

Тема 4. Аналіз гідравлічних характеристик розгалужених мереж в гідравлічних комплексах

Мета вивчення теми: усвідомлення особливостей поточкорозподілу в розгалужених мережах, засвоєння перевірових розрахунків систем транспортування води із замкнутими контурами та застосування їх результатів для управління поточкорозподілом.

План

1. Аналіз гідравліки роботи системи транспортування води з двома насосними станціями і однією регулюючою ємністю.
2. Особливості поточкорозподілу при застосуванні схеми розгалуженої мережі в умовах двостороннього живлення.
3. Принцип розрахунку розгалужених систем з кількома насосними станціями і кількома напірно-регулюючими резервуарами.
4. Особливості перевірових розрахунків систем транспортування води із замкнутими контурами.

1. Розглянуті методи можуть бути розповсюджені на системи з будь-якою кількістю живлячих насосних станцій і регулюючих ємностей. Нехай воду в систему подають дві насосні станції і одна водонапірна башта (рис. 17).

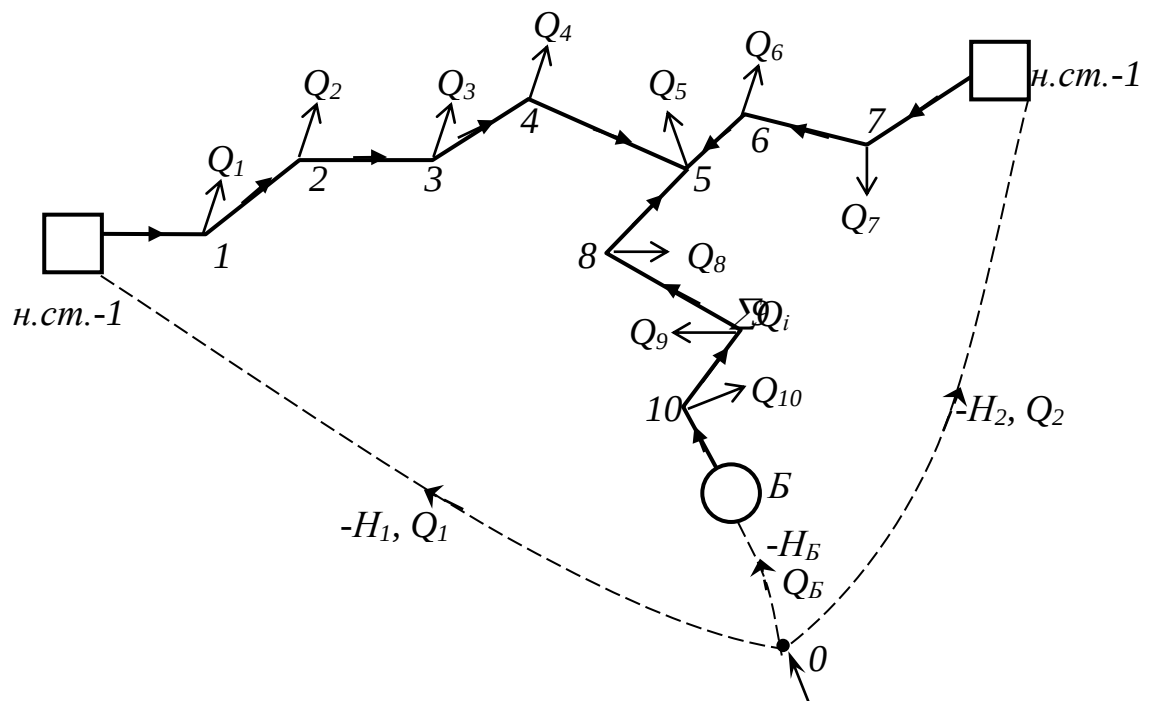


Рисунок 4.1 - Схема системи з двома насосними станціями і однією водонапірною баштою

