

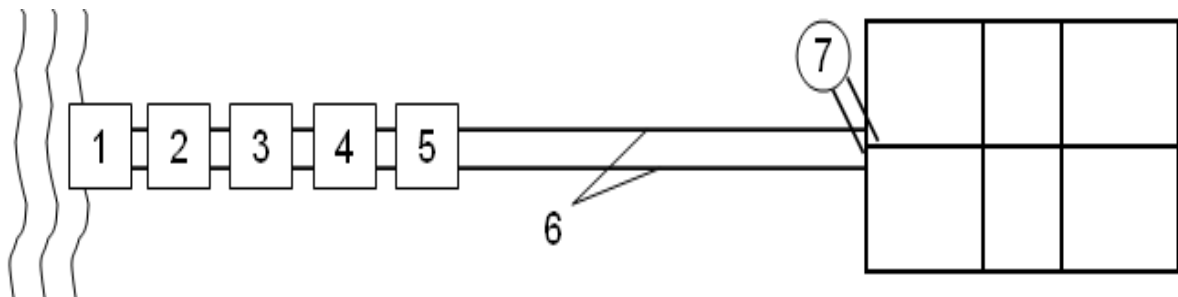
Добровольська О.Г.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ  
РОБОТИ СИСТЕМ  
ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА  
ВОДОВІДВЕДЕННЯ

**•Тема 1. Гідравлічні характеристики окремих елементів систем водопостачання**

- 1. Задачі розрахунків гідравлічного комплексу споруд систем водопостачання.
- 2. Гідравлічні характеристики елементів систем подачі та розподілу води.
- 3. Співставлення напірно-витратних характеристик.
- 4. Характеристика відборів води з системи.
- 5. Гідравлічні характеристики водопровідних ліній.

1



**Рисунок 1 – Схема системи водопостачання для господарсько-питних потреб міста**

1 – водозабірні споруди;

5 – насосна станція II підйому;

2 – насосна станція I підйому;

6 – водогони;

3 – очисні споруди;

7 – водонапірна башта;

4 – резервуари чистої води;

8 – водогінна мережа.

Складність розв'язування цієї задачі визначається великою кількістю чинників, які впливають на елементи комплексу та складністю цих чинників. До таких чинників відносяться:

- а) місцеві природні умови;
- б) необхідність аналізу динаміки гідравлічних комплексів;
- в) економічні міркування;
- г) вимоги надійності.

## 2

Головними елементами систем подачі та розподілу води, які створюють єдиний гідравлічний комплекс, являються:

- *лінії*, які подають (проводять) воду - водоводи, ділянки мережі;
- *водоживлювачі*-насоси, резервуари, які живлять мережу, пневматичні установки;
- пристрої, які відбирають воду з мережі - *відбори*.

### Відцентрові насоси.

$$H = a_0 + a_1Q + a_2Q^2 + \dots + a_nQ^n.$$

$$H = a_0 + a_1Q + a_2Q^2,$$

де  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  - коефіцієнти, які обчислюються на основі графічних характеристик

$$H = H_0 - S_n Q^2,$$

де  $H_0$  - напір насосу при  $Q = 0$  і параболічній залежності;

$S_n$  - фіктивний опір насосів.

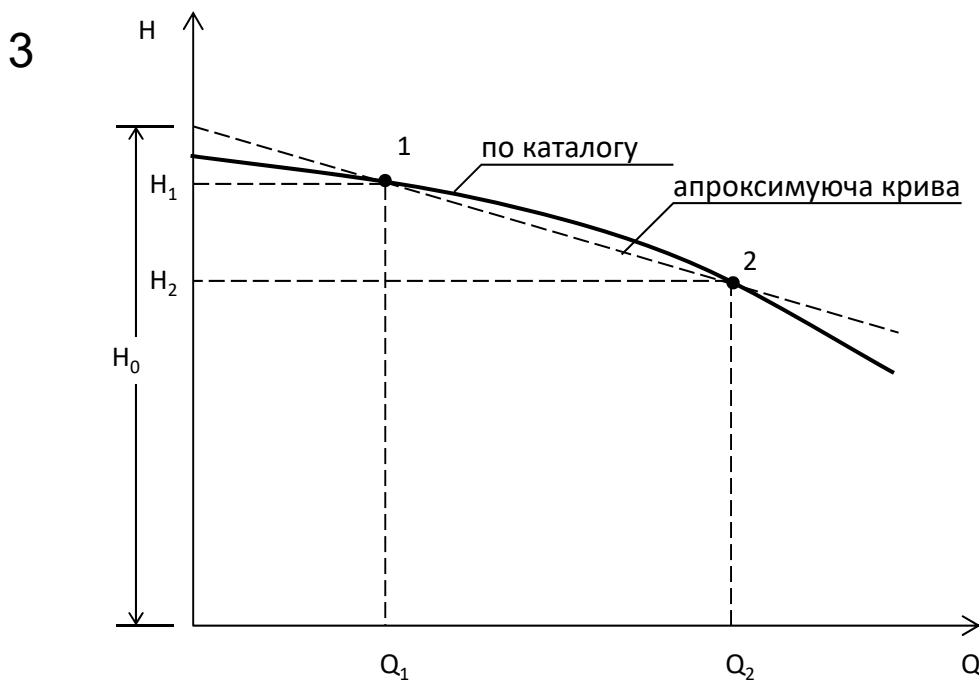


Рисунок 1 - Співставлення напірно-витратних характеристик

Якщо парабола проходить через точки 1 і 2, то справедливі рівняння

$$H_1 = H_0 - S_n Q_1^2 \quad \text{та} \quad H_2 = H_0 - S_n Q_2^2.$$

$$S_n = \frac{H_1 - H_2}{Q_2^2 - Q_1^2} \quad \text{і} \quad H_0 = H_1 + S_n Q_1^2 = H_2 + S_n Q_2^2.$$

Для групи насосів, які працюють паралельно, загальний коефіцієнт опору буде:

$$S_{zp} = \frac{1}{n^2} S_n$$

де  $n$ - кількість насосів, які працюють паралельно;

$S_n$  - фіктивний опір одного насоса.

Поряд з квадратичною залежністю В.Г. Ільїн користується також залежністю

$$H = H_0 - S_n Q^{1,85}.$$

При обточені колеса насосу величину  $S_n$  в межах робочої ділянки можна залишити без зміни, а нове значення початкового напору  $H_0$  визначити із виразу

$$H'_0 = H_0 \left( \frac{D'_0}{D_0} \right)^2$$

де  $H'_0$  і  $D'_0$  - напір і діаметр робочого колеса після обточки.

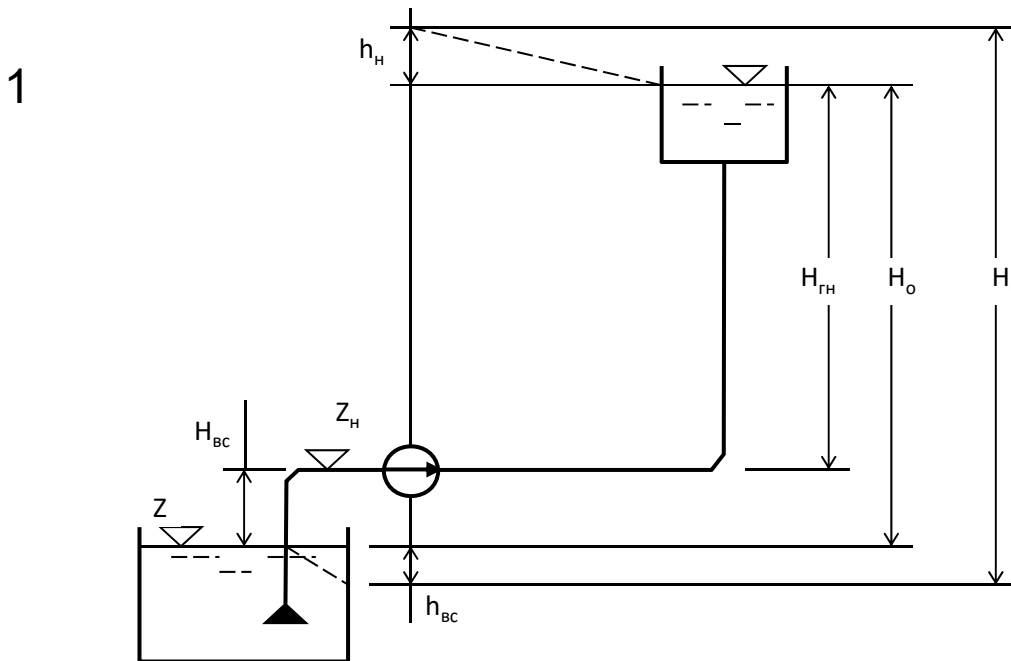
- 4 **Нефіксовані відбори** - це відбори в системі міського водопостачання, величина яких залежить від тиску в мережі.

$$h_m = \xi \frac{v^2}{2g} = \frac{\xi Q^2}{2g(\pi d^2 / 4)^2} = \frac{8\xi}{g \pi^2 d^4} Q^2 = S_m Q^2,$$

де  $d$  - діаметр труби, на якій встановлено місцевий опір.

## Тема 2. Комбінації елементів в гідравлічних комплексах і їх характеристики

1. Перша елементарна комбінація елементів гідравлічного комплексу.
2. Визначення подачі і напору насоса в елементарній системі.
3. Друга елементарна комбінація гідравлічних комплексів.
4. Визначення подачі і напору насоса в другій елементарній системі.
5. Третя елементарна комбінація гідравлічних комплексів.

