

Тема 3. Загальний аналіз динаміки роботи систем транспортування води з контррезервуарами

План

1. Особливості живлення системи в умовах зміни відборів води.
2. Аналіз пезометричних карт систем транспортування води в умовах зміни відборів води
3. Графічний аналіз сумісного функціонування складових елементарної системи.
4. Перевірочний розрахунок розгалуженої мережі транспортування води з контррезервуаром.

1. Найбільш простою системою являється система з контррезервуаром. В такій системі башта може бути або нефіксованим відбором або другим джерелом живлення з заданим напором. В першому випадку

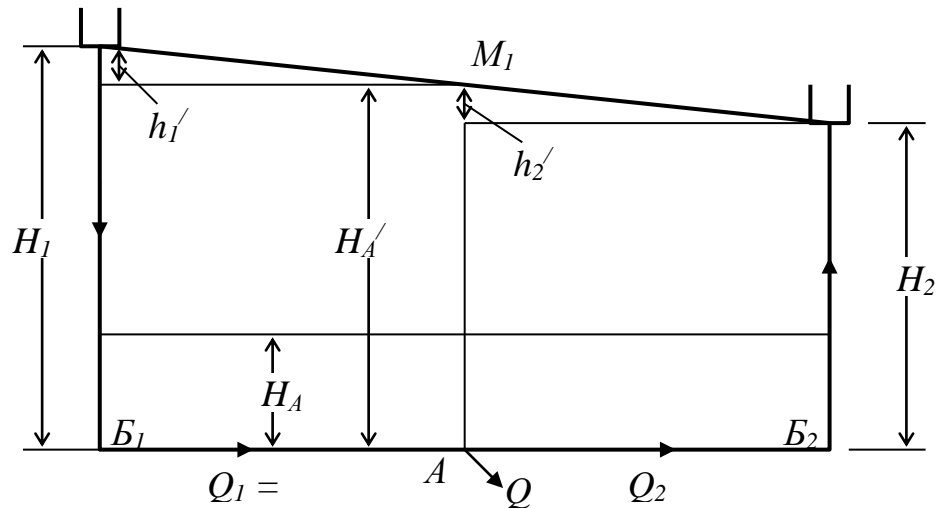
$$Q_n = \sum Q_i + Q_b ,$$

в другому

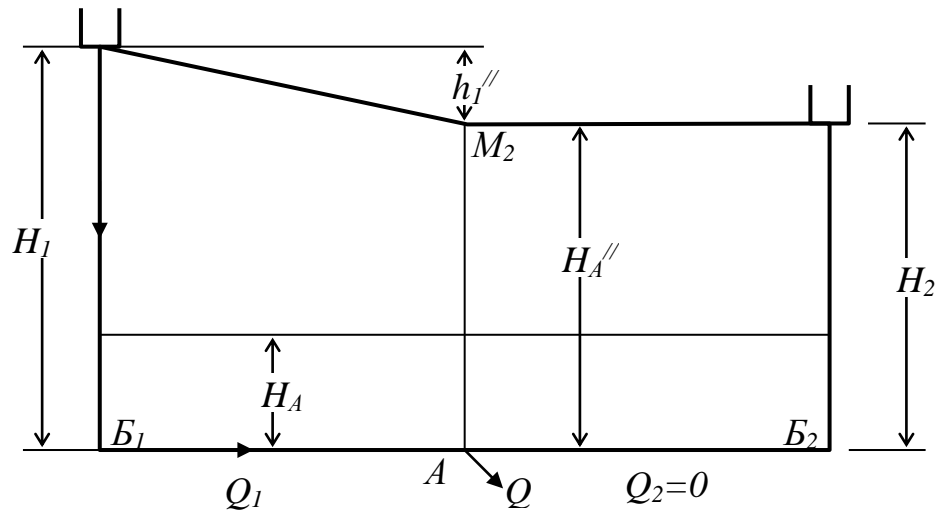
$$\sum Q_i = Q_n + Q_b .$$

Розглянемо спочатку елементарну систему у вигляді магістралі з одним фіксованим відбором води Q в точці A та двома баштами різної висоти B_1 і B_2 (рис.11).