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

$$Q_1 + Q_2 = \sum Q_i + Q_6 ,$$

- для випадку подачі води з башти

$$Q_1 + Q_2 + Q_6 = \sum Q_i .$$

Рівняння зовнішньої ув'язки будуть мати вигляд:

- для випадку подачі води в бак башти

$$H_1 - (\sum h)_1 + (\sum h)_6 - H_6 = 0 ,$$

$$H_6 - (\sum h)_6 + (\sum h)_2 - H_2 = 0 ;$$

- для випадку подачі води з башти

$$H_1 - (\sum h)_{1-6} - H_6 = 0 ,$$

$$H_6 + (\sum h)_{6-2} - H_2 = 0 .$$

Якщо в цих рівняннях всі напори водоживлювачів і втрати напорів виразити через витрати Q_1 , Q_2 і Q_6 , то кількість таких рівнянь буде достатньою для визначення останніх.

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

Розглянемо випадок двохстороннього живлення магістралі, коли вода буде надходити в мережу від насосної станції і від башти. В цьому випадку система буде мати вигляд, який приведено на рис. 15.

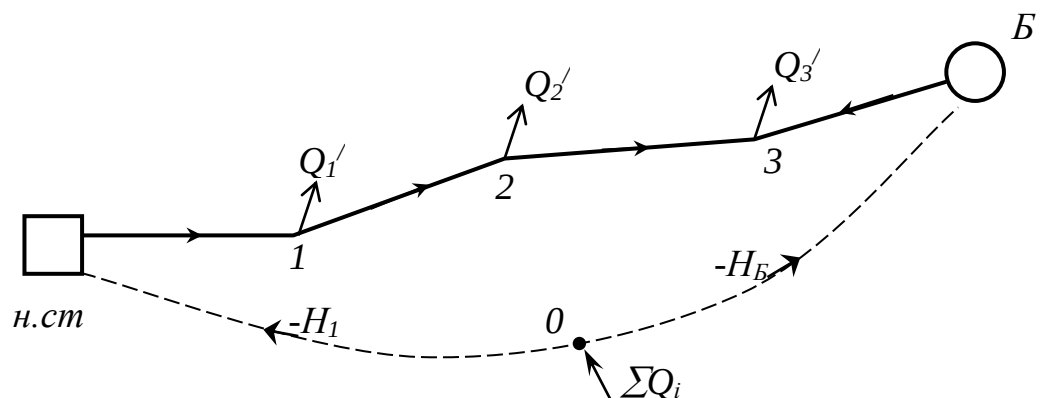


Рисунок 4.2 - Схема розгалуженої мережі при двохсторонньому живленні

Складемо рівняння зовнішньої ув'язки для системи на рис. 4.2. Для цього вибираємо фіктивний вузол "0" і з'єднуємо його фіктивними лініями з

насосною станцією та баштою (на рис.15 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 $\sum Q_{\text{вузл.}} = 0$.

Головне балансове рівняння для системи буде мати вигляд

$$2. \quad Q_{\text{н}} + Q_{\text{б}} - \sum Q_i = 0 .$$

або

$$3. \quad \sum Q_i = Q_{\text{н}} + Q_{\text{б}} .$$

Рівняння ув'язки фіктивного кільця буде таким

$$- H_1 + (\sum h)_1 - (\sum h)_6 + H_6 = 0 .$$

Якщо живлення з однієї сторони (транзит води в башту) фіктивний контур буде мати вигляд, який приведено на рис. 4.3.

