

Тема 4. Аналіз гідравлічних характеристик розгалужених мереж в гідравлічних комплексах

Мета заняття: ознайомитись зі схемами розрахунків розгалужених водопровідних мереж у гідравлічних комплексах; опанувати принципи розрахунків **розгалужених мереж в гідравлічних комплексах; розуміти** особливості перевіркових розрахунків систем транспортування води із замкнутими контурами.

План

1. Аналіз гідравліки роботи системи транспортування води з двома помповими станціями та однією регулювальною місткістю.
2. Особливості поточкорозподілу при застосуванні схеми розгалуженої мережі в умовах двостороннього живлення.
3. Принцип розрахунку розгалужених систем з кількома помповими станціями та кількома регулювальними резервуарами.
4. Особливості перевіркових розрахунків систем транспортування води із замкнутими контурами.

1. Розглянуті методи можуть бути розповсюджені на системи з будь-якою кількістю живлючих помпових станцій і регулювальних місткостей. Нехай воду в систему подають дві помпові станції та одна водонапірна башта (рис. 1).

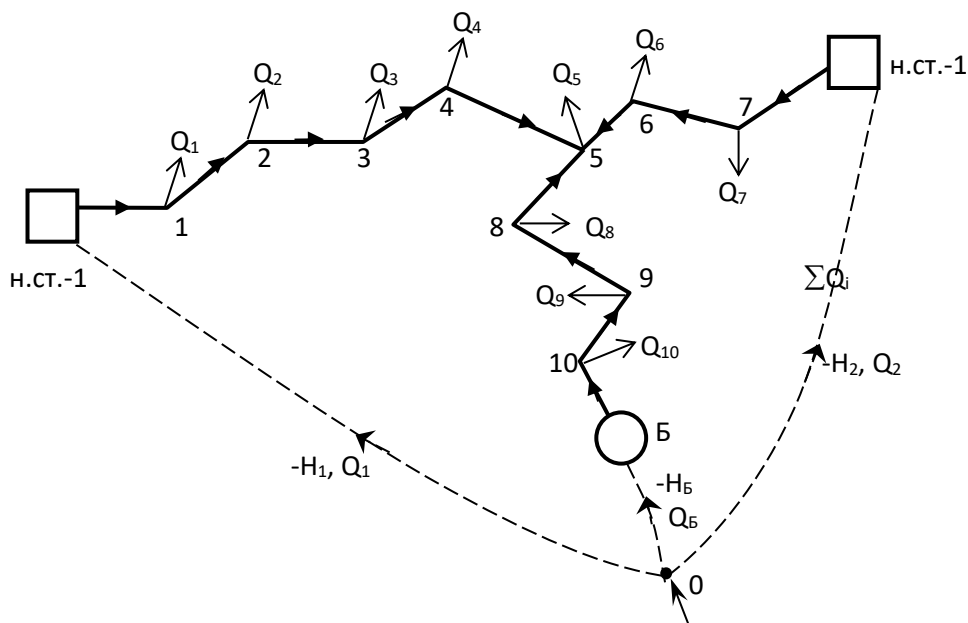


Рисунок 1 – Схема системи з двома насосними станціями і однією водонапірною вежею

Для визначення всіх характеристик аналізованої системи необхідно використати рівняння першої, другої і четвертої груп. Витрати насосних станцій і водонапірної башти пов'язані залежностями:

- для випадку надходження води в бак

$$Q_1 + Q_2 = \sum Q_i + Q_b,$$

- для випадку надходження води з вежі

$$Q_1 + Q_2 + Q_b = \sum Q_i.$$

Рівняння зовнішньої ув'язки будуть мати вигляд:

- для випадку подачі води в бак башти

$$H_1 - (\sum h)_1 + (\sum h)_b - H_b = 0,$$

$$H_b - (\sum h)_b + (\sum h)_2 - H_2 = 0;$$

- для випадку подачі води з башти

$$H_1 - (\sum h)_{1-b} - H_b = 0,$$

$$H_b + (\sum h)_{b-2} - H_2 = 0.$$

Якщо в цих рівняннях значення тисків підживлювачів і втрати тисків виразити через витрати Q_1 , Q_2 і Q_b , то кількість таких рівнянь буде достатньою для визначення останніх.

Задачу можна розв'язувати шляхом підбору або ув'язки фіктивних кілець (шляхом послідовного наближення).

2. Розглянемо випадок двостороннього живлення магістралі, коли вода буде надходити в мережу від помпової станції та від башти. В цьому випадку система буде мати вигляд, який приведено на рис. 2.

