delta q_I; & q'_3 &= q_3 + \Delta q_I - \Delta q_{III}; & q'_7 &= q_7 + \Delta q_I - \Delta q_{II}; \\ q'_6 &= q_6 - \Delta q_{II}; & q'_{12} &= q_{12} + \Delta q_{II}; & q'_{11} &= q_{11} + \Delta q_{II} - \Delta q_{IV}; & q'_4 &= q_4 + \Delta q_{III}; \end{aligned}$$

$$q'_{5}=q_{5}+\Delta q_{III}; \quad q'_{8}=q_{8}-\Delta q_{III}+\Delta q_{IV}; \quad q'_{10}=q_{10}-\Delta q_{IV}; \quad q'_{9}=q_{9}+\Delta q_{IV} .$$

Підставимо ці значення в приведені вище рівняння:

$$\begin{cases} S_1 (q_1 - \Delta q_I)^2 + S_2 (q_2 - \Delta q_I)^2 - S_3 (q_3 + \Delta q_I - \Delta q_{III})^2 - S_7 (q_7 + \Delta q_I - \Delta q_{II})^2 = 0, \\ S_7 (q_7 + \Delta q_I - \Delta q_{II})^2 + S_6 (q_6 - \Delta q_{II})^2 - S_{11} (q_{11} + \Delta q_{II} - \Delta q_{IV})^2 - S_{12} (q_{12} + \Delta q_{II})^2 = 0, \\ S_3 (q_3 - \Delta q_{III} + \Delta q_I)^2 + S_8 (q_8 - \Delta q_{III} + \Delta q_{IV})^2 - S_4 (q_4 + \Delta q_{III})^2 - S_5 (q_5 + \Delta q_{III})^2 = 0, \\ S_{11} (q_{11} + \Delta q_{II} - \Delta q_{IV})^2 + S_{10} (q_{10} - \Delta q_{IV})^2 - S_8 (q_8 - \Delta q_{III} + \Delta q_{IV})^2 - S_9 (q_9 + \Delta q_{IV})^2 = 0. \end{cases}$$

Зневажаючи малими другого порядку ($\Delta q^2, \Delta q_i \times \Delta q_k$) і згрупувавши члени, одержимо:

$$\begin{aligned} (S_1 q_1^2 + S_2 q_2^2 - S_3 q_3^2 - S_7 q_7^2) - 2(S_1 q_1 + S_2 q_2 + S_3 q_3 + S_7 q_7) \Delta q_I + 2S_3 q_3 \Delta q_{III} \\ + 2S_7 q_7 \Delta q_{II} = 0, \\ (S_7 q_7^2 + S_6 q_6^2 - S_{11} q_{11}^2 - S_{12} q_{12}^2) - 2(S_7 q_7 + S_6 q_6 + S_{11} q_{11} + S_{12} q_{12}) \Delta q_{II} + 2S_{11} q_{11} \Delta q_{IV} + \\ + 2S_7 q_7 \Delta q_I = 0, \\ (S_3 q_3^2 + S_8 q_8^2 - S_4 q_4^2 - S_5 q_5^2) - 2(S_3 q_3 + S_8 q_8 + S_4 q_4 + S_5 q_5) \Delta q_{III} + 2S_3 q_3 \Delta q_I \\ + 2S_8 q_8 \Delta q_{IV} = 0, \\ (S_{11} q_{11}^2 + S_{10} q_{10}^2 - S_8 q_8^2 - S_9 q_9^2) - 2(S_{11} q_{11} + S_{10} q_{10} + S_8 q_8 + S_9 q_9) \Delta q_{IV} + 2S_{11} q_{11} \Delta q_{II} \\ + 2S_8 q_8 \Delta q_{III} = 0. \end{aligned}$$