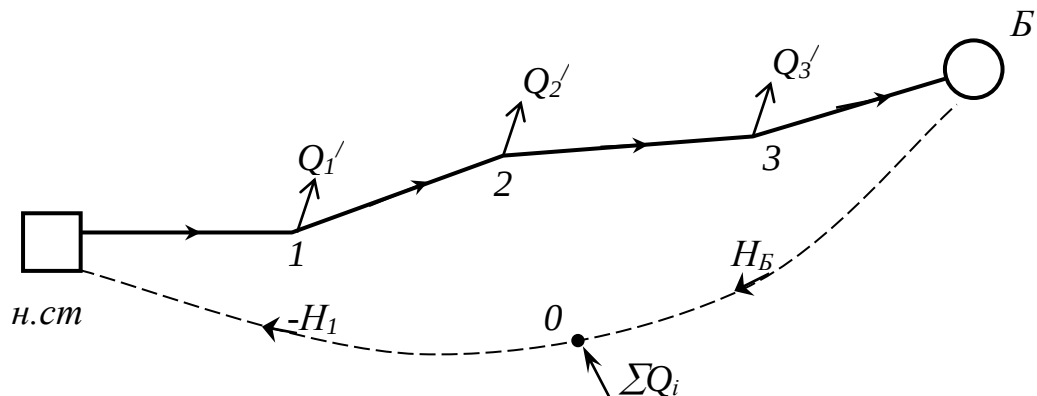


Рисунок 4.3 - Схема розгалуженої мережі при односторонньому живлення

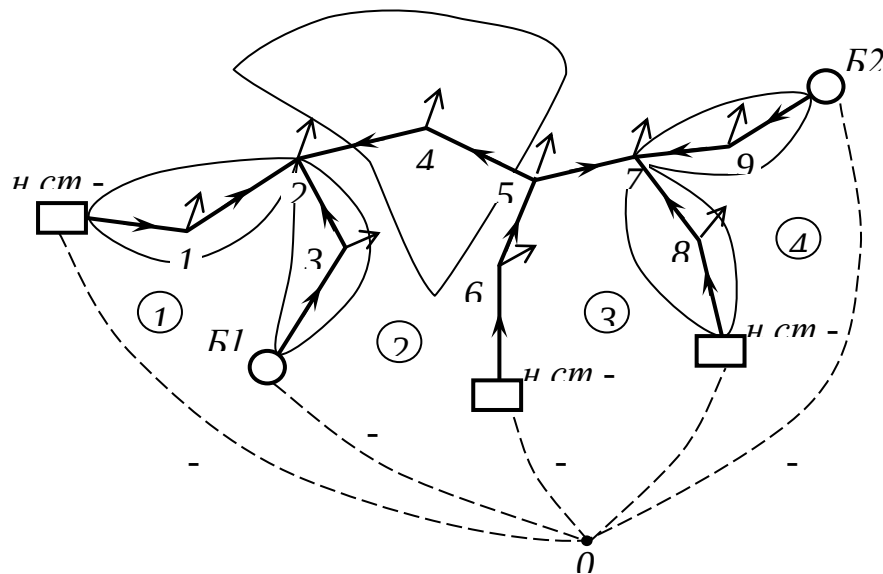
Головне балансове рівняння такої системи виражається рівнянням балансу фіктивних витрат в вузлі “0”.

$$\sum Q_i + Q_{\text{б}} = Q_{\text{н}} .$$

Рівняння ув'язки фіктивного кільця має вигляд

$$H_{\text{н}} - (\sum h)_1 + H_6 = 0 .$$

Знак “плюс” перед напором H_B пояснюється тим, що рух води в



фіктивній лінії в цьому випадку повинен бути до фіктивного вузла. Розглянемо систему з трьома насосними станціями і двома регулюючими ємностями (рис. 4.4).

Рисунок 4.4 - Схема системи з трьома насосними станціями і двома водонапірними баштами

Для такої системи слід спочатку вибрати розрахункові моменти:

- найбільшого надходження води в ємності;
- найбільшої подачі води з них в мережу.