і

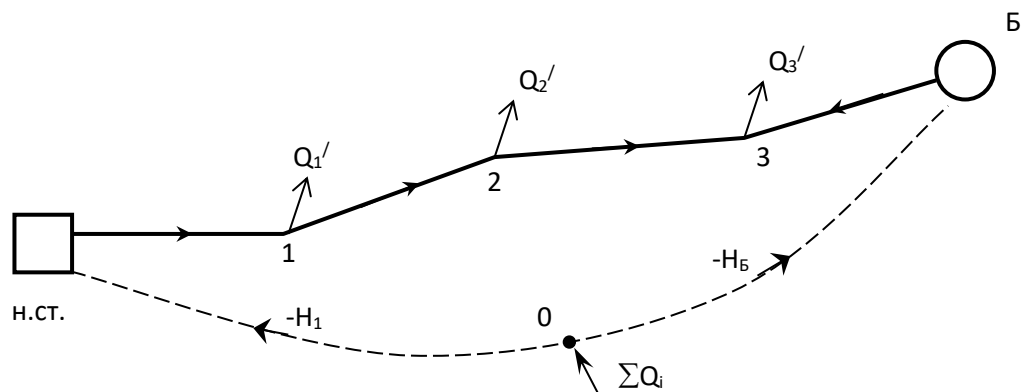


Рисунок 2 – Схема розгалуженої мережі при двосторонньому живленні

Складемо рівняння зовнішньої ув'язки для системи на рис. 2. Для цього вибираємо фіктивний вузол "0" і з'єднуємо його фіктивними лініями з помповою станцією та баштою (на рис. 2 ці лінії показані пунктиром). Рахуємо умовно, що загальна витрата системи подається в вузол "0". Тоді напрям руху в фіктивних лініях призначається так, щоб зберігалася умова $\sum Q_{вузл.} = 0$.

Головне балансове рівняння для системи буде мати вигляд

$$Q_n + Q_b - \sum Q_i = 0.$$

або

$$\sum Q_i = Q_n + Q_b.$$

Рівняння ув'язки фіктивного кільця буде таким

$$-H_1 + (\sum h)_1 - (\sum h)_b + H_b = 0.$$

Якщо живлення з однієї сторони (транзит води в башту) фіктивний контур буде мати вигляд, який приведено на рис. 3.

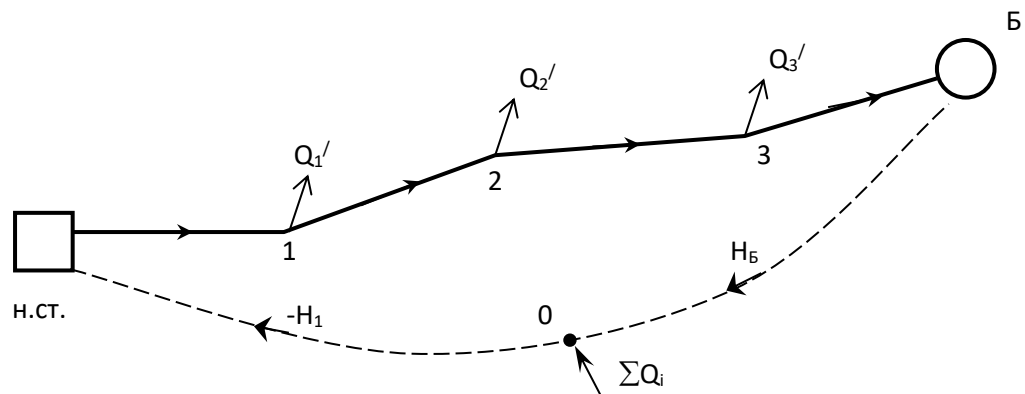


Рисунок 3 – Схема розгалуженої мережі при односторонньому живленні

Головне балансове рівняння такої системи виражається рівнянням балансу фіктивних витрат в вузлі "0".

$$3. \quad \sum Q_i + Q_b = Q_n.$$

Рівняння ув'язки фіктивного кільця має вигляд

$$4. \quad H_n - (\sum h)_1 + H_b = 0.$$

Знак "плюс" перед напором H_b пояснюється тим, що рух води в фіктивній лінії в цьому випадку повинен бути до фіктивного вузла.

3. Розглянемо систему з трьома помповими станціями та двома регулювальними місткостями (рис. 4).