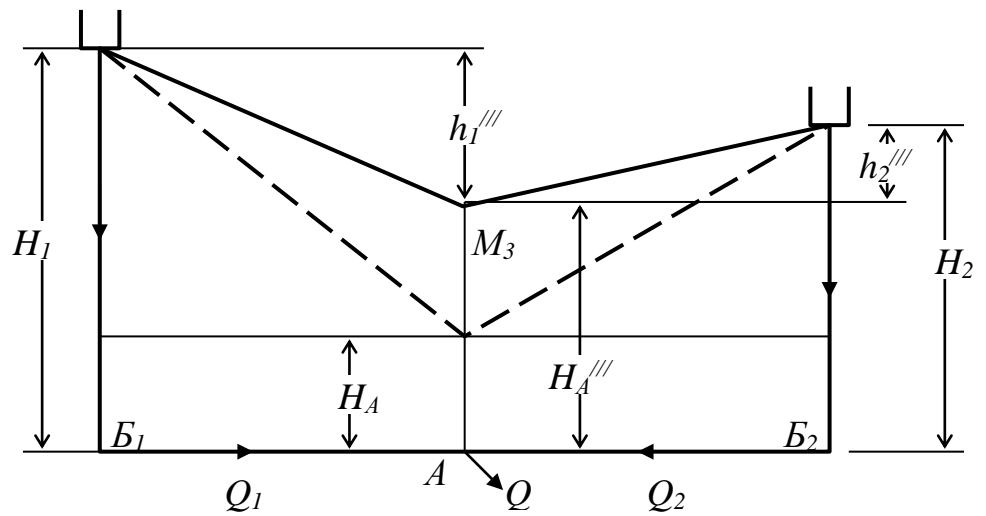
При аналізі системи відомі висоти башт H_1 і H_2 , гідравлічні опори трубопроводів S_1 і S_2 , величина витрати Q в вузлі A , а також необхідний мінімальний напір в ньому H_A . Характер живлення системи, яка отримує воду від двох башт, повністю залежить від величини витрати Q , яка відбирається в вузлі A (рис. 11). При всіх можливих режимах башта B_1 буде виступати в ролі водоживлювача, тоді як башта B_2 (як більш низька) в залежності від величини відбору Q може бути водоживлювачем і відбором. Аналізуючи роботу системи можна знайти критичну величину Q , при якій один режим переходить в другий. Коли надходження води з водонапірної башти B_1 перевищує фіксований відбір в точці A , надлишок води поступає в башту B_1 і



a) $Q < Q_{кр}$



б) $Q = Q_{кр}$



в) $Q > Q_{кр}$

Рисунок 11 - Характер живлення системи в залежності від величини

Величину $Q_{кр}$ можна знайти із співвідношення
 $S_1 Q_{кр}^2 = H_1 - H_2 = h_1''$.
 Тоді

$$Q_{кр} = \sqrt{\frac{H_1 - H_2}{S_1}}$$

Якщо $Q > Q_{кр}$, живлення мережі буде двостороннім. При цьому величини витрат Q_1 і Q_2 , а також напір в вузлі H_A''' і можуть бути знайдені з таких співвідношень

$$h_1''' = S_1 Q_1^2; \quad h_2''' = S_2 Q_2^2; \quad Q_1 + Q_2 = Q;$$

$$H_1 - S_1 Q_1^2 = H_2 - S_2 Q_2^2$$

або

$$S_1 Q_1^2 - S_2 Q_2^2 = H_1 - H_2.$$

Найбільшу допустиму величину Q в вузлі A можна одержати, якщо напір в ньому стане рівним потрібному H_A .