Потім необхідно намітити для обох випадків вірогідну картину живлення системи від насосних станцій і башт і прийняти для попереднього розрахунку величини їх подач. На рис. 18 показано випадок максимального водоспоживання. Для цього випадку можна скласти рівняння зовнішньої ув'язки для чотирьох фіктивних кілець:

- для кільця №1: $H_2 - (\sum h)_2 + (\sum h)_{61} - H_{61} = 0$,
- для кільця №2: $H_{61} - (\sum h)_{61} + (\sum h)_1 - H_1 = 0$,
- для кільця №3: $H_1 - (\sum h)_1 + (\sum h)_3 - H_3 = 0$,
- для кільця №4: $H_3 - (\sum h)_3 + (\sum h)_{62} - H_{62} = 0$.

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

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{61} + Q_{62} = \sum Q_i$$

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

4. При перевіірочних розрахунках систем, які мають кількість водоживлювачів $e > 1$, а також n замкнутих контурів, необхідно використати

m рівнянь першої групи $\sum Q=0$, (p-n) рівнянь другої групи, n рівнянь “внутрішньої” ув’язки і (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. 19). Необхідно знайти витрату, яка знаходить 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

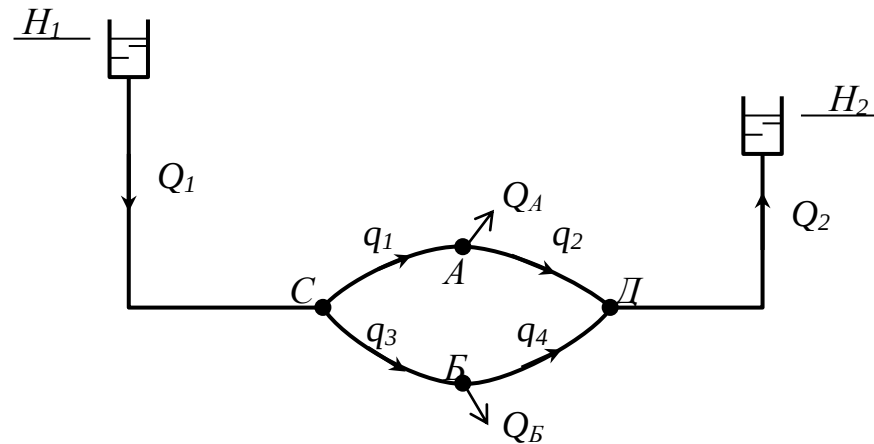


Рисунок 4.5 - Схема системи з одним кільцем і двома баштами

рівняння $\sum Q_{\text{вузл}}=0$, 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_2 або (що те ж саме) Q_1 і Q_2 . 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,

$$\begin{aligned} q_1 &= \alpha Q_1; & q_2 &= \alpha Q_1 - Q_A; & q_3 &= (1-\alpha)Q_1; \\ q_4 &= (1-\alpha)Q_1 - Q_B; & Q_2 &= Q_1 - \sum Q_i, \end{aligned}$$

де $\sum Q_i = Q_A + Q_B$.

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

$$\begin{cases} (S_{CA} + S_{AD} - S_{CB} - S_{BD})(\alpha Q_1)^2 + 2(S_{CB} + S_{BD})\alpha Q_1^2 - (S_{CB} + S_{BD})Q_1^2 - \\ - 2(S_{CB}Q_A + S_{BD}Q_B)\alpha Q_1 + 2S_{BD}Q_BQ_1 + (S_{AD}Q_A^2 - S_{BD}Q_B^2) = 0, \\ (S_{CA} + S_{AD})(\alpha Q_1)^2 + (S_1 + S_2)Q_1^2 + (S_1 + S_2)Q_1^2 - 2S_2Q_A - \alpha Q_1 - \\ - 2S_2(\sum Q_i)Q_1 + [S_2(\sum Q_i)^2 + S_{AD}Q_A^2 - \Delta H] = 0. \end{cases}$$

Розглянемо тепер випадок, коли обидві башти будуть подавати воду в мережу (рис. 20).