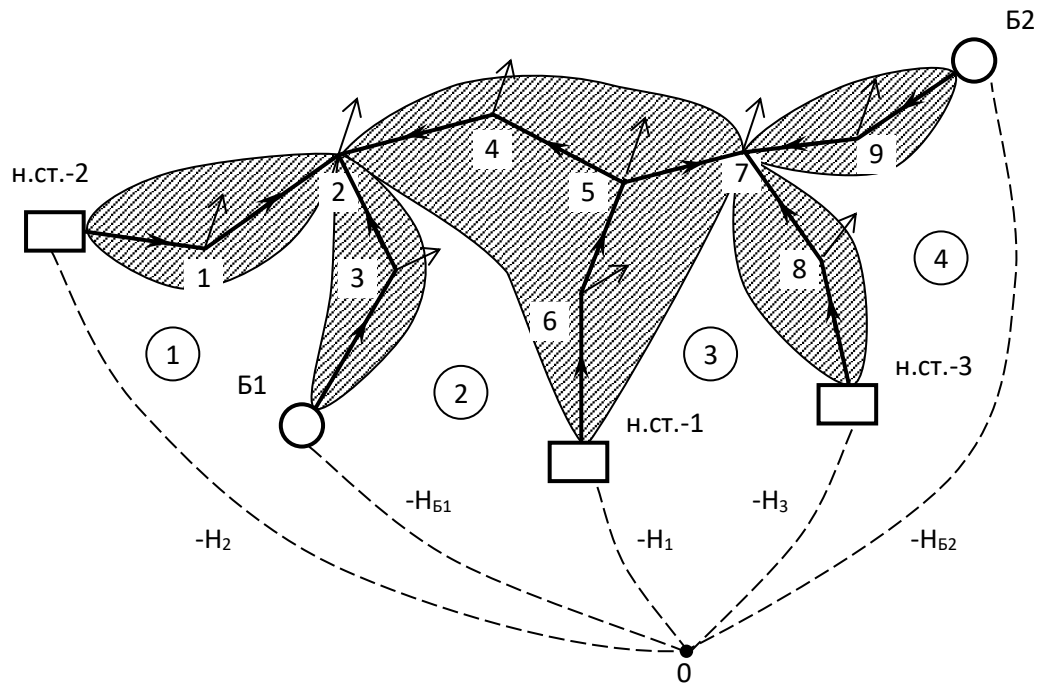


Рисунок 4 – Схема системи з трьома насосними станціями і двома водонапірними баштами

Для такої системи слід спочатку вибрати розрахункові моменти:

1. найбільшого надходження води в місткості;
2. найбільшої подачі води з них в мережу.

Потім необхідно намітити для обох випадків вірогідну картину живлення системи від помпових станцій і башт і прийняти для попереднього розрахунку величини їх подач. На рис. 4 показано випадок максимального водоспоживання. Для цього випадку можна скласти рівняння зовнішньої ув'язки для чотирьох фіктивних кілець:

- для кільця №1: $H_2 - (\sum h)_2 + (\sum h)_{\delta 1} - H_{\delta 1} = 0,$
- для кільця №2: $H_{\delta 1} - (\sum h)_{\delta 1} + (\sum h)_1 - H_1 = 0,$
- для кільця №3: $H_1 - (\sum h)_1 + (\sum h)_3 - H_3 = 0,$
- для кільця №4: $H_3 - (\sum h)_3 + (\sum h)_{\delta 2} - H_{\delta 2} = 0.$

В цих рівняннях індекси відповідають номерам помпових станцій і водонапірних башт. Якщо виразити всі напори в функції витрат підживлювачів, то разом з балансовим рівнянням

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{б1} + Q_{б2} = \sum Q_i$$

одержимо п'ять рівнянь для отримання всіх витрат. Задача розв'язується так, як було розглянуто раніше.

4. При перевіркових розрахунках систем, які мають кількість підживлювачів $e > 1$, а також n замкнутих контурів, необхідно використати m рівнянь першої групи $\sum Q = 0$, $(p-n)$ рівнянь другої групи, n рівнянь “внутрішньої” ув'язки та $(e-1)$ рівнянь “зовнішньої” ув'язки.

Нехай система має одне кільце з двома фіксованими відборами, одним нефіксованим відбором в резервуар і одним резервуаром, який живить цю систему (рис. 5). Необхідно знайти витрату, яка знаходиться в нижній резервуар, всі лінійні витрати, а також загальну подачу води в систему. Величини всіх гідравлічних опорів відомі.