Вирази, які стоять в перших дужках рівнянь являють собою величини нев'язок, одержані в кожному кільці при першопочатковому розподіленні витрат ($\Delta h_I, \Delta h_{II}, \Delta h_{III}, \Delta h_{IV}$). Коефіцієнти при невідомих Δq_i , індекс яких відповідає номеру кільця являються виразами типу $2\sum(Sq)$, де S і q – відповідно опір і витрати для всіх ліній розглядаємого кільця. Тоді всі рівняння можна записати так:

$$\begin{cases} \Delta h_1 - 2\sum(Sq)_I \Delta q_I + 2S_3q_3\Delta q_{III} + 2S_7q_7 \Delta q_{II} = 0, \\ \Delta h_{II} - 2\sum(Sq)_{II} \Delta q_{II} + 2S_7q_7\Delta q_I + 2S_{11}q_{11} \Delta q_{IV} = 0, \\ \Delta h_{III} - 2\sum(Sq)_{III} \Delta q_{III} + 2S_3q_3\Delta q_I + 2S_8q_8 \Delta q_I = 0, \\ \Delta h_{IV} - 2\sum(Sq)_{IV} \Delta q_{IV} + 2S_{11}q_{11}\Delta q_{II} + 2S_8q_8 \Delta q_{III} = 0. \end{cases}$$

Розв'язуючи цю систему відносно невідомих $\Delta q_I, \Delta q_{II}, \Delta q_{III}, \Delta q_{IV}$, знайдемо потрібні виправні витрати, які приводять до ув'язки мережі.

Подібну систему рівнянь можна скласти для будь-якої кількості кілець, виходячи з того, що кожному i -му кільцю відповідає одне рівняння, в яке входить:

- вільний член Δh_i , рівний величині нев'язки кільця для попереднього розподілення витрат;
- член, який містить вишукувану ув'язувальну витрату даного кільця Δq_i з коефіцієнтом тиску $2\sum(Sq)_i$, де складання розповсюджується на всі ділянки даного кільця;
- члени, які містять ув'язувальні витрати кілець, суміжних з даним кільцем, з коефіцієнтами виду $2\sum(Sq)$, де S і q – опір та витрата (намічено попередньо) кожної з ліній, які відокремлюють дане кільце від суміжних з ним кілець. При великій кількості кілець система рівнянь буде складною. Тому проф.В.Г.Лобачов для розв'язування одержаної системи запропонував метод, який базується на методі послідовного наближення. Суть цього методу полягає в тому, що, якщо відкинути з рівнянь члени, які визначають зв'язок кілець з сусідніми кільцями, то одержимо систему незалежних рівнянь. Наприклад, для розглянутої мережі це будуть такі рівняння:

$$\begin{aligned} \Delta h_1 - 2\sum(Sq)_I\Delta q_I &= 0, \\ \Delta h_{II} - 2\sum(Sq)_{II}\Delta q_{II} &= 0, \\ \Delta h_{III} - 2\sum(Sq)_{III}\Delta q_{III} &= 0, \\ \Delta h_{IV} - 2\sum(Sq)_{IV}\Delta q_{IV} &= 0, \end{aligned}$$

які дозволяють визначити 1 наближення поправочних витрат:

$$\begin{aligned} \Delta q_I &= \Delta h_1/2\sum(Sq)_I, \\ \Delta q_{II} &= \Delta h_{II}/2\sum(Sq)_2, \end{aligned}$$

$$\Delta q_{III} = \Delta h_{III} / 2 \sum (Sq)_3 ,$$

$$\Delta q_{IV} = \Delta h_{IV} / 2 \sum (Sq)_4 ,$$

або в загальному вигляді

$$\Delta q_i = \Delta h_i / 2 \sum (Sq)_i .$$

При неквадратичній залежності типу $h = Sq^\beta$:

$$\Delta q_i = \Delta h_i / (2 \sum (Sq^{\beta-1}))_i .$$

Відповідно з цими витратами вносяться поправки в попередньо призначені витрати. По виправленим витратам знаходяться нові поправки і т.д. до одержання допустимих нев'язок. Для практичних розрахунків проф. В.Г.Лобачов рекомендував табличну форму розрахунків. Розрахунок може вестись з використанням питомого опору S_0 або питомих втрат напорі i .

