

### Тема 3. Загальний аналіз найпростішої системи

1. Характер живлення системи в залежності від величини відбору.
2. Графічний аналіз елементарної системи.
3. Перевірочний розрахунок розгалуженої мережі з однією насосною станцією і однією водонапірною баштою.

1. Самою 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 п'єзометрична має односторонній ухил в сторону другої башти (рис. 11а). Якщо збільшувати відбір в вузлі  $A$  до величини  $Q_1$ , то в другу башту надходження води не буде, і п'єзометрична лінія від вузла  $A$  до  $B_2$  буде горизонтальною (рис. 11, б). Ця витрата буде критичною

$$Q_{кр} = Q = Q_1$$

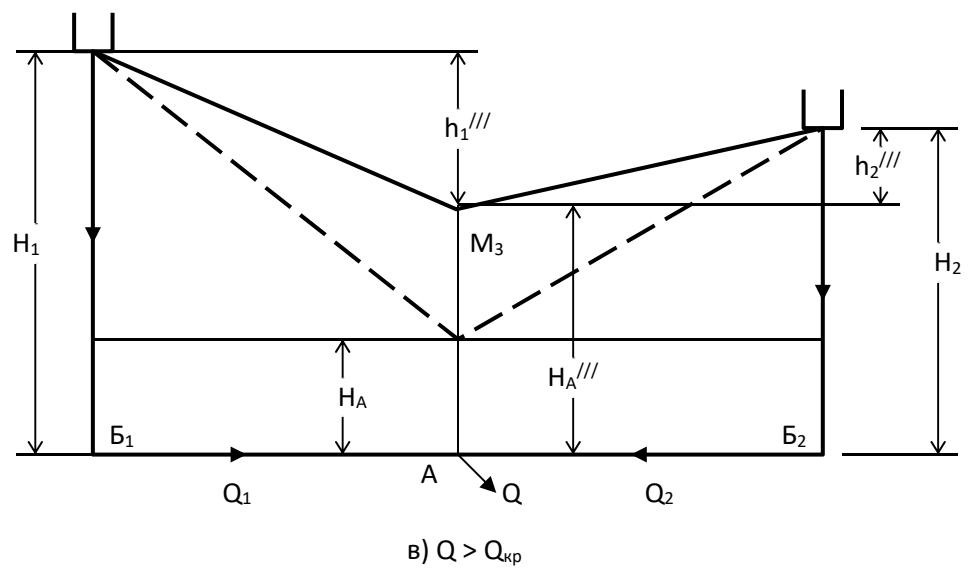
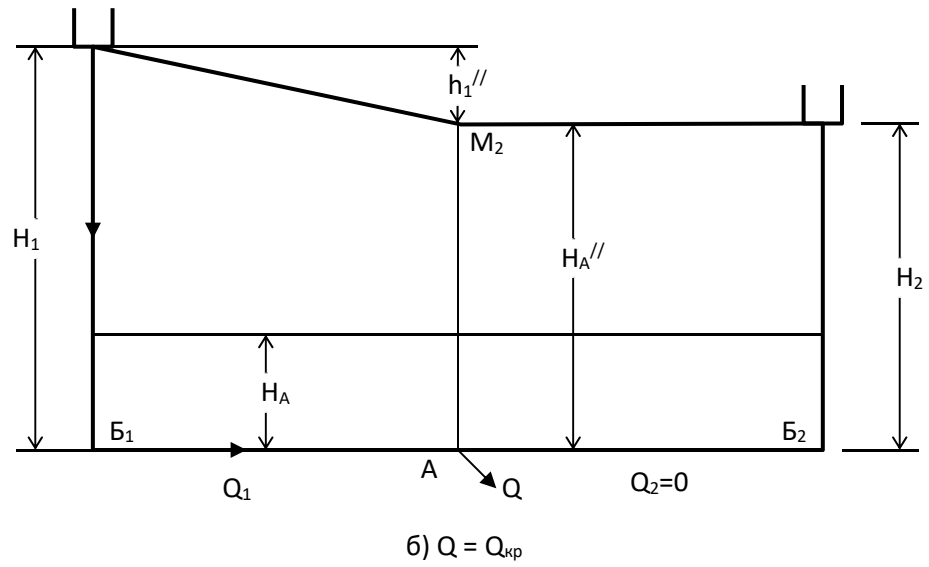
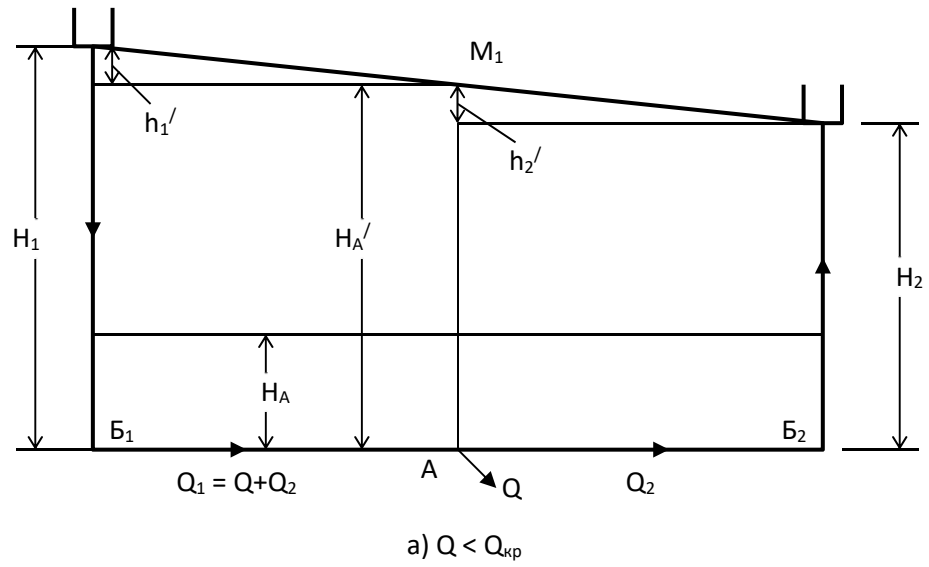