Для визначення невідомих витрат можна використати чотири вузлових

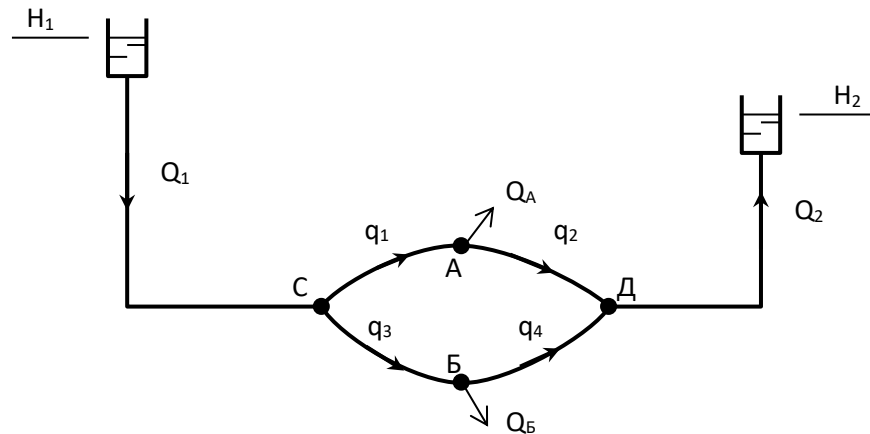


Рисунок 5 – Схема системи з одним кільцем і двома баштами

рівняння $\sum Q_{вузл} = 0$, одне рівняння внутрішньої ув'язки $\sum h_k = 0$ і одне рівняння зовнішньої ув'язки

$$H_1 - H_2 = \sum h_i.$$

Рівняння внутрішньої ув'язки буде мати вигляд

$$h_{CA} + h_{AD} - h_{CB} - h_{BD} = 0$$

або

$$S_{CA} q_1^2 + S_{AD} q_2^2 - S_{CB} q_3^2 - S_{BD} q_4^2 = 0.$$

Рівняння зовнішньої ув'язки може бути написано з включенням однієї чи другої вітки кільця, тобто

$$H_1 - h_1 - (h_{CA} + h_{AD}) - h_2 = H_2;$$

$$H_1 - h_1 - (h_{CB} + h_{BD}) - h_2 = H_2 .$$

Цих рівнянь достатньо для визначення незалежних невідомих h_1 і h_i або (що те ж саме) Q_1 і q_1 . Якщо з першого рівняння відняти друге, одержимо рівняння внутрішньої ув'язки

$$(h_1 + h_2) - (h_3 + h_4) = 0 .$$

Витрати окремих ділянок можна представити через дві незалежні витрати: витрату Q_1 і одну з витрат ділянок СА і СБ. Наприклад,

$$q_1 = \alpha Q_1; \quad q_2 = \alpha Q_1 - Q_A; \quad q_3 = (1-\alpha)Q_1;$$

$$q_4 = (1-\alpha)Q_1 - Q_B; \quad Q_2 = Q_1 - \sum Q_i,$$

де $\sum Q_i = Q_A + Q_B$.

Використовуючи ці витрати в наведених вище рівняннях, після відповідних перетворень одержимо два рівняння з двома невідомими α і Q_1 :

$$\begin{cases} (S_{CA} + S_{AD} - S_{CB} - S_{BD})(\alpha Q_1)^2 + 2(S_{CB} + S_{BD})\alpha Q_1^2 - (S_{CB} + S_{BD})Q_1^2 - \\ - 2(S_{CB}Q_A + S_{BD}Q_B)\alpha Q_1 + 2S_{BD}Q_B Q_1 + (S_{AD}Q_A^2 - S_{BD}Q_B^2) = 0, \\ (S_{CA} + S_{AD})(\alpha Q_1)^2 + (S_1 + S_2)Q_1^2 + (S_1 + S_2)Q_1^2 - 2S_2Q_A - \alpha Q_1 - \\ - 2S_2(\sum Q_i)Q_1 + [S_2(\sum Q_i)^2 + S_{AD}Q_A^2 - \Delta H] = 0. \end{cases}$$

Розглянемо тепер випадок, коли обидві вежі будуть подавати воду в мережу (рис. 6).