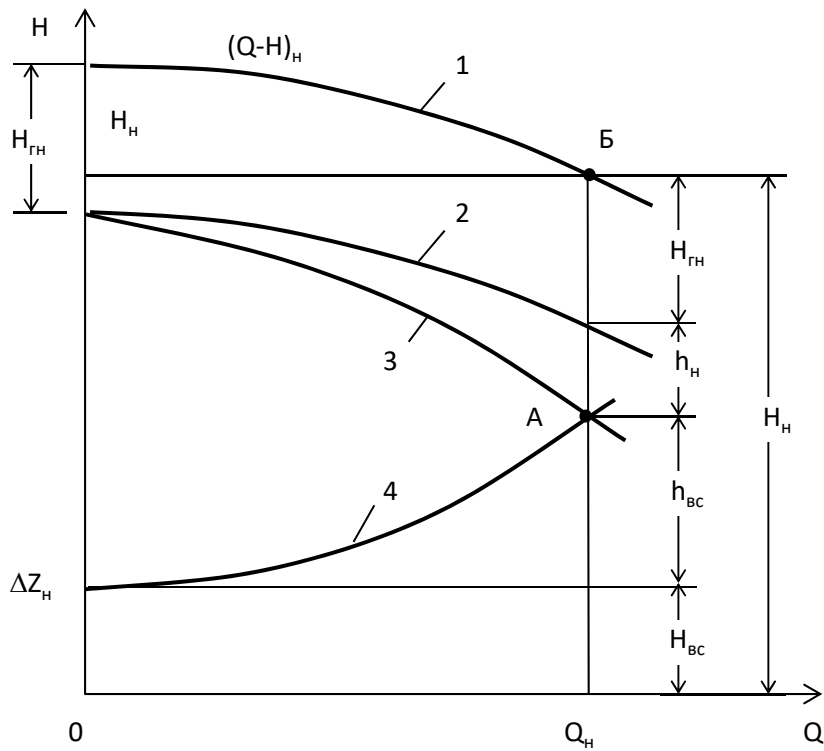


Перша елементарна комбінація елементів гідравлічного комплексу

Характеристика насоса задається кривою  $Q-H$  або її аналітичним виразом  $H=F(Q)$ , де  $H$  - повна висота підйому води

$$H_n = H_{ст} + h_n + H_{ст} + h_{ст} .$$

2

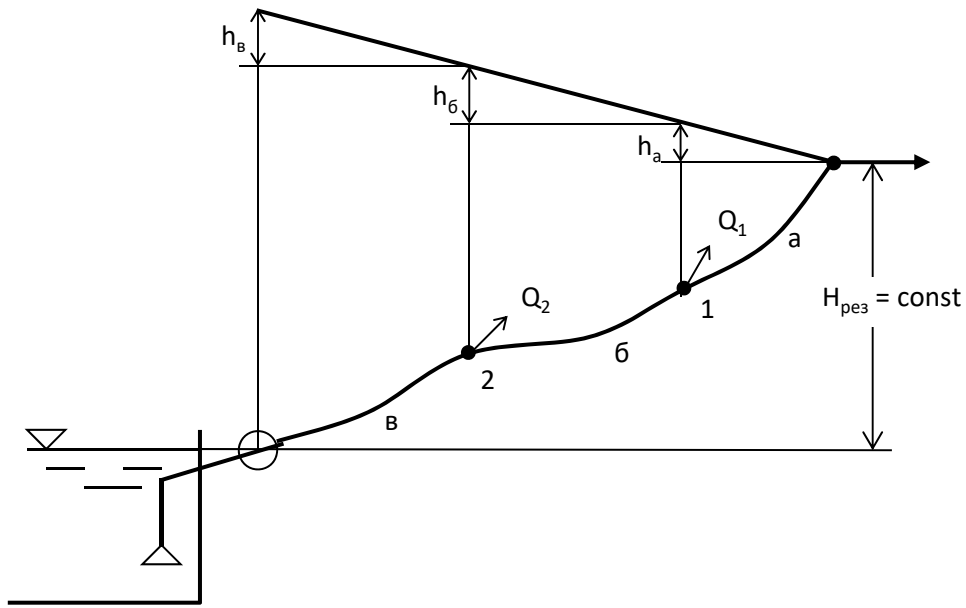


Визначення подачі і напору насоса в елементарній системі

$$\begin{cases} H_n = F(Q), \\ H_n = H_{гн} + H_{вс} + S_n Q^2 + S_{вс} Q^2. \end{cases}$$

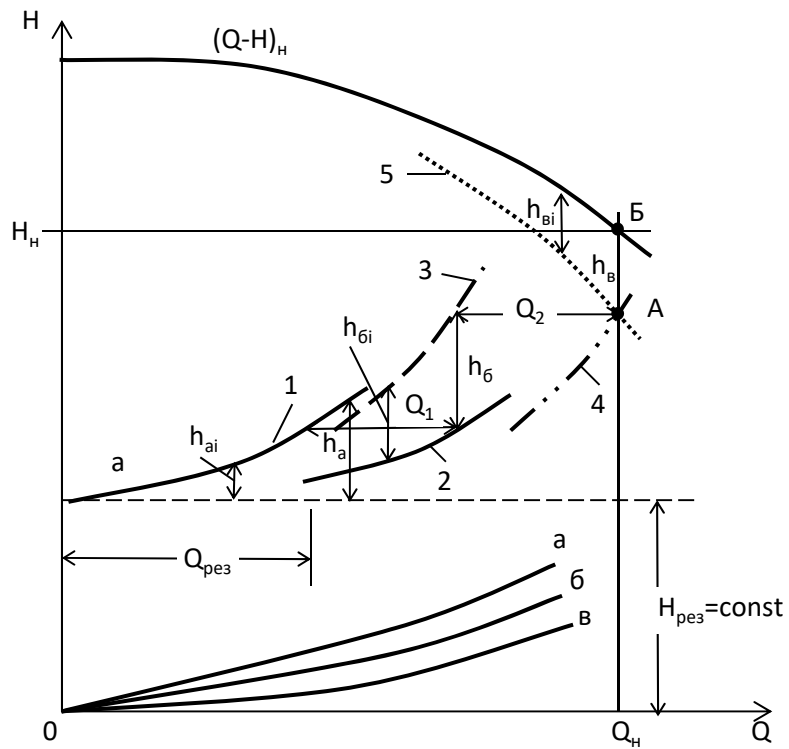


3



Друга елементарна комбінація гідравлічних комплексів

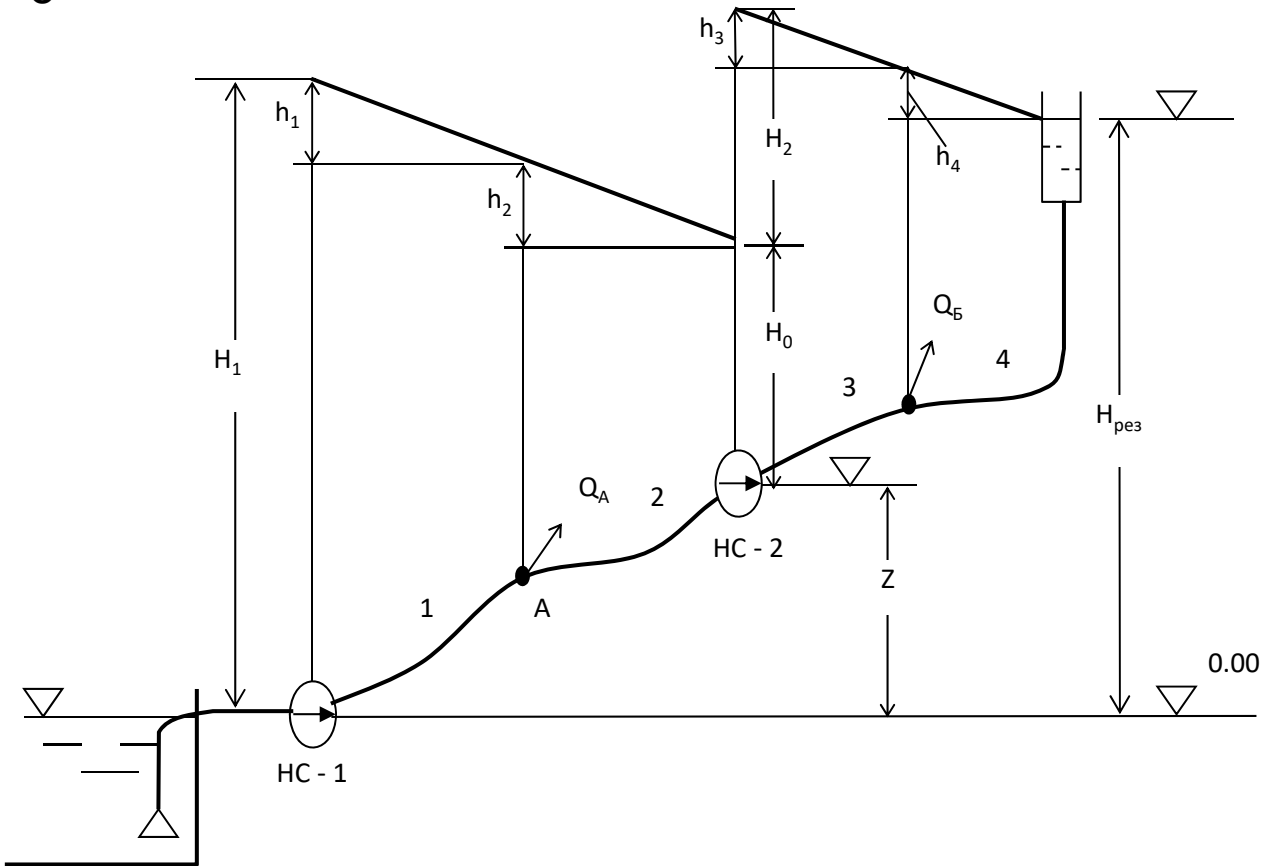
4



Визначення подачі і напору насоса в другій елементарній системі

$$\begin{cases} H_H = f(Q), \\ H_H = H_{рез} + S_6 Q_H^2 + S_6 (Q_H - Q_2)^2 + S_6 (Q_H - Q_1 - Q_2)^2. \end{cases}$$