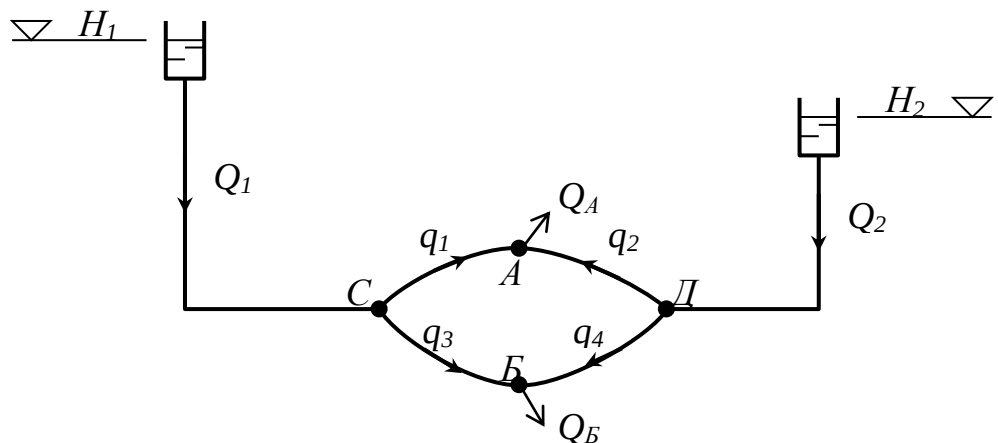


Рисунок 4.6 - Схема системи з одним кільцем і двома вежами, які подають воду в мережу

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. 21).

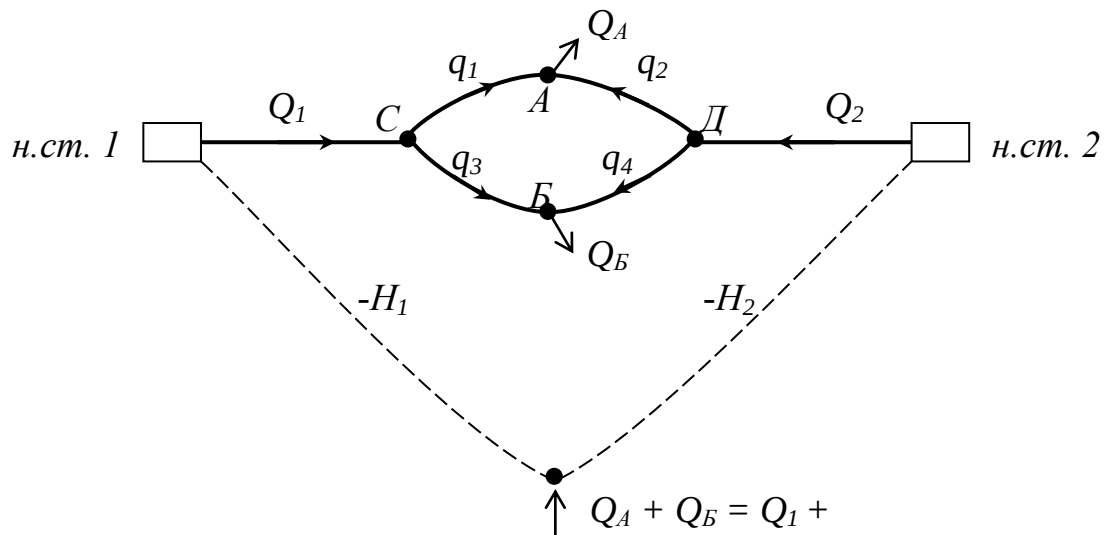


Рисунок 4.7 - Схема системи з одним кільцем і двома насосними станціями

При збереженні розглянутого вище підходу до аналізу роботи такої системи в якості головних невідомих можна прийняти подачу однієї з насосних 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 і зовнішньої ув'язки. Рівняння зовнішньої ув'язки легко написати, якщо обійти фіктивний контур, що з'єднує водоживлювачі з використанням для них, функціональної залежності $H=F(Q)$. При цьому рівняння буде мати вигляд