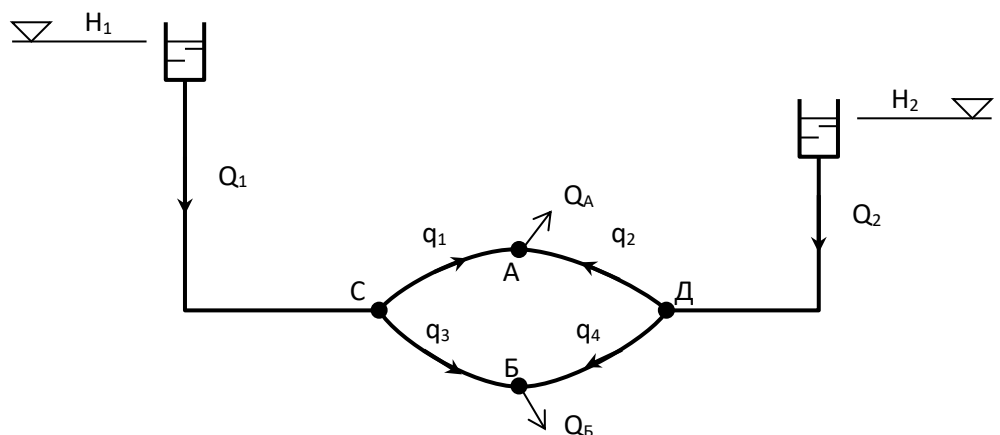


Рисунок 6 – Схема системи з одним кільцем і двома вежами, які подають воду в мережу

В цьому випадку будують ті ж невідомі, що і раніше, і принципово та ж система рівнянь. Різниця буде в вузлових рівняннях для вузлів сходу і в рівняннях зовнішньої ув'язки, яка прийме вигляд

$$H_1 - h_1 - h_{CA} + h_{AD} + h_2 = H_2$$

або

$$H_1 - S_1 Q_1^2 - S_{CA} q_1^2 + S_{AD} q_2^2 + S_2 Q_2^2 = H_2 .$$

В рівняннях внутрішньої ув'язки зміняться тільки знаки:

$$h_{CA} - h_{AD} - h_{CB} + h_{BD} = 0$$

або

$$S_{CA} q_1^2 - S_{AD} q_2^2 - S_{CB} q_3^2 + S_{BD} q_4^2 = 0 .$$

Ці рівняння виражають умови ув'язки дійсного і фіктивного замкнутих контурів. Їх розв'язання аналогічне раніше розглянутому.

Розглянемо ту ж систему, але з двома насосними станціями (рис. 7).

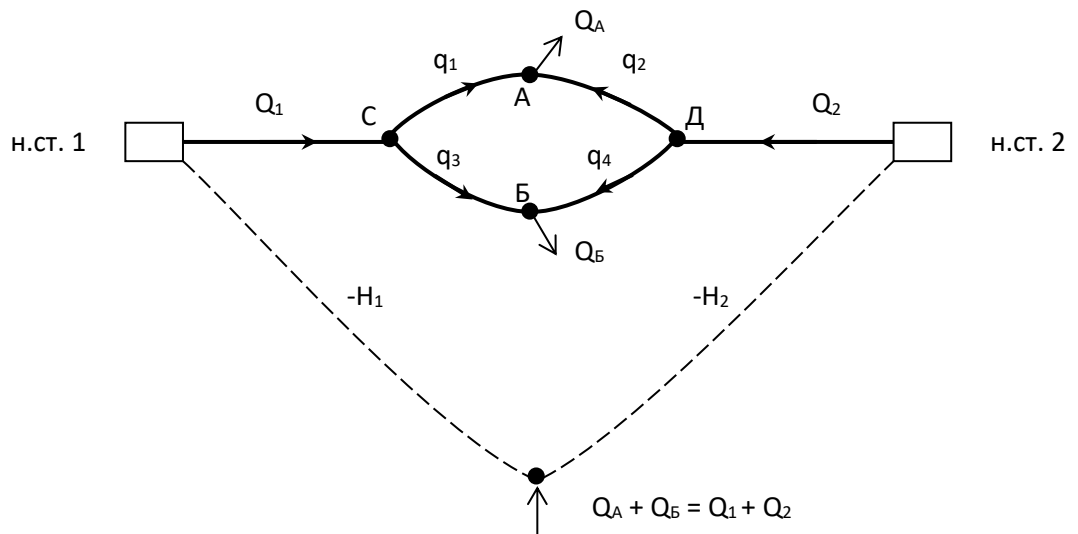


Рисунок 7 – Схема системи з одним кільцем і двома насосними станціями

При збереженні розглянутого вище підходу до аналізу роботи такої системи за головних невідомих можна прийняти подачу однієї з помпових станцій і лінійну витрату в одній з ділянок кільця, наприклад, Q_1 і q_1 , або коефіцієнт розподілу α . Для їх визначення можна використати рівняння внутрішньої та зовнішньої ув'язки. Рівняння зовнішньої ув'язки легко