5



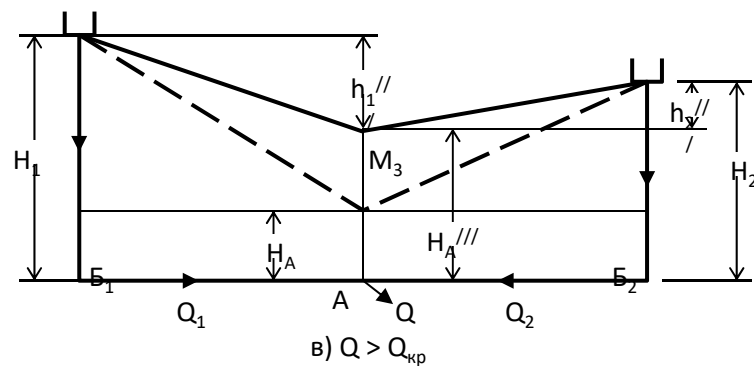
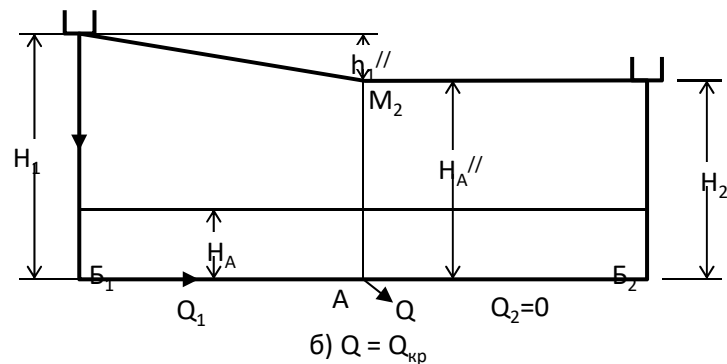
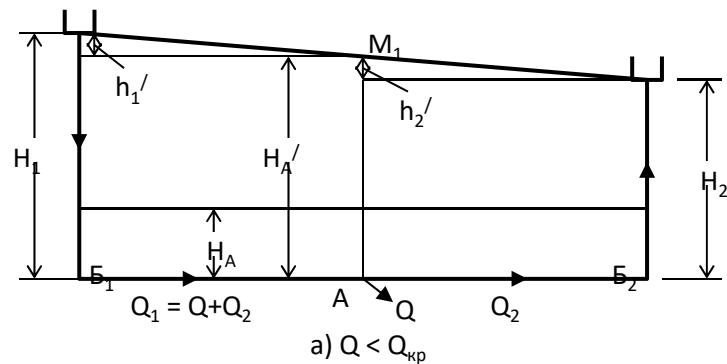
Третя елементарна комбінація гідравлічних комплексів

$$\begin{cases} H_0 + z = H_1 - S_1 Q_1^2 - S_2 (Q_1 - Q_A)^2, \\ H_0 + z = H_{рез} + S_4 (Q_1 - Q_A - Q_B)^2 + S_3 (Q_1 - Q_A)^2 - H_2. \end{cases}$$

### Тема 3. Загальний аналіз найпростішої системи

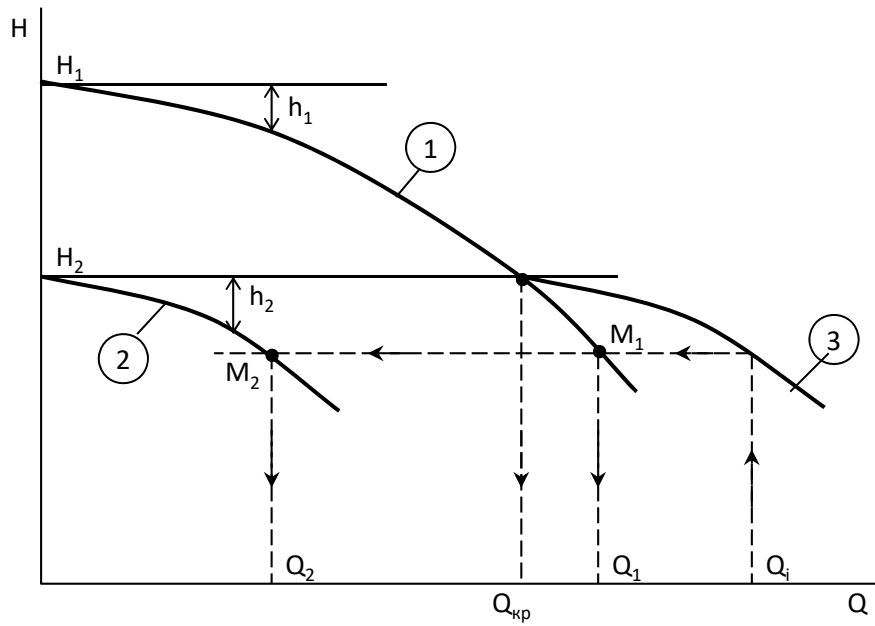
1. Характер живлення системи в залежності від величини відбору.
2. Графічний аналіз елементарної системи.
3. Перевірочний розрахунок розгалуженої мережі з однією насосною станцією і однією водонапірною баштою.

1



Характер живлення системи в залежності від величини

2

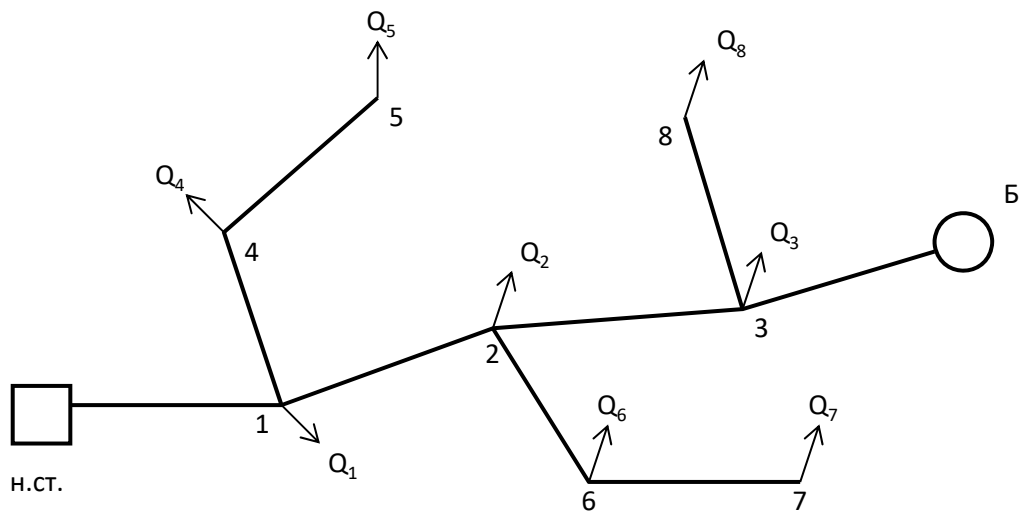


характеристика мережі від башти  $\mathbf{B}_1$ ,

2 - характеристика мережі від башти  $\mathbf{B}_2$ ,

3 - характеристика мережі від башти  $\mathbf{B}_1$  і  $\mathbf{B}_2$ .

Графічний аналіз елементарної системи



3

Схема системи, яка аналізується

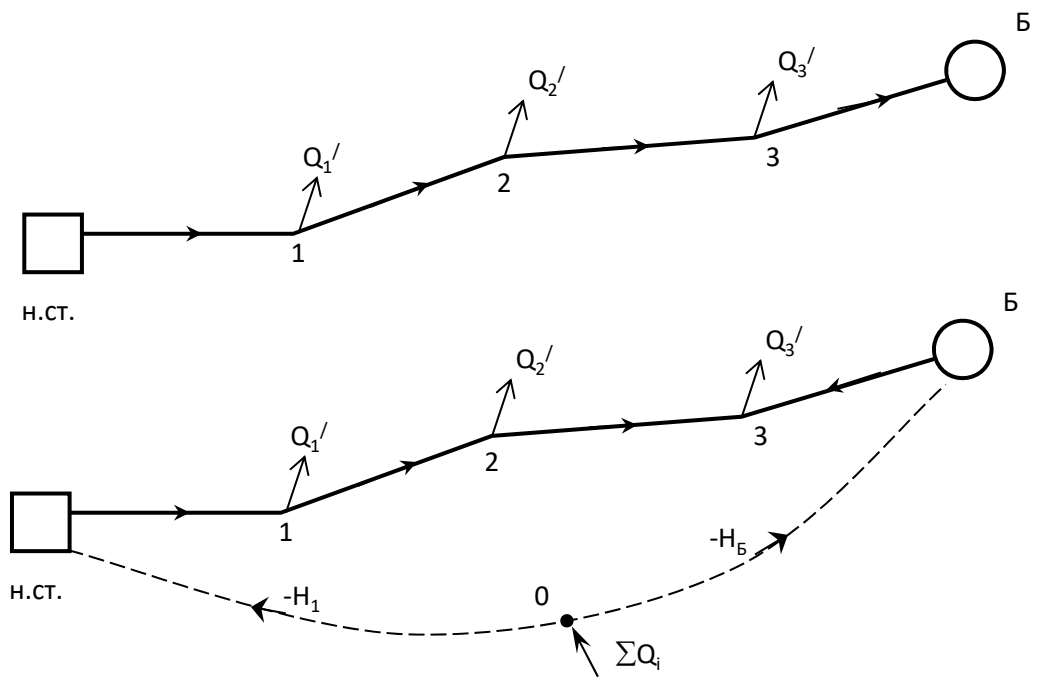


Схема розгалуженної мережі при двохсторонньому живленні

4

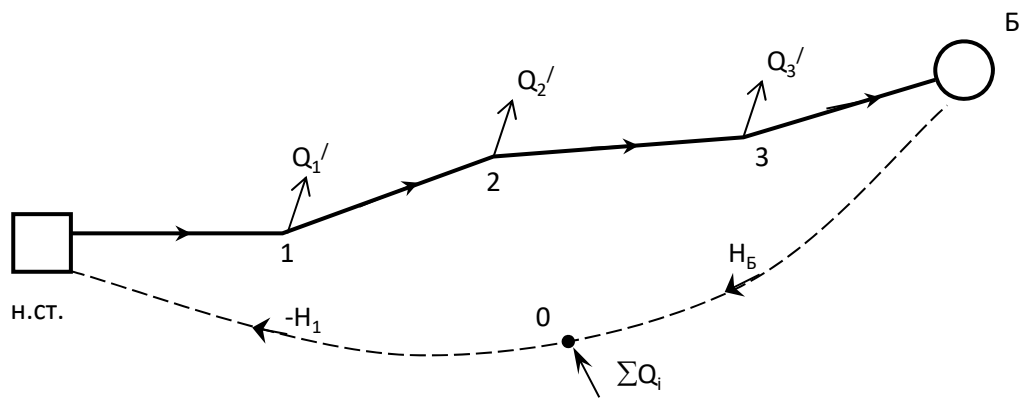


Схема розгалуженої мережі при односторонньому живленні

## Тема 4. Характеристики розгалужених мереж в комплексах

- 1.Схема системи з двома насосними станціями і однією водонапірною баштою.
2. Схема розгалуженої мережі при двохсторонньому живленні.
- 3.Принцип розрахунку розгалужених систем з кількома насосними станціями і кількома напірно-регулюючими резервуарами.
- 4.Перевірочні розрахунки водоподаючих систем, в яких є замкнуті контури