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

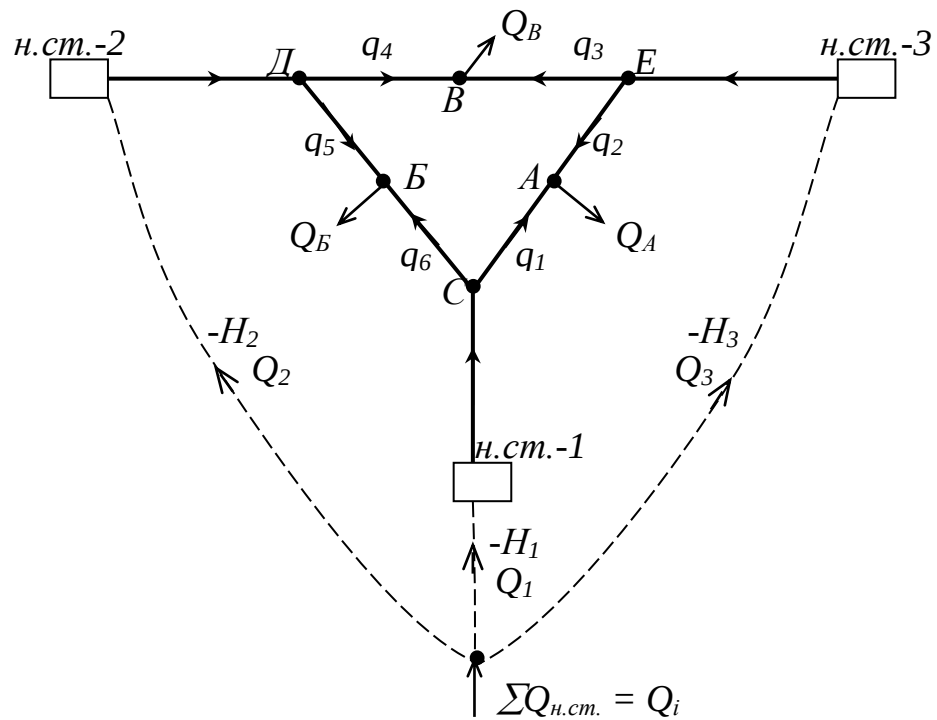
або

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

Рівняння внутрішньої ув'язки аналогічне приведенному 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. 22).

Рисунок 4.8 - 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 розглядаємої системи $m = 9$, $p = 9$, $e = 3$, $n = 1$ і загальна кількість невідомих - **21**. Щоб визначити ці невідомі, необхідно скласти рівняння першої і другої груп, одне рівняння внутрішньої ув'язки і два рівняння зовнішньої ув'язки.

Рівняння ув'язок матимуть такий вигляд:

$$\begin{aligned} S_{CB} q_6^2 - S_{BD} q_5^2 + S_{DB} q_4^2 - S_{BE} q_3^2 + S_{EA} q_2^2 - S_{AC} q_1^2 &= 0 , \\ F(Q_1) - S_{н.ст.1-C} Q_1^2 + S_{AE} q_2^2 - S_{AC} q_1^2 + S_{E-н.ст.3} Q_3^2 - F(Q_3) &= 0 , \\ F(Q_2) - S_{н.ст.2-D} Q_2^2 - S_{DB} q_5^2 + S_{CB} q_6^2 + S_{н.ст.1-C} Q_1^2 - F(Q_1) &= 0 . \end{aligned}$$

Розглянемо систему з двома насосними станціями і водонапірною баштою (рис. 23).