написати, якщо обійти фіктивний контур, що з'єднує підживлювачі з використанням для них, функціональної залежності $H=F(Q)$. При цьому рівняння буде мати вигляд

$$-F(Q_1) + S_{н.ст.1-с} Q_1^2 + S_{CA} q_1^2 - S_{AD} q_2^2 - S_{Д-н.ст.2} Q_2^2 + F(Q_2) = 0$$

або

$$S_{н.ст.1-с} Q_1^2 + S_{CA} q_1^2 - S_{AD} q_2^2 - S_{Д-н.ст.2} Q_2^2 = F(Q_1) - F(Q_2).$$

Рівняння внутрішньої ув'язки аналогічне приведену для системи з живленням від двох резервуарів. Ці рівняння разом з рівнянням зовнішньої ув'язки та балансовим рівнянням

$$Q_1 + Q_2 = Q_A + Q_B.$$

дозволяє визначити вишукувані невідомі з коефіцієнтом розподілу α .

Розглянемо систему з кільцевою мережею і трьома насосними станціями (рис. 8).

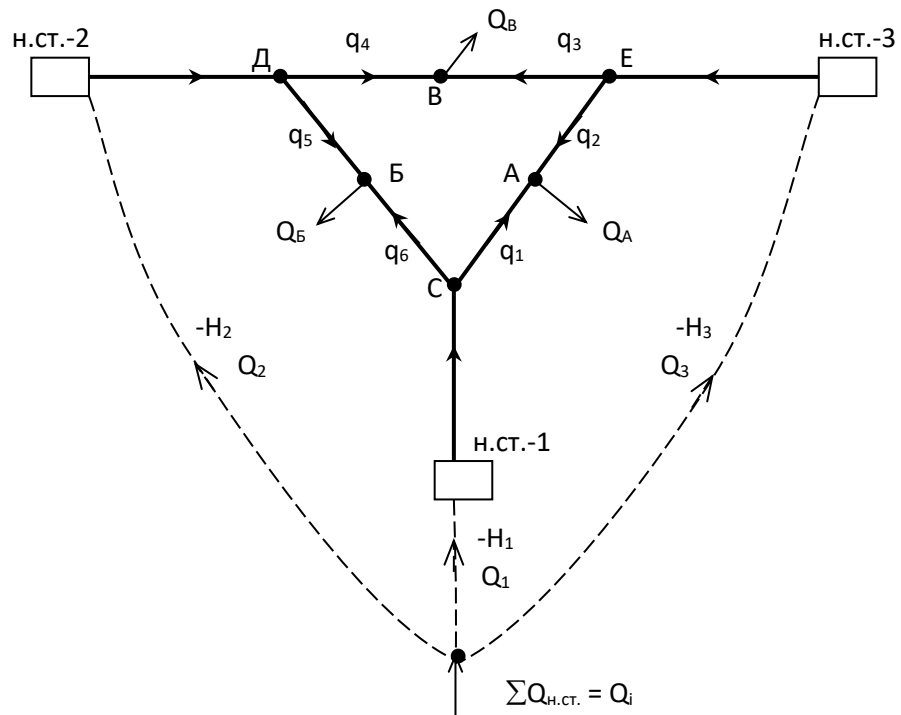


Рисунок 8 – Схема кільцевої системи з трьома насосними станціями

Загальна кількість невідомих в системі складається з m невідомих напорів і $p+e$ невідомих витрат, тобто

$$m + p + e.$$

Для даної системи $m = 9$, $p = 9$, $e = 3$, $n = 1$ і загальна кількість невідомих - **21**. Щоб визначити ці невідомі, необхідно скласти рівняння першої

та другої груп, одне рівняння внутрішньої ув'язки та два рівняння зовнішньої ув'язки.