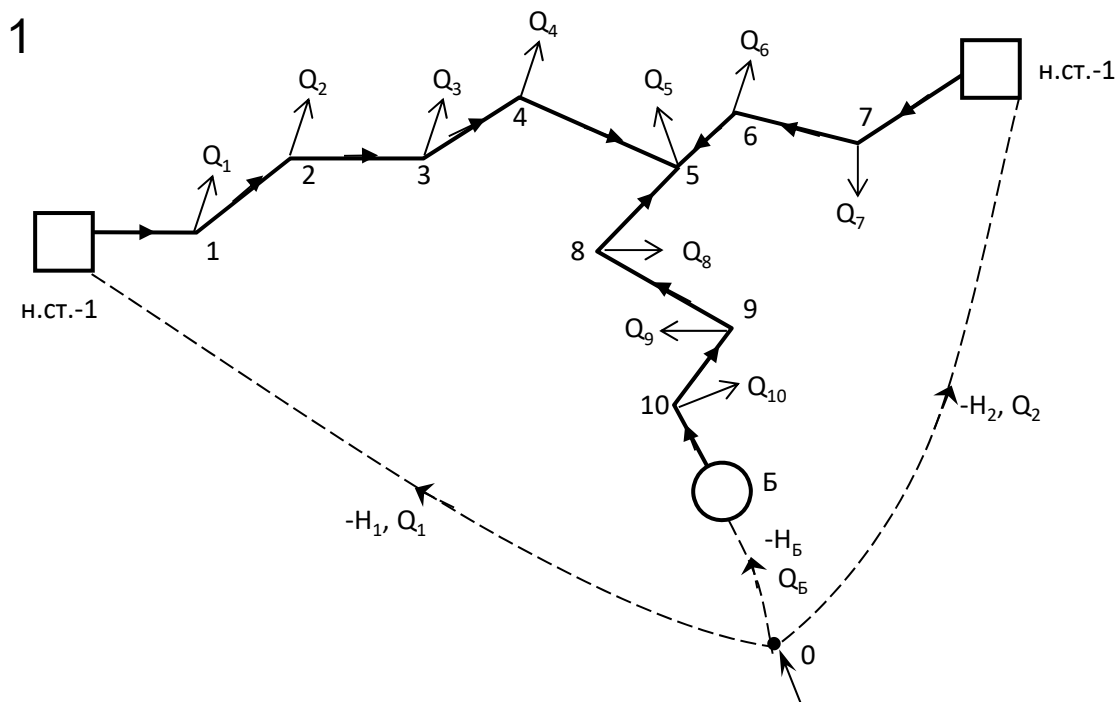


Рисунок 1 - Схема системи з двома насосними станціями і однією водонапірною баш

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 подачі води з башти

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

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

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

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

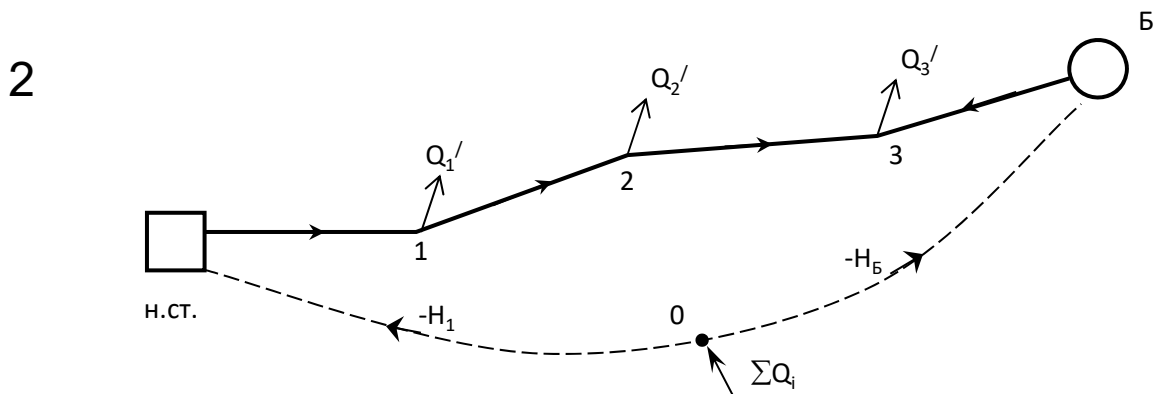


Рисунок 2 - Схема розгалуженої мережі при двохсторонньому живленні



Головне балансове рівняння для системи буде мати вигляд

$$Q_n + Q_{\bar{o}} - \sum Q_i = 0.$$

або

$$\sum Q_i = Q_n + Q_{\bar{o}}.$$

Рівняння ув'язки фіктивного кільця буде таким

$$-H_1 + (\sum h)_1 - (\sum h)_{\bar{o}} + H_{\bar{o}} = 0.$$

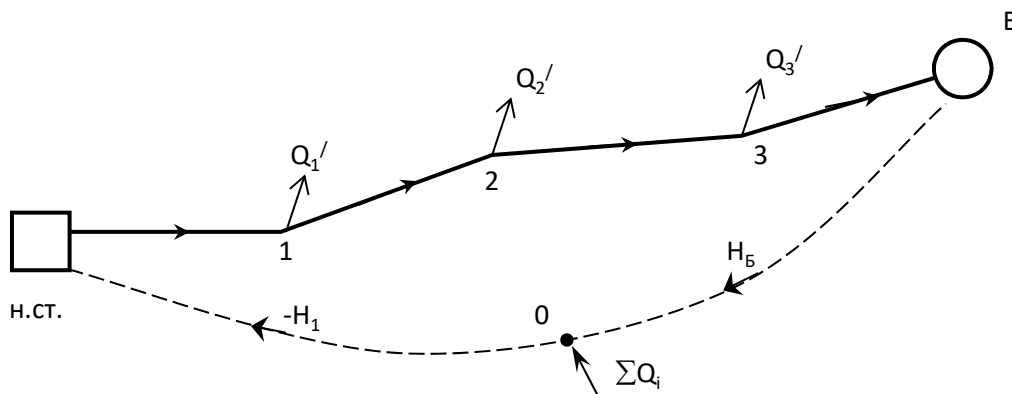


Рисунок 3 - Схема розгалуженої мережі при односторонньому живленні

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

$$\sum Q_i + Q_{\bar{o}} = Q_n.$$

Рівняння ув'язки фіктивного кільця має вигляд

$$H_n - (\sum h)_1 + H_{\bar{o}} = 0.$$

3

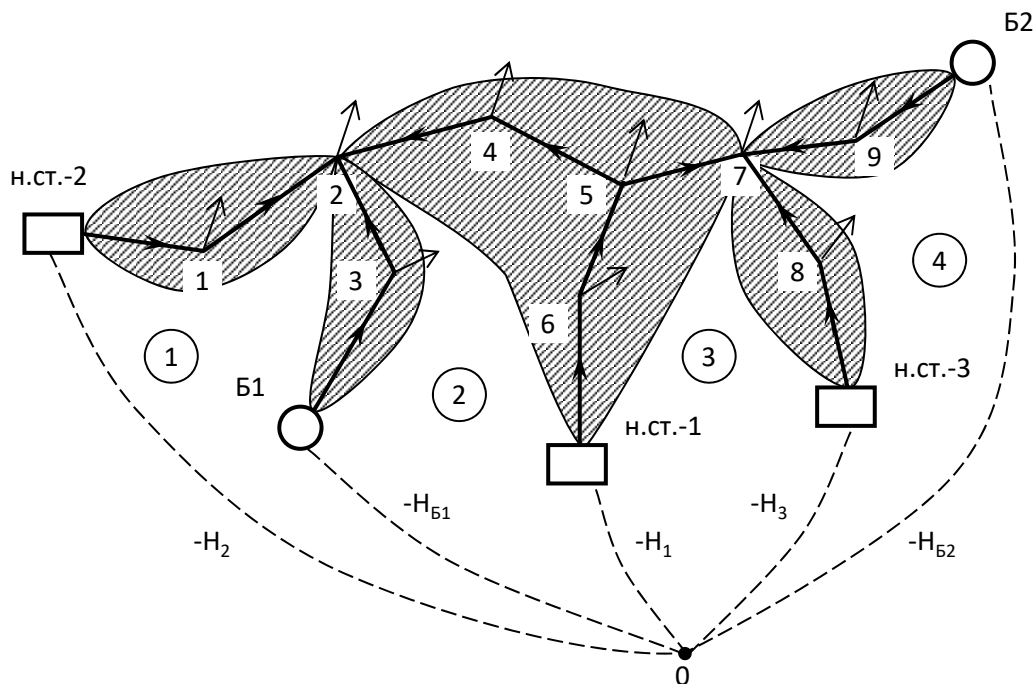


Рисунок 4 - Схема системи з трьома насосними станціями і двома водонапірними баштами

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:  $H_3 - (\sum h)_3 + (\sum h)_{\delta 2} - H_{\delta 2} = 0$ .

Якщо виразити всі напори в функції витрат водоживлювачів, то разом з балансовим рівнянням

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{\delta 1} + Q_{\delta 2} = \sum Q_i$$