Таблиця 8.1 – Розрахунок кільцевої водопровідної мережі

№ кіл	№ діл	L діл м	Попередній розподіл витрат					1 виправлення				2 виправлення						
			q л/с	D мм	Δq	q	Sq	H= =Sq ²	V м/с	K ₁	S ₀	S= =S ₀ K ₁ L	Sq	h= =Sq ²	Δq	q	Sq	H= =Sq ²
1	2	3	4	5	12	13	14	15	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Продовження табл.10.1

3 виправлення				n виправлення				Поправка на швидкість				
S ₀	S= =S ₀ K ₁ L	Sq	h= =Sq ²	Δq	q	Sq	H= =Sq ²	V	K ₁	S	Sq	h
16	17	18	19	19+x	20+x	21+x	22+x	23+x	24+x	25+x	26+x	27+x

Якщо користуватися таблицями Ф.А.Шевельова, то втрати напорі визначаються за формулою

$$h = il.$$

Для визначення ув'язувальної витрати треба мати $\sum Sq$. Враховуючи, що втрати напорі можна ще визначити за формулою

$$h = Sq^2,$$

необхідний добуток для кожної ділянки можна визначити після обчислення втрат напорі h :

$$Sq = h / q.$$

Тоді для користування таблицею в ній, починаючи з колонки №8 необхідно ввести слідуєчі колонки:

Таблиця 8.2 – Заміна колонок в таблиці 8.1.

Попередній розподіл			1 виправлення					Поправка на швидкість		
i, мм/м	h=iL, м	Sq=h/d	Δq	q	i	h=iL	Sq	V	K ₁	h ₁ =K ₁ h
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Вада цього методу – відносна трудомісткість. Перевага методу – мережа може бути ув’язана малодосвідченим проектувальником.

Метод ув’язки кільцевих мереж В.П. Сироткіна

Спосіб В.П. Сироткіна відрізняється від способу В.Г. Лобачова тим, що Сироткін запропонував застосувати більш точний метод ітерації за рахунок того, що він частково враховує ті члени рівнянь, якими В.Г. Лобачов знехтував. Розглянемо складену раніше систему рівнянь для 4-х кільцевої мережі. З кожного з них можна знайти ув’язувальні витрати

$$\Delta q_1 = \Delta h_1 / (2 \sum (Sq)_2 + (S_3 q_3 \Delta q_{III} + S_7 q_7 \Delta q_{II}) / \sum (Sq)_1,$$

.....

$$\Delta q_{IV} = \Delta h_{IV} / (2 \sum (Sq)_{IV} + (S_8 q_8 \Delta q_{III} + S_{11} q_{11} \Delta q_{II}) / \sum (Sq)_4.$$

Величина, яка стоїть в чисельнику другого додатку являє собою суму добутків

$$\sum (Sq)_{\text{лін}} \Delta q_{\text{сум}},$$

де $(Sq)_{\text{лін}}$ – (Sq) ділильних ліній даного кільця,

$\Delta q_{\text{сум}}$ – поправочні (ув’язувальні) витрати кільця, суміжних з даним кільцем.

Позначимо

$$1 / \sum (Sq) = C.$$

Тоді ув’язувальна витрата для любого кільця рівна

$$\Delta q_{\text{п}} = 0,5 C_{\text{п}} \Delta h_{\text{п}} + C_{\text{п}} \sum (Sq)_{\text{лін}} \Delta q_{\text{сум}},$$

За цією формулою можна скласти систему рівнянь для любой кількості кільця. При складанні цієї системи рівнянь величину $\sum (Sq)_{\text{лін}} \Delta q_{\text{сум}}$ пишуть зі знаком “плюс”, коли знаки ув’язувальних витрат даного і суміжних кільця

для даної лінії різні. Коли ж знаки ув'язувальних витрат суміжних кілець для даної лінії однакові, то величину $\sum(Sq)_{\text{лін}}\Delta q_{\text{сум}}$ пишуть зі знаком “мінус”.