Величини $Q_{макс}$ і $H_{A\ мин}$ зв'язані співвідношеннями

$$h_{1\ макс} = H_1 - H_{A\ мин},$$

$$S_1 Q_{макс}^2 = H_1 - H_{A\ мин}.$$

Тоді найбільша можлива подача від башти B_1 буде

$$Q_{1\ макс} = \sqrt{\frac{H_1 - H_{A\ мин}}{S_1}}$$

Найбільша можлива подача від башти B_2 буде

$$Q_{2\ макс} = \sqrt{\frac{H_2 - H_{A\ мин}}{S_2}}$$

Тоді максимальна витрата в вузлі A може бути рівною

$$Q_{макс} = Q_{1\ макс} + Q_{2\ макс}.$$

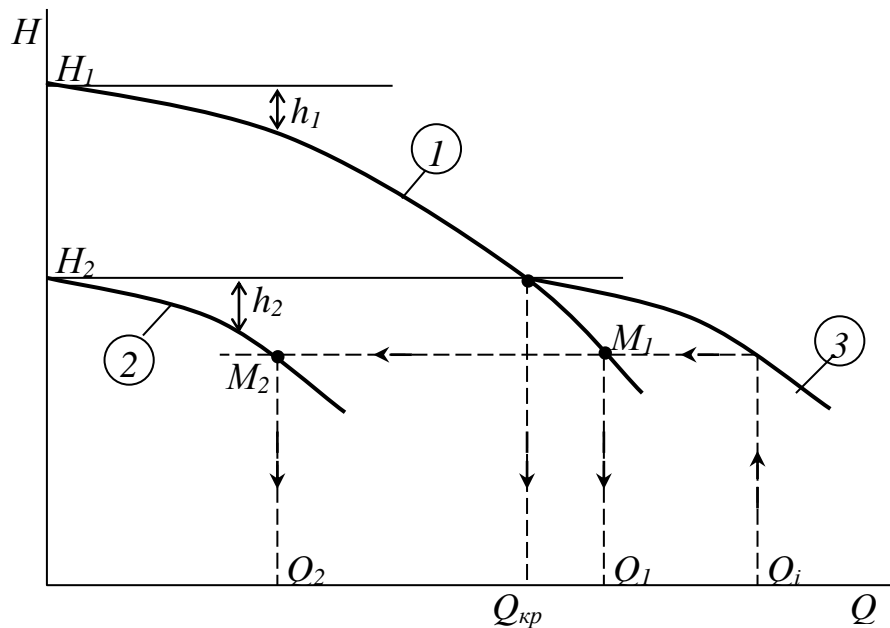
3. Задача також може розв'язуватись графічно (рис. 12). Особливо це доцільно, коли замість однієї башти використовується насосна станція.

Порядок розв'язування задачі:

- Провести паралельно осі абсцис лінії, які відповідають висотам B_1 і B_2 .
- Побудувати характеристики кожної з башт з врахуванням характеристик трубопроводів, які підводять воду до вузла A . Для цього з ординат вихідних характеристик башт вирахувати втрати напору в трубопроводах h_1 і h_2 .

- Побудувати характеристику сумісної роботи обох башт на мережу, яка виконується так, як і будівання характеристики сумісної паралельної роботи двох різних насосів.

Точка, з якої починається надходження води в мережу від обох башт, визначає критичну витрату. Для того щоб знайти витрати Q_1 і Q_2 , необхідно з точки, яка відповідає величині відбору Q_i , провести перпендикуляр до перетику з характеристикою сумісної роботи башт на мережу. Потім з точки перетину провести лінію паралельну вісі абсцис до її перетину з відповідними характеристиками башт.



- 1 - характеристика мережі від башти B_1 ,
- 2 - характеристика мережі від башти B_2 ,
- 3 - характеристика мережі від башти B_1 і B_2 .

Рисунок 12 - Графічний аналіз елементарної системи

Точки перетину M_1 і M_2 визначають величини витрат, які надходять від башт B_1 і B_2 відповідно. Схема системи приведена на рис. 13.