Рисунок 11 - Характер живлення системи в залежності від величини

відбору

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

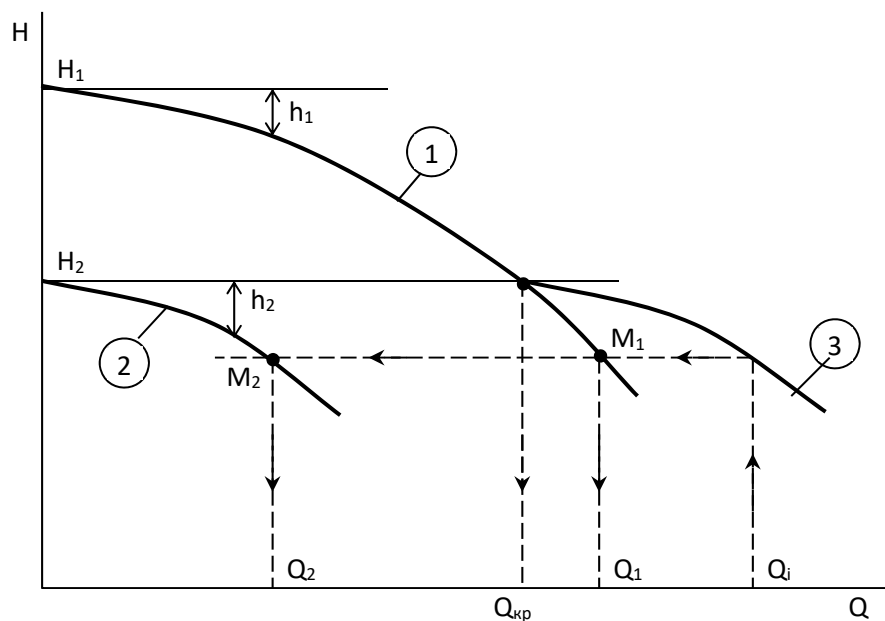
$$Q_{макс} = Q_{1\ макс} + Q_{2\ макс}.$$

2. 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 А. 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 осі 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 **Б**<sub>1</sub> і **Б**<sub>2</sub> .

Рисунок 12 - Графічний аналіз елементарної системи

Точки перетину **М**<sub>1</sub> і **М**<sub>2</sub> визначають величини витрат, які надходять від башт **Б**<sub>1</sub> і **Б**<sub>2</sub> відповідно.

3. Схема системи приведена на рис. 13.