Одержану систему рівнянь доцільно розв'язувати, користуючись методом послідовного наближення. Наприклад, запишемо систему рівнянь для розглянутої 4-х кільцевої мережі:

$$\begin{cases} \Delta q_I = 0,5C_1\Delta h_I + C_1[S_3q_3\Delta q_{III} + S_7q_7\Delta q_{II}]; \\ \Delta q_{II} = 0,5C_2\Delta h_{II} + C_2[S_{11}q_{11}\Delta q_{IV} + S_7q_7\Delta q_I]; \\ \Delta q_{III} = 0,5C_3\Delta h_{III} + C_3[S_3q_3\Delta q_I + S_8q_8\Delta q_{IV}]; \\ \Delta q_{IV} = 0,5C_4\Delta h_{IV} + C_4[S_8q_8\Delta q_{III} + S_{11}q_{11}\Delta q_{II}]. \end{cases} \quad (6)$$

Знаходимо перше наближення $\Delta q'_I, \Delta q'_{II}, \Delta q'_{III}, \Delta q'_{IV}$. Для цього рахуємо, що другий доданок дорівнює нулю. Тоді

$$\begin{aligned} \Delta q'_I &= 0,5C_1\Delta h_I; \quad \Delta q'_{II} = 0,5C_2\Delta h_{II}; \quad \Delta q'_{III} = 0,5C_3\Delta h_{III}; \\ \Delta q'_{IV} &= 0,5C_4\Delta h_{IV}. \end{aligned}$$

Тепер одержані перші наближення величин $\Delta q'$ підставляємо в систему рівнянь (6) і знаходимо ув'язувальні витрати при другому наближенні $\Delta q''_I, \Delta q''_{II}, \Delta q''_{III}, \Delta q''_{IV}$. Знову, підставляючи ув'язувальні витрати в початкові рівняння, знаходимо $\Delta q'''_I, \Delta q'''_{II}, \Delta q'''_{III}, \Delta q'''_{IV}$ і т.д. Уточнення ув'язувальних витрат проводиться до тих пір, доки останні їх величини будуть відрізнятися від попередніх несуттєво. Тоді, якщо скорегувати витрати з врахуванням останніх ув'язувальних витрат, мережа повинна ув'язатися, тобто,

$$\sum S(Q + \Delta q)^2 \leq \Delta h_{\text{доп}}.$$

Таким чином, ув'язка мережі проводиться шляхом одноразового розв'язання системи квадратних рівнянь. Практика показує, що не завжди кінцева ув'язувальна витрата приводить до бажаного результату. Тому доводиться доув'язувати мережу за методом В.Г. Лобачова. Щоб цього не

ув'язувальної витрати по контуру, величина якої може призначатися за інтуїцією або обчислюватися, як і в методі В.Г. Лобачова:

$$\Delta q_{\Pi} = \Delta h / (2 \sum (Sq)),$$

де S і q – відповідно опір і розрахункові витрати ділянок, які входять в контур;

Δh – нев'язка в контурі.

Враховуючи, що в процесі ув'язки $\sum Sq$ окремих контурів змінюється відносно мало, можна рахувати, що для кожного розглядаємого контура при послідовно здійснюваних ув'язках (I, II і т.п.) справедливе співвідношення

$$\Delta q_1 / \Delta h_1 \approx \Delta q_{II} / \Delta h_{II} \approx \dots \approx \Delta q_n / \Delta h_n .$$

Цими співвідношеннями користуються для визначення ув'язувальних витрат при I, II і т.д. ув'язках. Для контурів, які мають близькі довжини і діаметри тих ділянок, що входять в них, визначення ув'язувальних витрат виконується за формулою

$$\Delta q = q_c \Delta h / (2 \sum h),$$

де q_c - середня величина витрат для всіх ділянок, які входять в контур,

Δh - нев'язка по контуру,

$\sum h$ сума абсолютних величин витрат напорів для всіх ділянок, які входять в контур.