Рівняння ув'язок матимуть такий вигляд:

$$S_{CB} q_6^2 - S_{BD} q_5^2 + S_{DV} q_4^2 - S_{VE} q_3^2 + S_{EA} q_2^2 - S_{AC} q_1^2 = 0 ,$$
$$F(Q_1) - S_{н.ст.1-С} Q_1^2 + S_{AE} q_2^2 - S_{AC} q_1^2 + S_{Е-н.ст.3} Q_3^2 - F(Q_3) = 0 ,$$
$$F(Q_2) - S_{н.ст.2-Д} Q_2^2 - S_{DB} q_5^2 + S_{CB} q_6^2 + S_{н.ст.1-С} Q_1^2 - F(Q_1) = 0 .$$

Використовуючи вузлові рівняння, можна в даній системі всі невідомі витрати виразити через три головні (незалежні) невідомі, якими будуть подачі двох (чи трьох) помпових станцій і одна з лінійних витрат кільця або відповідний коефіцієнт α . Сумісне розв'язання цих рівнянь дозволить визначити подачі Q_1, Q_2, Q_3 помпових станцій.

Аналогічний шлях розрахунку може бути та при кількох відборах. При розв'язуванні задачі шляхом послідовного наближення необхідно перш за все намітити межі зон живлення. Внесення поправок до прийнятих меж буде виконано автоматично при задоволенні розрахункових рівнянь.

Розглянемо систему з двома насосними станціями і водонапірною баштою (рис. 9).

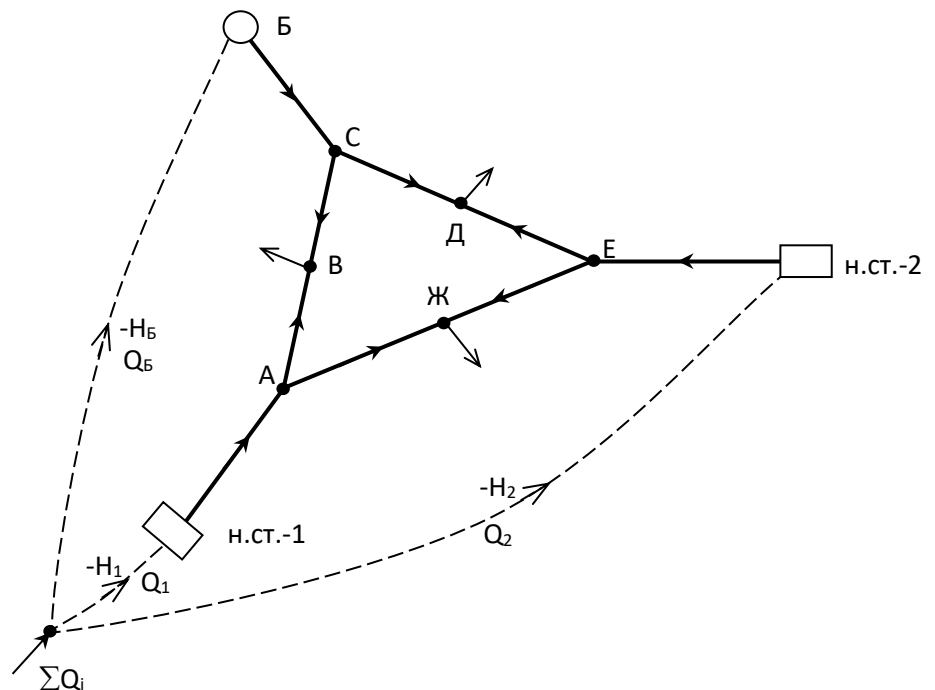


Рисунок 9 – Схема кільцевої мережі з двома помповими станціями та водонапірною баштою

Основними (незалежними) невідомими при аналізі такої системи будуть: подача однієї з помпових станцій і подача (або відбір) води водонапірною баштою, а також лінійна витрата однієї з ділянок кільця (чи відповідний йому коефіцієнт розподілу α). Задача розв'язується з використанням рівняння зовнішньої ув'язки. Для випадку надходження води з башти рівняння будуть мати вигляд:

$$-H_B + (\sum h)_{BC} + (\sum h)_{CB} - (\sum h)_{AB} - (\sum h)_{н.ст.1-A} + F(Q_1) = 0,$$

$$-F(Q_1) + (\sum h)_{н.ст.1-A} + (\sum h)_{AJ} - (\sum h)_{JE} - (\sum h)_{н.ст.2-E} + F(Q_2) = 0.$$

У випадку надходження води в бак рівняння матимуть вигляд:

$$-H_B - (\sum h)_{BC} - (\sum h)_{CB} - (\sum h)_{AB} - (\sum h)_{н.ст.1-A} + F(Q_1) = 0,$$

$$-F(Q_1) + (\sum h)_{н.ст.1-A} + (\sum h)_{AJ} - (\sum h)_{JE} - (\sum h)_{н.ст.2-E} + F(Q_2) = 0.$$