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

4

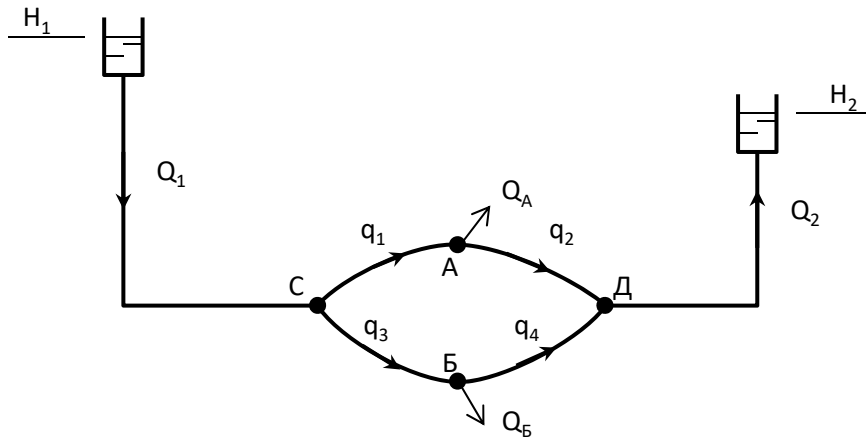


Рисунок 5 - Схема системи з одним кільцем і двома баштами

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

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

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

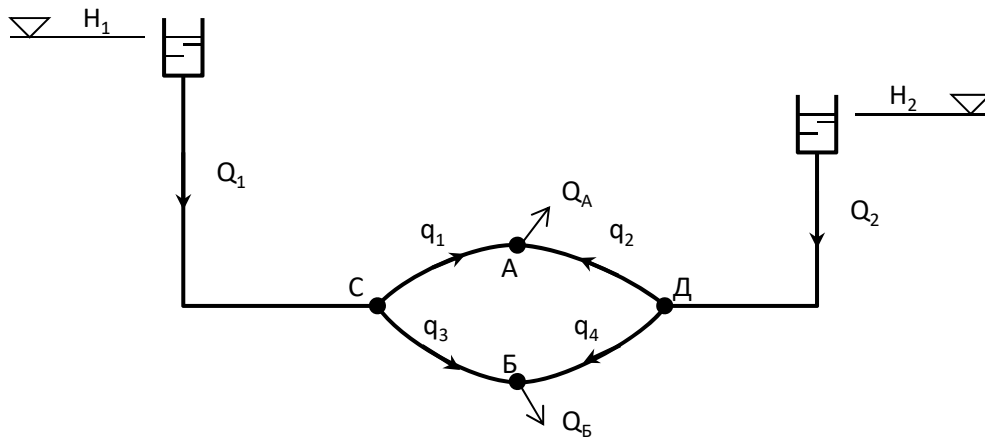


Рисунок 6 - Схема системи з одним кільцем і двома баштами,

які подають воду в мережу

. 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

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

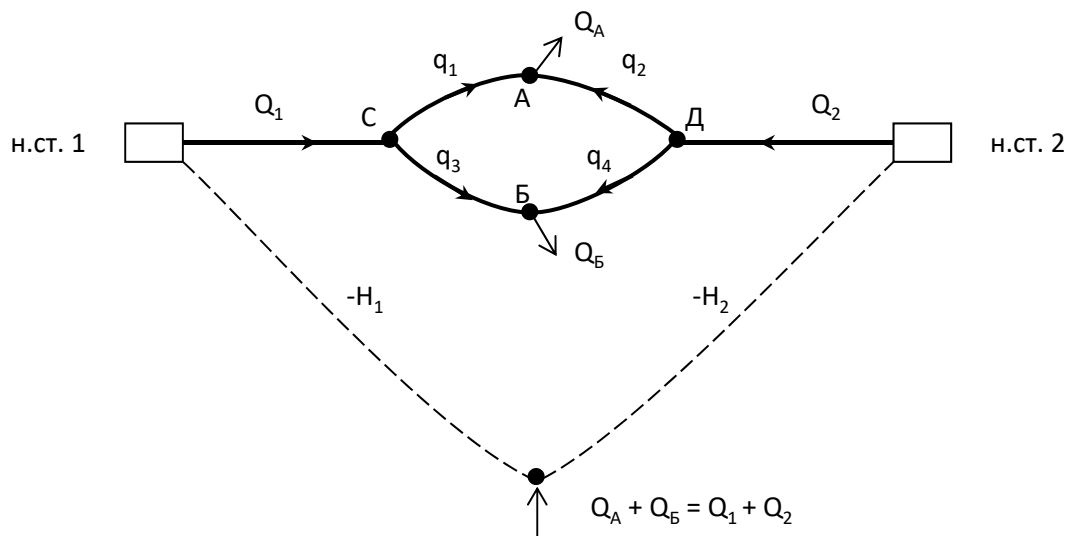


Рисунок 4.7 - Схема системи з одним кільцем і двома насосними станціями

При цьому рівняння буде мати вигляд

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

або

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

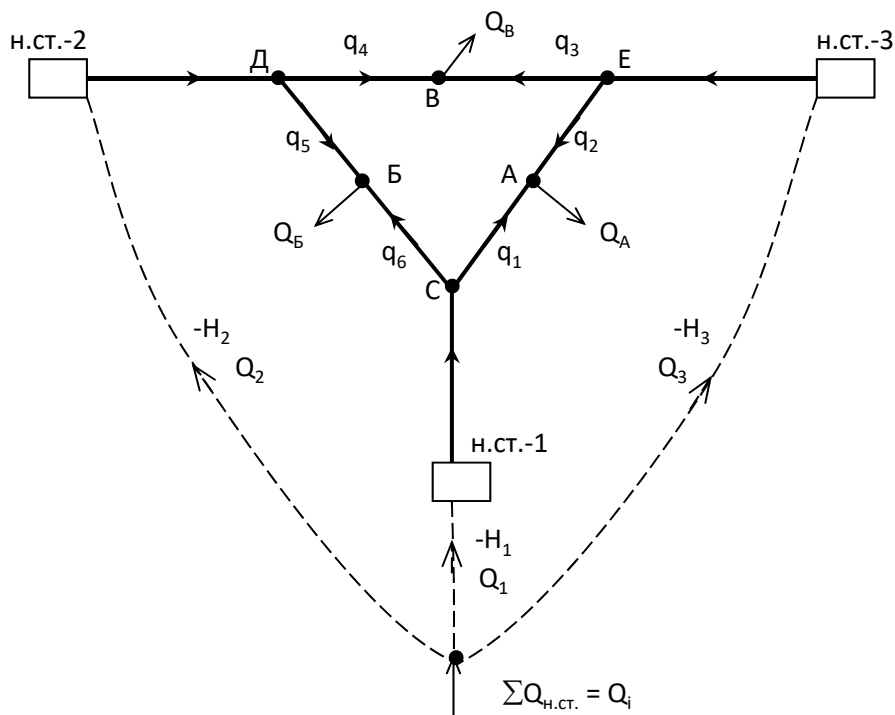


Рисунок 8 - Схема кільцевої системи з трьома насосними станціями

Рівняння ув'язок матимуть такий вигляд:

$$S_{CB} q_6^2 - S_{BD} q_5^2 + S_{DB} q_4^2 - S_{BE} q_3^2 + S_{EA} q_2^2 - S_{AC} q_1^2 = 0,$$

$$F(Q_1) - S_{н.ст.1-C} Q_1^2 + S_{AE} q_2^2 - S_{AC} q_1^2 + S_{E-н.ст.3} Q_3^2 - F(Q_3) = 0,$$

$$F(Q_2) - S_{н.ст.2-D} Q_2^2 - S_{DB} q_5^2 + S_{CB} q_6^2 + S_{н.ст.1-C} Q_1^2 - F(Q_1) = 0.$$

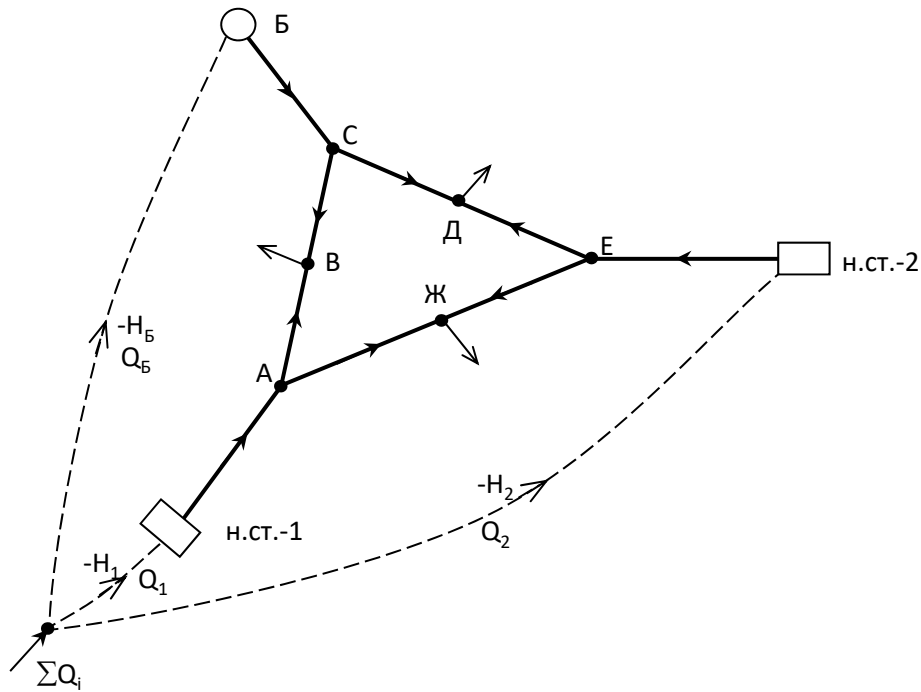


Рисунок 9 - Схема кільцевої мережі з двома насосними станціями і водонапірною баштою

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:

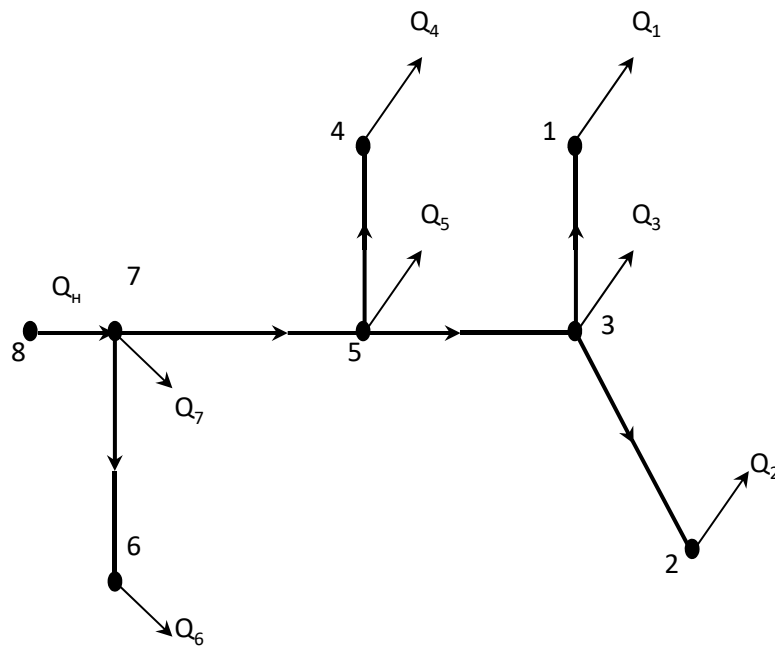
$$-H_B - (\sum h)_{BC} - (\sum h)_{CB} - (\sum h)_{AB} - (\sum h)_{н.ст.1-A} + F(Q_1) = 0,$$

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

## Тема 5. Перевірочні розрахунки елементів в гідравлічних комплексах з кільцевими мережами

1. Задачі перевірочних розрахунків.
2. Перевірочний розрахунок розгалужених безбаштових мереж з одним водоживлювачем.
3. Перевірочний розрахунок розгалужених безбаштових мереж з кількома джерелами живлення.
4. Графічний аналіз роботи розгалуженої мережі з двома водоживлювачами.