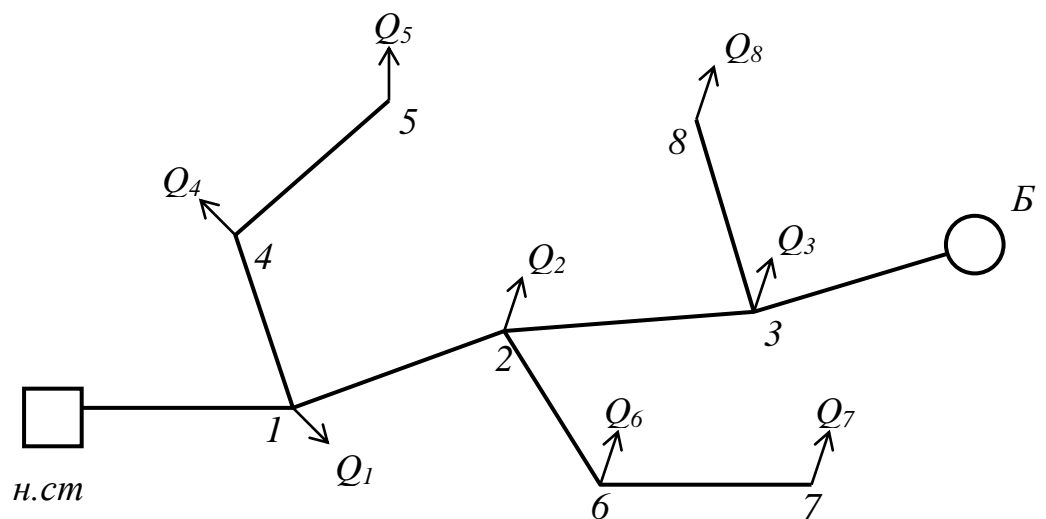
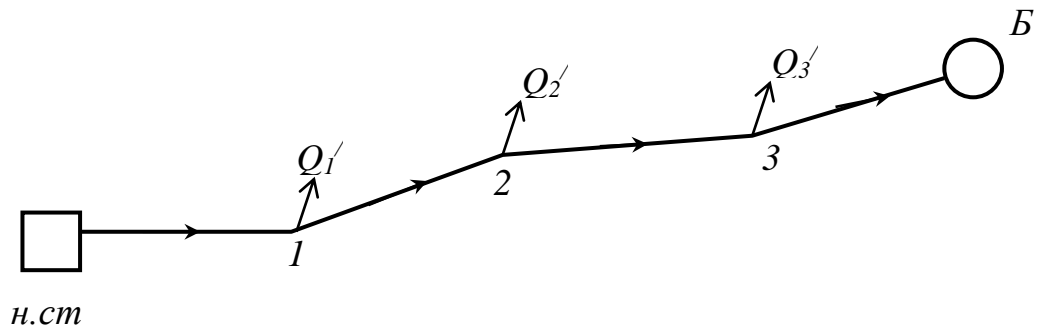


Рисунок 13 - Схема системи, яка аналізується

У вузлах мережі відомі фіксовані витрати Q_i , гідравлічні опори ділянок S_i , характеристики водоживлювачів. Необхідно визначити подачі водоживлювачів і напори в вузлах системи. Реальну схему можна замінити спрощеною схемою (рис.14), якщо врахувати, що відгалуження доцільно замінити зосередженими витратами. В такій схемі є критична витрата при $Q_6 = 0$. В цей момент сумарна втрата напору в магістралі до точки 3 буде дорівнювати різниці напору, який створюється насосом, і розрахункової позначки рівня води в баці башти.

При $\sum Q_i > (\sum Q_i)_{кр}$ живлення магістралі буде двостороннім, при $\sum Q_i < (\sum Q_i)_{кр}$ буде спростерігатися транзит води в башту. В час мінімального водоспоживання в башту буде надходити витрата



$$Q_6 = Q_n - (\sum Q_i)'$$

В цьому випадку витрата Q_6 повинна розглядатися як нефіксований відбір.

В такій системі буде p невідомих лінійних витрат q_{ik} , невідома подача Q_n і невідомий нефіксований відбір Q_6 , а також $m-1$ невідомих вузлових напорів H_i . Загальна кількість невідомих

$$p + e + m - 1 .$$

Для розв'язання цієї задачі можна використати m рівнянь першої групи, p рівнянь другої групи, $e-1$ рівнянь четвертої групи, тобто загальна кількість рівнянь достатня для визначення всіх невідомих. Разом з тим кількість невідомих витрат перевищує число рівнянь першої групи $p + e > m$ ($p=4, e=2, p+e=6, m=5$).

Щоб розв'язати цю задачу необхідно додаткове рівняння, яким може бути рівняння “зовнішньої ув'язки” насосів і башти

$$H_n - (\sum h_{ik})_n = H_6 .$$

Рівняння першої групи можна представити у вигляді

$$Q_n = Q_6 + \sum Q_i .$$

Тоді разом з рівнянням, яке відображає характеристику насоса

$$H_n = F(Q_n)$$

одержимо три рівняння, які достатні для визначення головних трьох невідомих Q_n , Q_6 і H_n .

В рівнянні “зовнішньої ув’язки” всі витрати можуть бути зображені через невідому витрату Q_6 та відомі фіксовані відбори в вузлах Q_i . Наприклад, для мережі, яка приведена на рис. 14, одержимо

$$H_n - [S_{1-н.ст.}(Q_6 + \sum Q_i)^2 + S_{1-2}(Q_6 + Q_2' + Q_3')^2 + S_{2-3}(Q_6 + Q_3')^2 + S_{3-6} Q_6^2] = H_6.$$

Цей вираз - характеристика **Q-H** магістралі, яка з’єднує насос з баштою. Її символічно можна представити у вигляді

$$H_n - \varphi(Q_6) = H_6.$$

При $Q_6=0$ це рівняння дає величину H_n , яке відповідає моменту, коли $\sum Q_i = (\sum Q_i)_{кр.}$

Аналіз роботи системи може бути проведено також графічно. При цьому методика буде аналогічною розглянутій раніше тільки замість першої башти приймається характеристика **Q-H** насоса.