Ув'язка за методом М.М. Андріяшева виконується в наступній послідовності:

- Накреслити схему водопровідної мережі на листі ватману так, щоб на ньому було місце для запису всіх характеристик (D , L , S_0 , S , v , q , h , Δh) для всіх послідовних наближень;
- Провести всі підготовчі роботи, як і в методі В.Г. Лобачова, а потім обрахувати параметри попереднього розподілу витрат і записати їх по схемі;
- Вивчити величини і знаки нев'язок попереднього розподілу витрат;

- Намітити ув'язувальні контури і виконати ув'язку. При цьому необхідно керуватися такими правилами:

- 1) Суміжні кільця з нев'язками одного знаку об'єднуються в групи і замінюються одним кільцем, яке охоплює по зовнішньому контуру всю групу.
- 2) Кільця, які об'єднуються в групи, повинні мати нев'язки, що мало відрізняються за величиною.
- 3) В першу чергу ув'язуються тільки кільця або їх групи з найбільшими за величиною нев'язками.
- 4) Ув'язка кілець з нев'язками одного знаку або груп таких кілець проводиться послідовно турами.
- 5) Всі розрахунки ведуться на схемі.

? Питання для самоконтролю

1. Якими умовами описується гідравліка роботи кільцевої водопровідної мережі?
2. Чим пояснюється необхідність використання ітераційних методів при розрахунках кільцевих водопровідних мереж?
3. Як виконується попередній розподіл води по ділянках кільцевої водопровідної мережі?
4. Виходячи з чого призначаються діаметри окремих ділянок кільцевої водопровідної мережі?
5. Для чого необхідна ув'язка кільцевої водопровідної мережі, і чим вона визивається?

Метод ув'язки проф. А.Є. Білана

Ідея методу використовує поняття інерційного напору при несталому русі рідини. Для однокільцевої мережі (рис.10.5) система рівнянь має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} (P_1-P_2)/(\rho g) &= h_{1-2} + h_{i(1-2)} \\ (P_2-P_3)/(\rho g) &= h_{2-3} + h_{i(2-3)} \\ (P_3-P_4)/(\rho g) &= h_{3-4} + h_{i(3-4)} \\ (P_4-P_1)/(\rho g) &= h_{4-1} + h_{i(4-1)} \end{aligned} \right\}$$

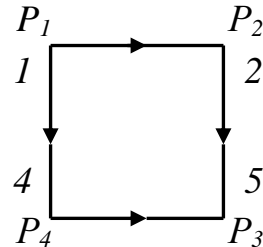


Рисунок 10.5 – Схема однокільцевої мережі

Якщо скласти ліву і праву частини системи рівнянь, одержимо

$$0 = \sum h_j + \sum h_i, \quad (7)$$

де h_j - інерційний напір, визначається за формулою

$$h_i = \frac{l_i}{g} \times \frac{dv_i}{dt};$$

або

$$h_i = \frac{4l_i}{\pi d_i^2 g} \times \frac{dQ_j}{dt} = b_i \times \Delta Q_j / \Delta t.$$

Підставивши значення h_i в рівняння (7), одержимо

$$0 = \sum h_j + \Delta Q_j / \Delta t \sum b_i..$$

Враховуючи, що $\sum h_j = \Delta h_j$ - нев'язка в кільці, і позначивши

$\Delta Q_j / \Delta t = x_j$, одержимо

$$0 = \Delta h_j + x_j \sum b_i$$

або

$$\sum b_i x_i = -\Delta h_i..$$

Звідки

$$x_i = -\Delta h_j / \sum b_i..$$

Останній вираз і буде рішенням задачі гідравлічної ув'язки однокільцевої мережі. Ув'язку можна виконувати двома способами:

1 спосіб. Обчислюємо значення ув'язувальної витрати для кільця:

$$\sum Q_j = x_j \Delta t ,$$

де $\Delta t = \sum b_{i(j)} / (2 \sum (SQ))$

Витрати в ділянках корегуються до повної ув'язки мережі.

2 спосіб. Обчислюємо поправку для виправлення втрат напору на кожній ділянці мережі.

$$h_i' = b_i x_j = -b_i \Delta h_i / \sum b_i .$$

Виправляємо втрати напору на кожній ділянці:

$$h_{i(\text{випр})} = h_i + h_i' .$$

Втрати напору в ділянках корегуються до повної ув'язки мережі.