1



- Розрахункова схема безбаштової водопровідної мережі



Якщо почати обчислювати витрати на ділянках мережі з кінця її, то одержимо

$$q_{1-3} - Q_1 = 0, \quad q_{2-3} - Q_2 = 0,$$

$$q_{5-3} - q_{1-3} - q_{2-3} - Q_3 = 0$$

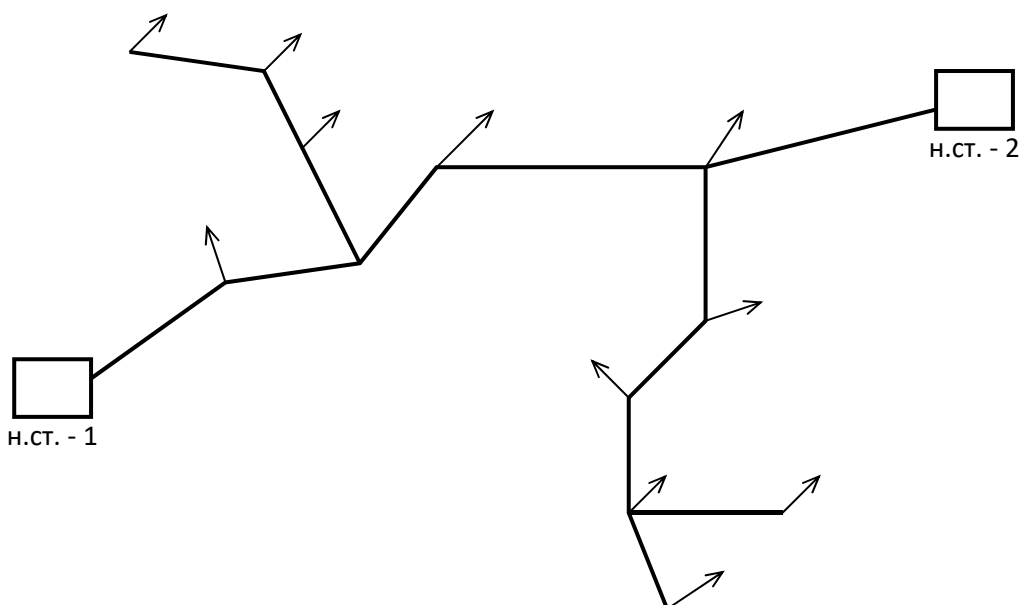
$$q_{4-5} - Q_4 = 0$$

$$q_{7-5} - q_{5-3} - q_{4-5} - Q_5 = 0$$

$$q_{7-6} - Q_6 = 0,$$

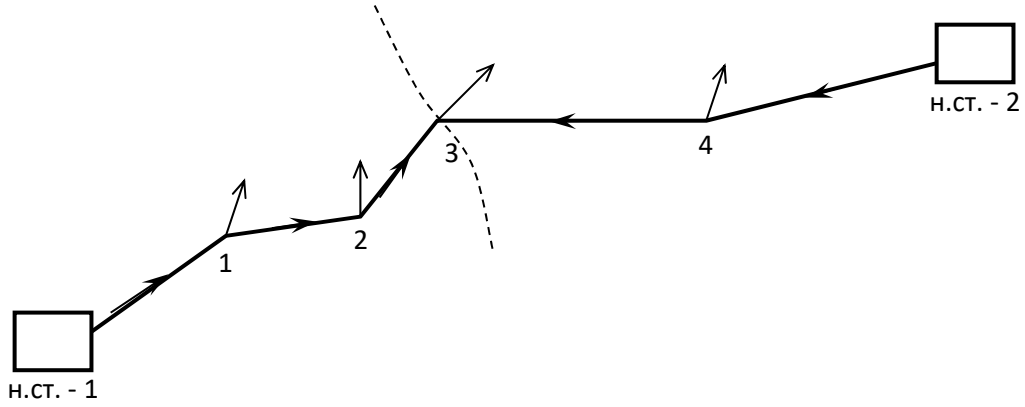
$$q_{7-8} - q_{7-5} - q_{7-6} - Q_7 = 0,$$

2

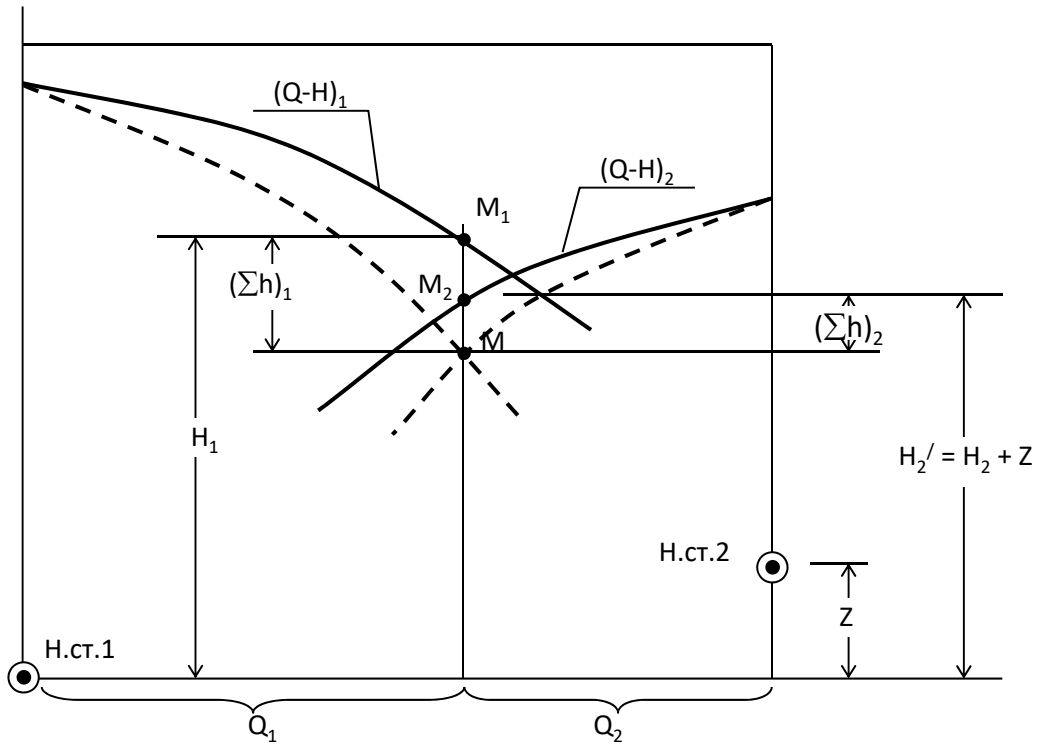


Розгалужена безбаштова мережі з подачею води двома насосними станціями

3



Розрахункова схема мережі



Графічний аналіз роботи розгалуженої мережі з двох водоживлювачами

## Тема 6. Особливості гідравлічних комплексів систем водовідведення

1. Гідравлічні характеристики елементів систем водовідведення.

2. Задачі перевірочних розрахунків комплекту водовідведення.

3. Перевірочні розрахунки напірних елементів систем водовідведення. Перевірочні розрахунки безнапірних елементів систем водовідведення.

1 Напірні колектори мають такі ж характеристики, як і водоводи, тобто,

$$P_i - P_k = h_{ik} = S_{ik} Q_{ik}^2 .$$

Характеристики  $Q$ - $H$  багатьох каналізаційних насосів

$$H = a_0 - a_1 Q_1 ,$$

де  $a_0$  і  $a_1$  - коефіцієнти, які визначаються з графічної характеристики.

Для крайніх точок робочої ділянки

$$\begin{cases} H_1 = a_0 - a_1 Q_1, \\ H_2 = a_0 - a_1 Q_2. \end{cases}$$

$$a_1 = \frac{H_1 - H_2}{Q_2 - Q_1}$$

$$a_0 = H_1 + \frac{H_1 - H_2}{Q_2 - Q_1} Q_1$$

;



. Аналітичне описання характеристики самопливної лінії буде мати вигляд

$$Z_k = Z_n - h_{em} = Z_n - il = Z_n - \frac{q^2 l}{w^2 c^2 R}$$

де  $Z_k$  і  $Z_n$  - позначки рівня води (або лотка) в кінці і на початку ділянки відповідно;

$l$  - довжина ділянки;

$q$  - витрата ділянки;

$w$  - площа живого перерізу потоку;

$c$  - коефіцієнт Шезі;

$R$  - гідравлічний радіус;

$K$  - модуль витрати трубопроводу.

2 Загальні задачі перевірочних розрахунків комплексу водовідведення зводяться до наступних задач:

- Перевірка можливостей пропуску по існуючим мережам збільшеної витрати стоків.
- Визначення діаметрів додаткових колекторів.
- Перевірка можливості підключення додаткових колекторів до існуючих мереж.
- Перевірка можливостей перекачки додаткових витрат води.
- Реконструкція станцій, які перекачують стоки.
- Реконструкція очисних споруд.

3

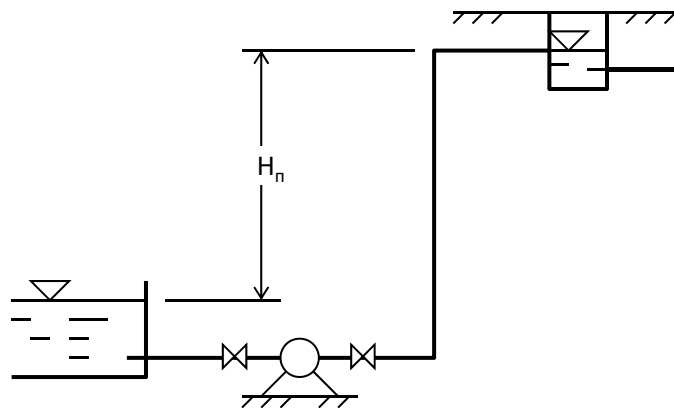


Рисунок 1 - Схема перекачки стічних вод

$$H_n = H_n + \sum h_k,$$

$$\begin{aligned} \Sigma h_{\kappa} &= h_{\text{дов}} + h_{\text{м}} = S_{\text{н}} Q^2 + \Sigma h_{\text{мн}} + S_{\text{вс}} Q^2 + \Sigma h_{\text{мвс}} = \\ &= (1,1 \div 1,15) S_{\text{н}} Q^2 + S_{\text{вс}} Q^2 + \\ &\quad \Sigma \xi \frac{v_{\text{вс}}^2}{2g} \end{aligned}$$

де  $S_{\text{н}}$  і  $S_{\text{вс}}$  - опір напірного і всмоктувального трубопроводів відповідно;

$\Sigma h_{\text{мн}}$  і  $\Sigma h_{\text{мвс}}$  - сумарні втрати на місцевий опір відповідно в напірному і всмоктувальному трубопроводі;

$v_{\text{вс}}$  - швидкість у всмоктувальному трубопроводі.