На рис. 10 приведена система, в яку входить два замкнутих контури, які живляться від двох помпових станцій з двома напірно-регулювальними місткостями. Вода забирається трьома об'єктами в вузлах **A**, **Б** і **В** у вигляді зосереджених витрат. Всі невідомі зводяться до п'яти головних (незалежних) витрат: трьох будь-яких подач (або нефіксованих відборів) і двох лінійних витрат (по одному для кожного кільця). Для їх визначення можуть бути написані три

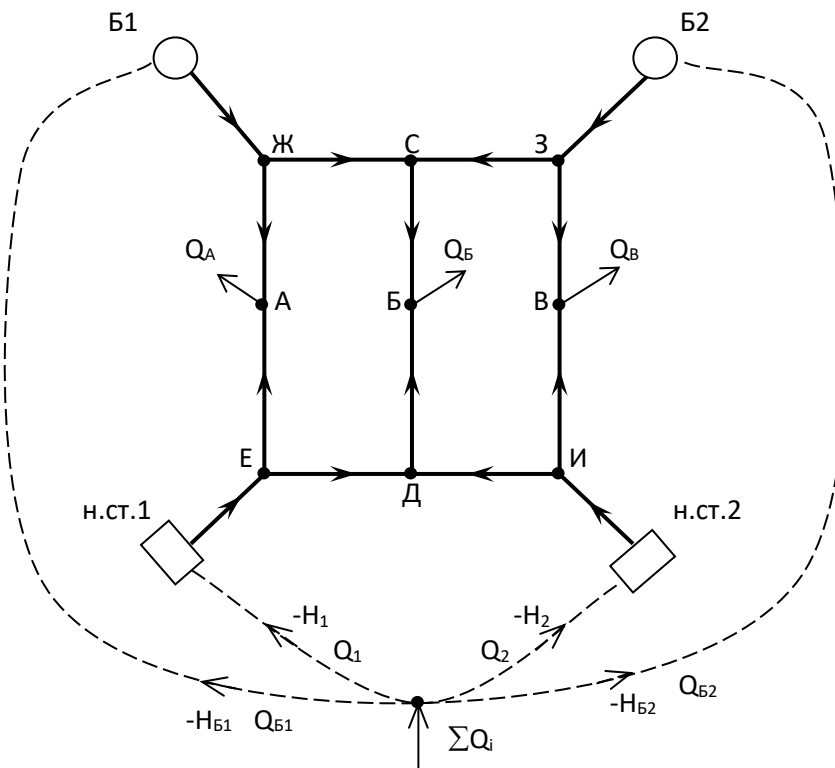


Рисунок 10 – Схема кільцевої мережі з двома насосними станціями і двома водонапірними баштами

рівняння зовнішньої ув'язки і два рівняння внутрішньої ув'язки.

Отримаємо такі рівняння:

- зовнішньої ув'язки:

$$\begin{aligned} & -H_{B1} + (\Sigma h)_{B1-A} - (\Sigma h)_{A-н.ст.1} + F(Q_1) = 0, \\ & -F(Q_1) + (\Sigma h)_{н.ст.1-Д} - (\Sigma h)_{Д-н.ст.2} + F(Q_2) = 0, \\ & -F(Q_2) + (\Sigma h)_{н.ст.2-B} - (\Sigma h)_{B-н.ст.} + H_{B2} = 0, \end{aligned}$$

- внутрішньої ув'язки:

$$\begin{aligned} & (\Sigma h)_{EA} - (\Sigma h)_{AJ} + (\Sigma h)_{ЖС} + (\Sigma h)_{СБ} - (\Sigma h)_{БД} - (\Sigma h)_{ЕД} = 0, \\ & (\Sigma h)_{ИД} + (\Sigma h)_{ДБ} - (\Sigma h)_{БС} - (\Sigma h)_{СЗ} + (\Sigma h)_{ЗВ} + (\Sigma h)_{ВИ} = 0. \end{aligned}$$

Питання для самоконтролю

1. Які варіанти розрахунку приймаються для розгалужених мереж в гідравлічних комплексах?
2. Які рівняння слід використати для розрахунку системи з двома помповими станціями та однією водонапірною баштою?
3. Які розрахункові положення приймаються для схеми системи з трьома помповими станціями та двома водонапірними вежами?
4. Яким чином кількість підживлювачів враховується під час перевіркових розрахунків водопровідних систем?
5. Яка різниця у вузлових рівняннях для схеми системи з одним контуром і двома вежами, які подають воду в мережу?