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.

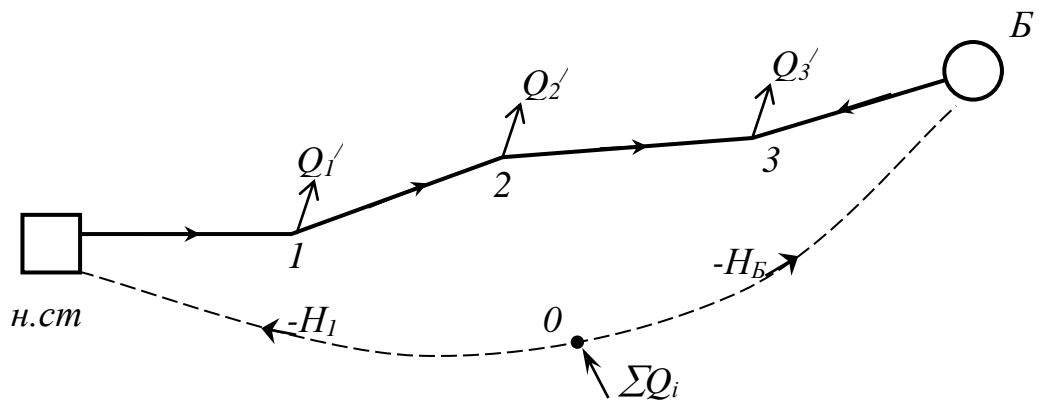


Рисунок 15 - Схема розгалуженої мережі при двохсторонньому живленні

Складемо рівняння зовнішньої ув’язки для системи на рис. 15. 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 $\sum Q_{вузл.} = 0$.

Головне балансове рівняння для системи буде мати вигляд

$$Q_n + Q_6 - \sum Q_i = 0.$$

або

$$\sum Q_i = Q_n + Q_6.$$

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. 16.

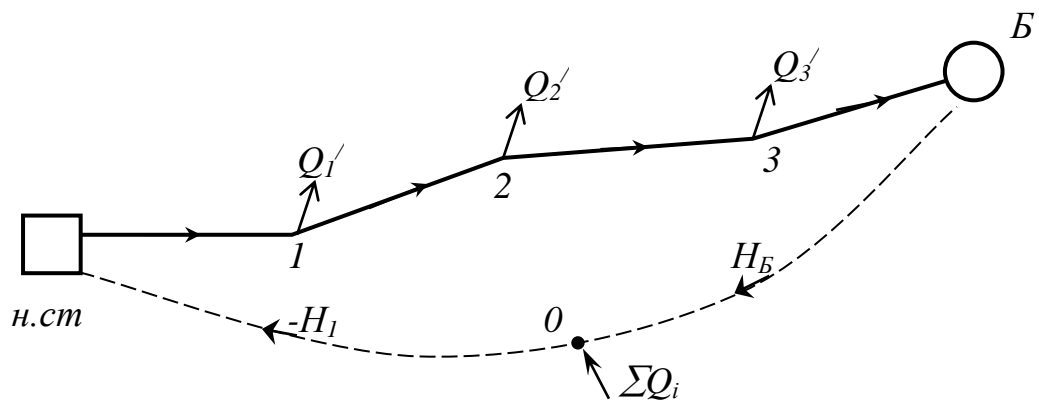


Рисунок 16 - Схема розгалуженої мережі при односторонньому живленні

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

$$\sum Q_i + Q_6 = Q_n.$$

Рівняння ув'язки фіктивного кільця має вигляд

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

Знак "плюс" перед напором H_6 пояснюється тим, що рух води в фіктивній лінії в цьому випадку повинен бути до фіктивного вузла.

Питання для самоконтролю

1. Що таке фіктивні витрати?
2. Як скласти рівняння зовнішньої ув'язки?
3. Як змінюється живлення мережі в залежності від водовідбору?
4. Що таке критична витрата?
5. Рівняння Ейлера?