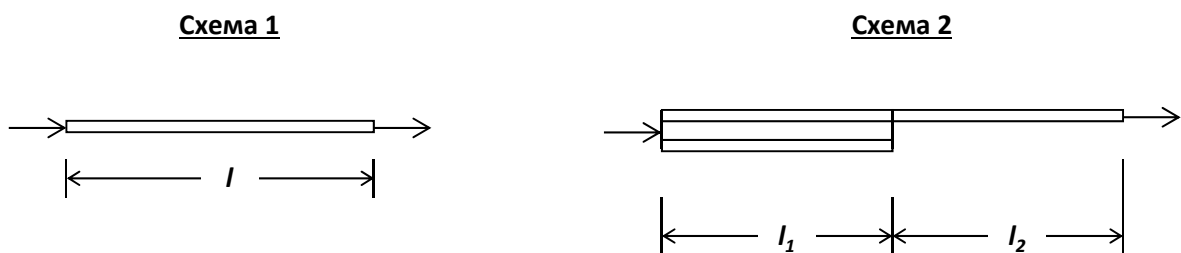


Рисунок 2 - Схема напірних колекторів

$$1,1 S_0 l \frac{Q^2}{n^2} = 1,1 S_0 l_1 \frac{\alpha^2 Q^2}{n_1^2} + 1,1 S_0 l_2 \frac{\alpha^2 Q^2}{n^2},$$

$$\frac{1}{n^2} l = \frac{\alpha^2}{n_1^2} l_1 + \frac{\alpha^2}{n^2} l_2.$$

$$l_1 = \frac{1-\alpha^2}{\alpha^2} \times \frac{n_1^2}{n^2 - n_1^2} l,$$

де  $\alpha$  - співвідношення витрат

$$\alpha = Q_1 / Q,$$

$Q_1$  і  $Q$  - збільшена і існуюча витрата відповідно,

$n_1$  і  $n$  - кількість колекторів на різних ділянках.

4

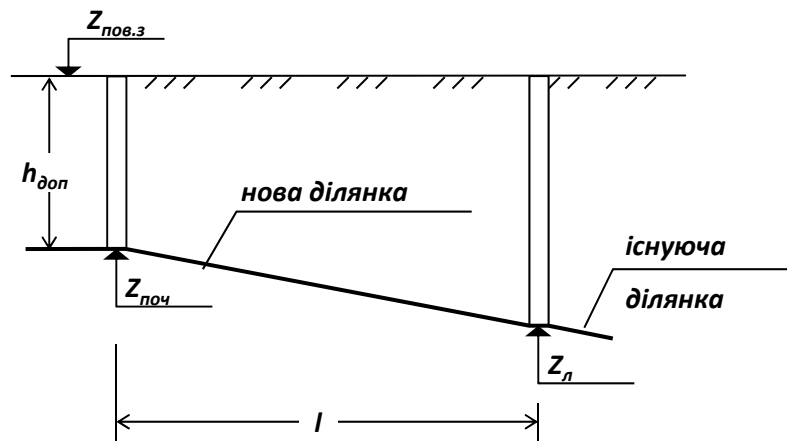


Рисунок 3 - Схема підключення нової ділянки до існуючої мережі

$$Z_{пов.з} - (Z_л + il) \leq h_{дон},$$

$$(Z_{пов.з} - Z_л - h_{дон})/l \leq i_{дон},$$

$$(Z_{пов.з} - Z_л - h_{дон})/i \leq l_{необ},$$





Витрата в самопливному трубопроводі  
визначається залежністю

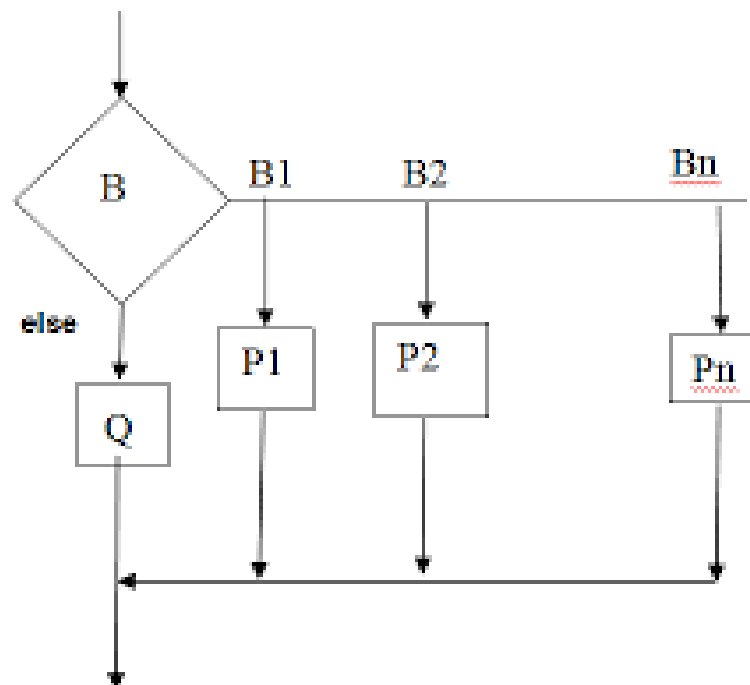
$$Q = w v = w c \sqrt{Ri} = w c \sqrt{\frac{w}{\gamma} i}$$



## Тема7. Алгоритмізація режимів водопостачання

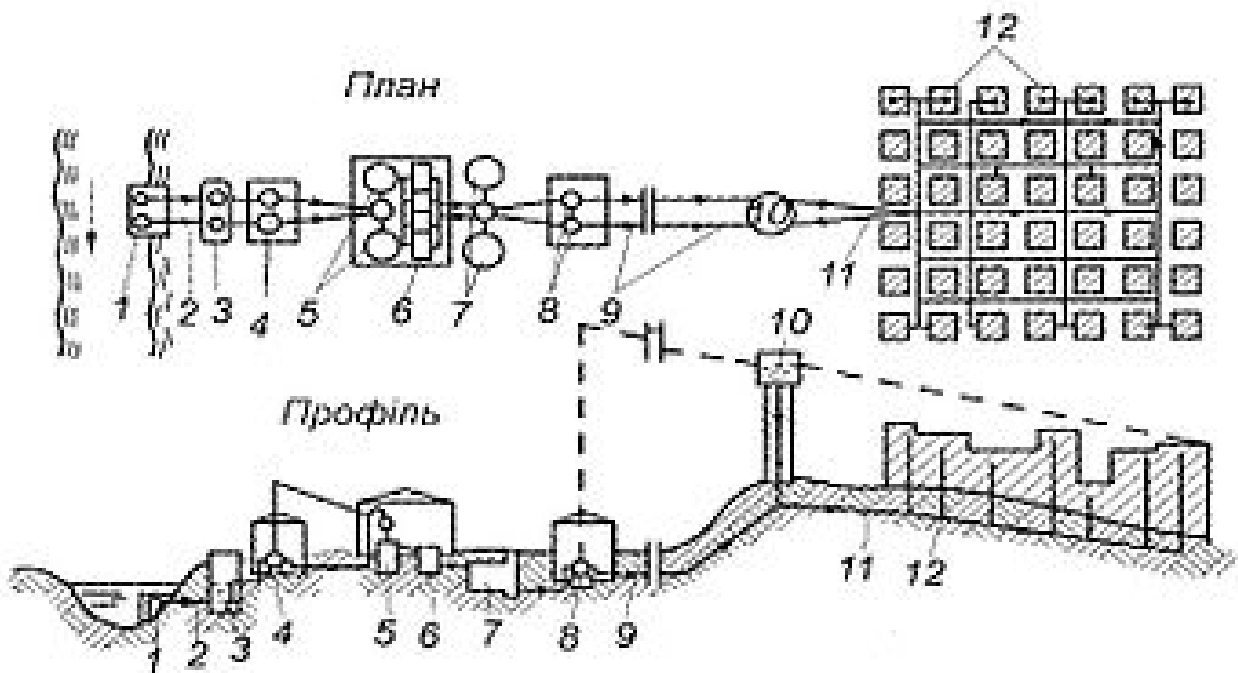
1. Особливості алгоритмізації при розрахунках гідравлічних комплексів.
2. Алгоритми розрахунку добових витрат води на різні потреби.
3. Алгоритм розрахунку режиму добового водоспоживання.

1 *Алгоритм - це точне описання якогось обчислювального процесу або будь-якої іншої послідовності дій.*



2 Для систем водопостачання міста необхідно знати добові витрати води на наступні потреби:

- господарсько-питні потреби населення;
- поливка вулиць і зелених насаджень;
- господарсько-питні потреби робочих на виробництві;
- прийом душу на виробництві;
- виробничі потреби;
- пожежогашіння.



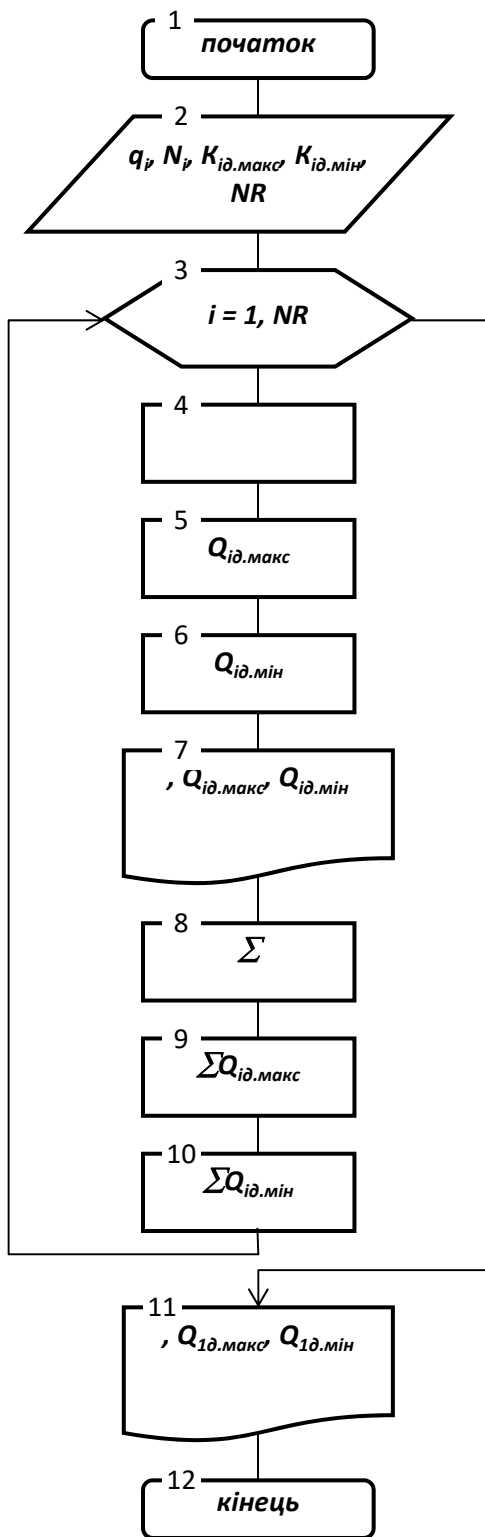


Рисунок 1 - Блок-схема розрахунку витрат води на господарсько-питні потреби міста