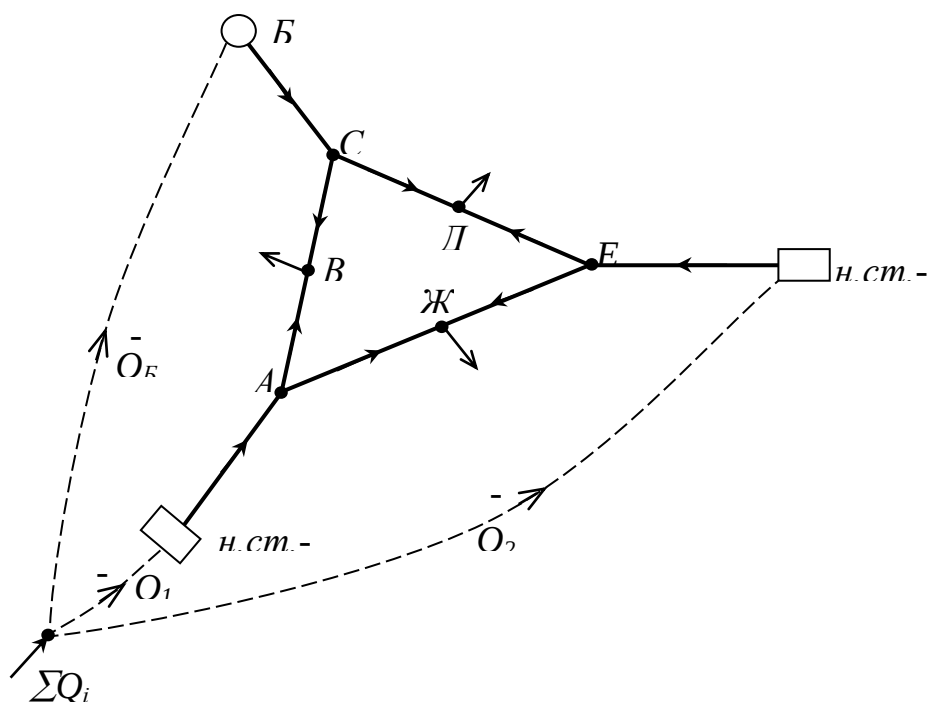


Рисунок 4.9 - Схема кільцевої мережі з двома насосними станціями і водонапірною баштою

Основними (незалежними) невідомими при аналізі такої системи будуть: подача однієї з насосних 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:

$$\begin{aligned} & -H_B + (\sum h)_{BC} + (\sum h)_{CB} - (\sum h)_{AB} - (\sum h)_{H,CT,1-A} + F(Q_1) = 0, \\ & -F(Q_1) + (\sum h)_{H,CT,1-A} + (\sum h)_{AJ} - (\sum h)_{JE} - (\sum h)_{H,CT,2-E} + F(Q_2) = 0. \end{aligned}$$

У випадку надходження води в бак рівняння матимуть вигляд:

$$\begin{aligned}
& -H_B - (\sum h)_{BC} - (\sum h)_{BC} - (\sum h)_{AB} - (\sum h)_{н.ст.1-A} + F(Q_1) = 0, \\
& -F(Q_1) + (\sum h)_{н.ст.1-A} + (\sum h)_{AJ} - (\sum h)_{JE} - (\sum h)_{н.ст.2-E} + F(Q_2) = 0.
\end{aligned}$$

На рис. 24 приведена система, в яку входить два замкнутих контура, які живляться від двох насосних станцій з двома напірно-регулюючими ємкостями. Вода забирається трьома об'єктами в вузлах **А**, **Б** і **В** у вигляді зосереджених витрат. Всі невідомі зводяться до п'яти головних (незалежних) витрат: трьох любых подач (або нефіксованих відборів) і двох лінійних витрат (по одному для кожного кільця). Для їх визначення можуть бути написані три