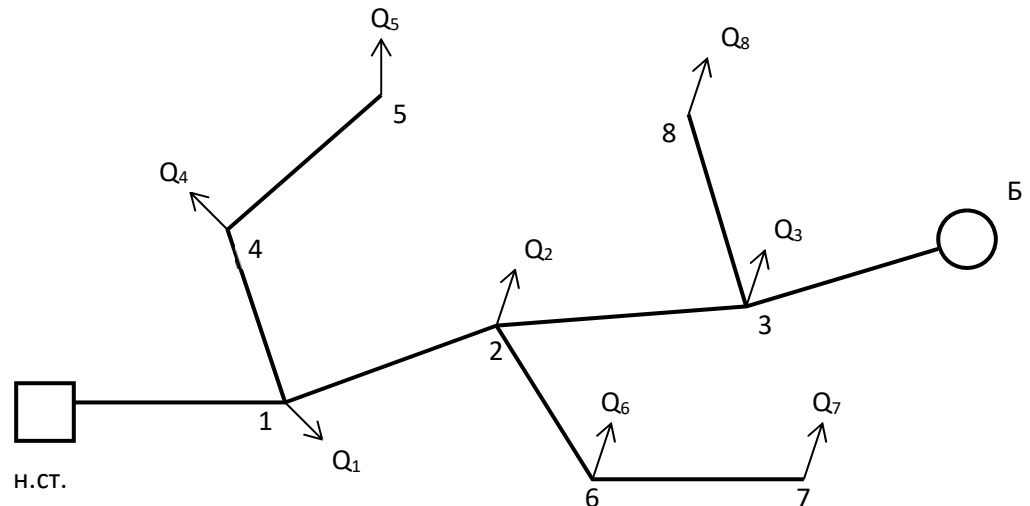
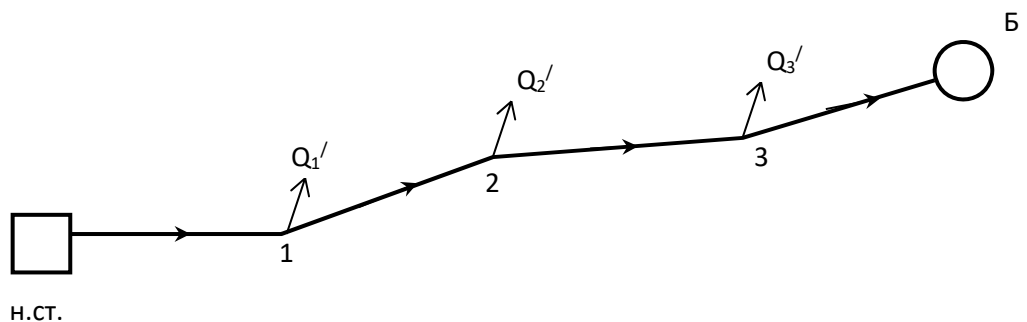


Рисунок 13 - Схема системи, яка аналізується

В 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 насосу

$$H_n = F(Q_n)$$

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

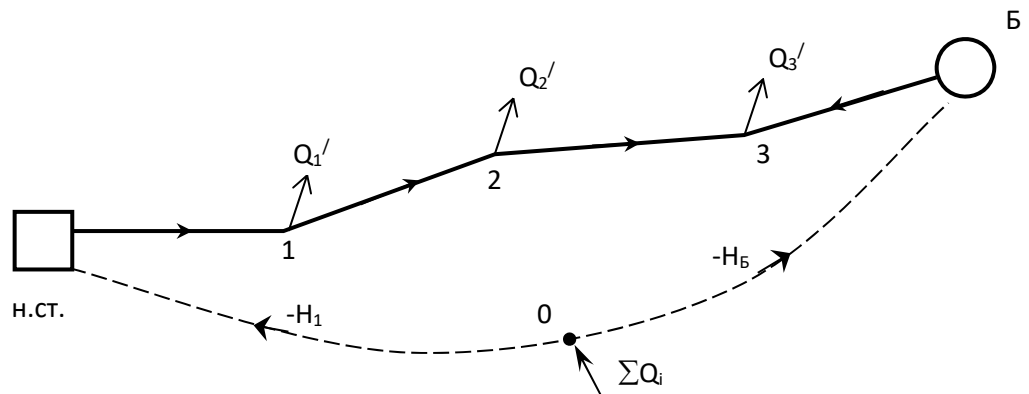
$$H_n - \varphi(Q_6) = H_6 .$$

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

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 розгалуженної 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  $\Sigma Q_{вузл.} = 0$ .

Головне балансове рівняння для системи буде мати вигляд

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

або

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

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.

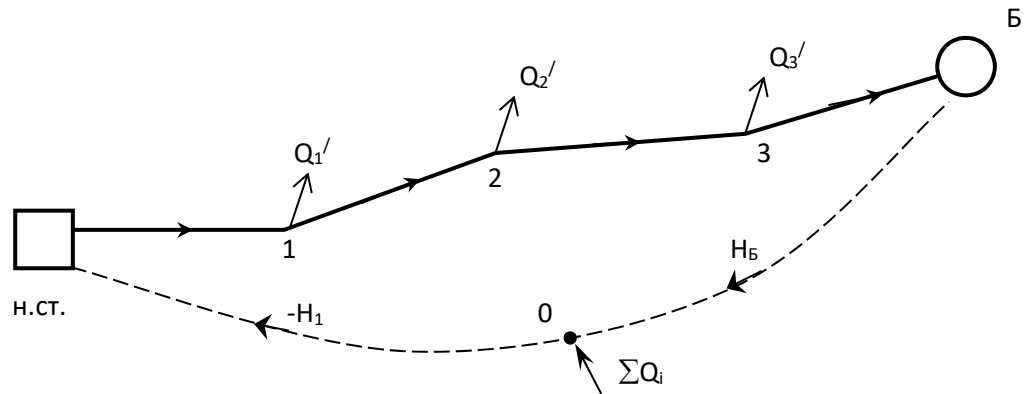


Рисунок 16 - Схема розгалуженої мережі при односторонньому живленні

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?