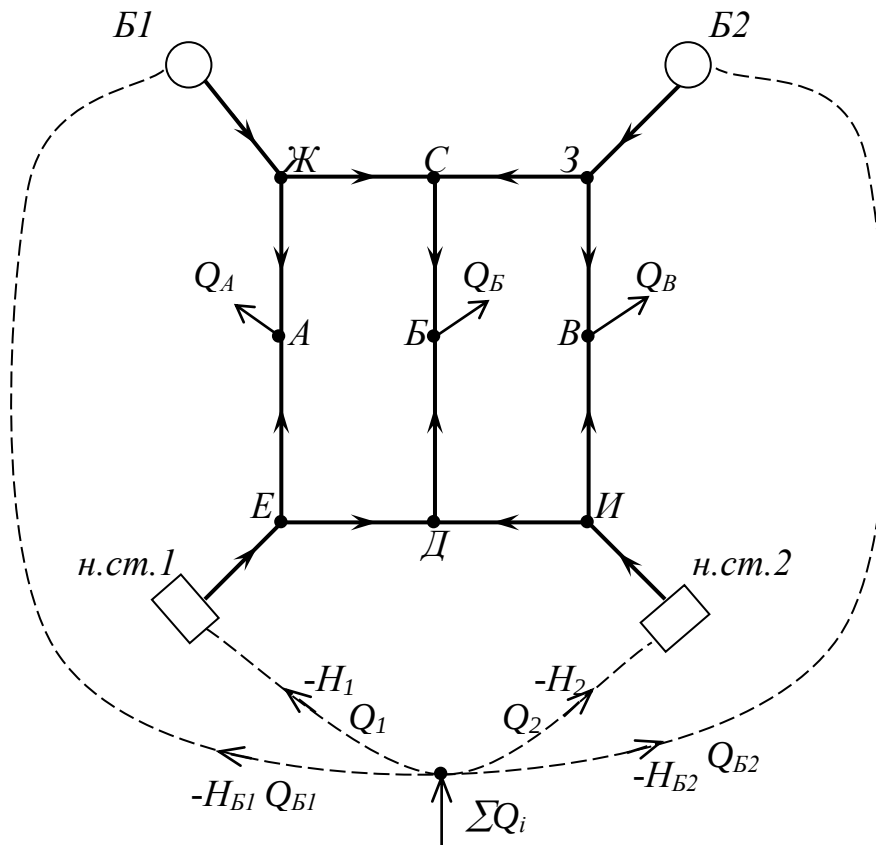


Рисунок 4.10 - Схема кільцевої мережі з двома насосними станціями і двома водонапірними баштами

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

Отримаємо такі рівняння:

- зовнішньої ув'язки:

-

$$-H_{B1} + (\sum h)_{B1-A} - (\sum h)_{A-н.ст.1} + F(Q_1) = 0,$$

$$-F(Q_1) + (\sum h)_{н.ст.1-Д} - (\sum h)_{Д-н.ст.2} + F(Q_2) = 0,$$

$$-F(Q_2) + (\sum h)_{н.ст.2-В} - (\sum h)_{В-н.ст.} + H_{B2} = 0,$$

- внутрішньої ув'язки:

$$\begin{aligned}
 & - \\
 & (\sum h)_{EA} - (\sum h)_{AJ} + (\sum h)_{JC} + (\sum h)_{CB} - (\sum h)_{BD} - (\sum h)_{ED} = 0 , \\
 & (\sum h)_{ID} + (\sum h)_{DB} - (\sum h)_{BC} - (\sum h)_{CZ} + (\sum h)_{ZB} + (\sum h)_{BI} = 0 .
 \end{aligned}$$

Питання для самоконтролю

1. Які варіанти розрахунку приймаються для розгалужених мереж в гідравлічних комплексах?
2. Які рівняння слід використати для розрахунку системи з двома насосними станціями і однією водонапірною баштою?
3. Які розрахункові положення приймаються для схеми системи з трьома насосними станціями і двома водонапірними баштами?
4. Яку кількість рівнянь першої групи слід використати при перевірочних розрахунках систем, які мають кількість водоживлювачів $e > 1$?
5. Яка різниця у вузлових рівняннях для схеми системи з одним кільцем і двома баштами, які подають воду в мережу?