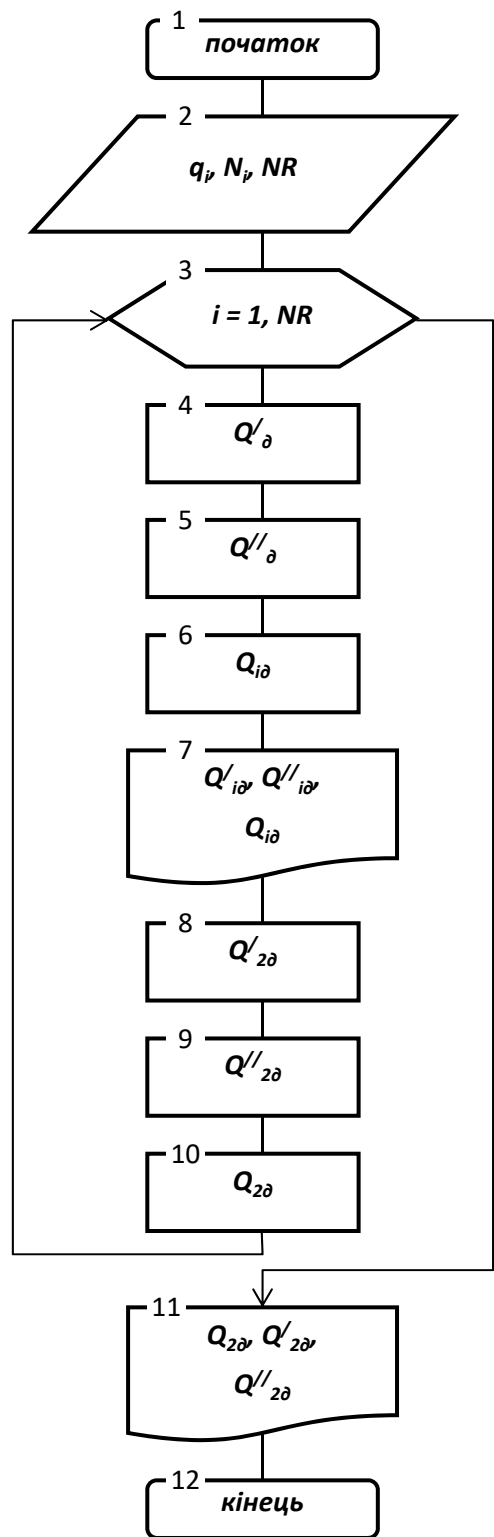


Рисунок 2 - Блок-схема розрахунку добових витрат води на поливку по питомій витраті на 1 мешканця

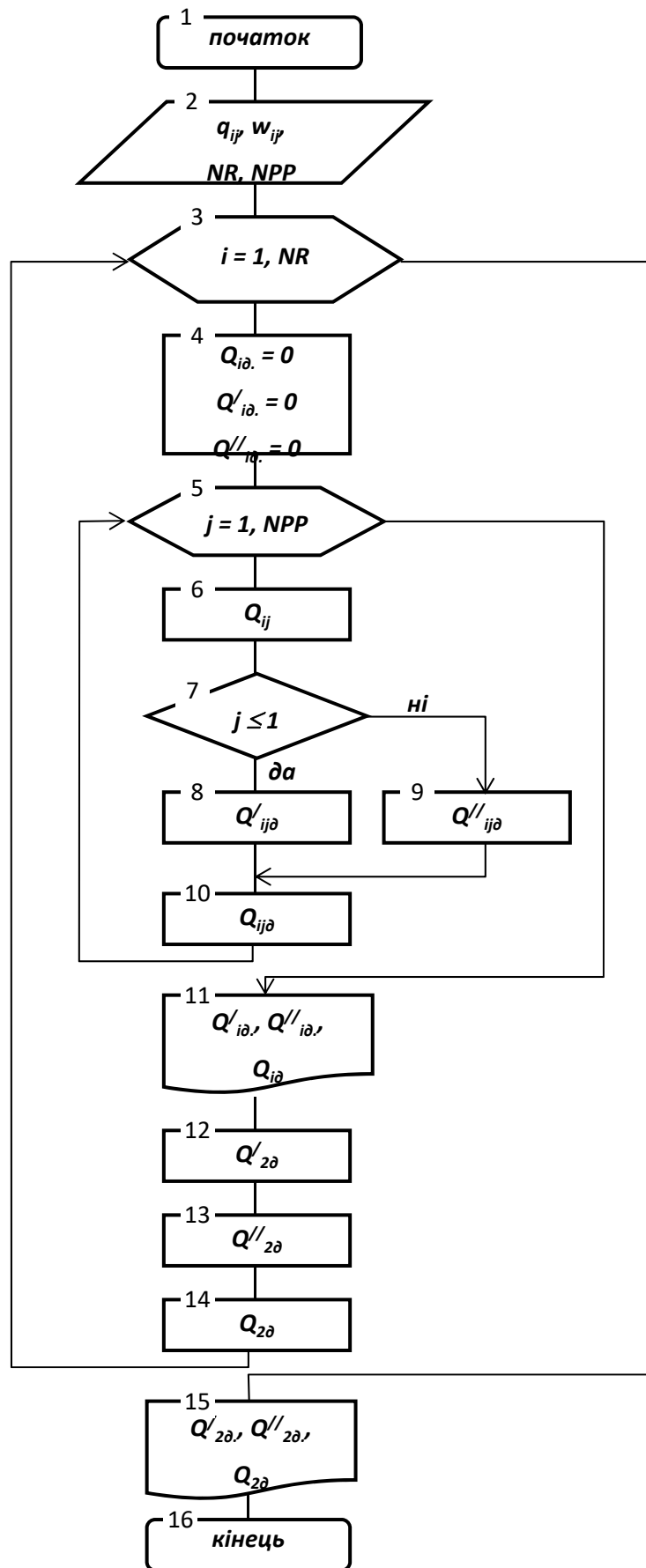


Рисунок 3 - Блок-схема розрахунку добових витрат води на поливку по питомій витраті на 1 м<sup>2</sup>

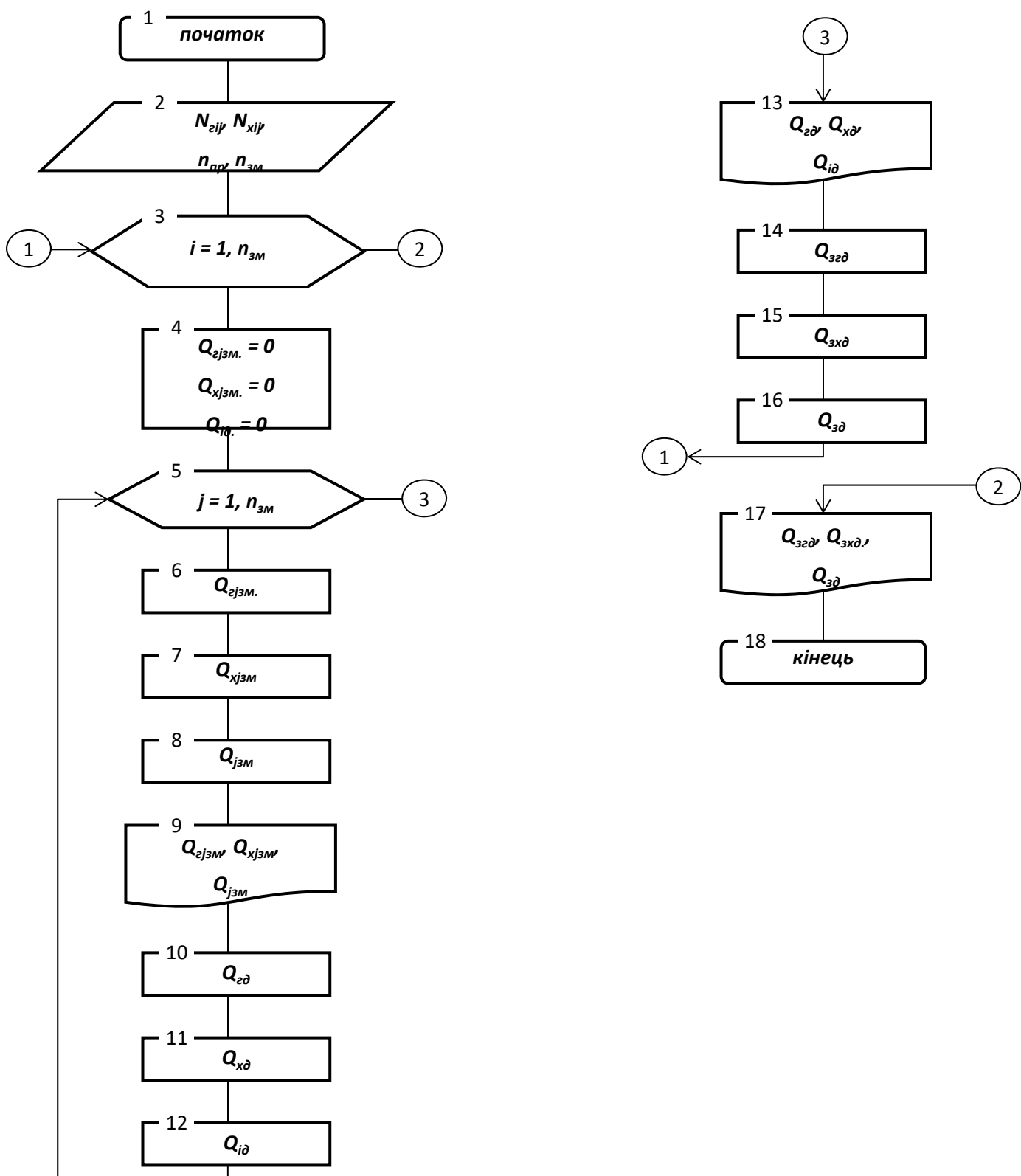
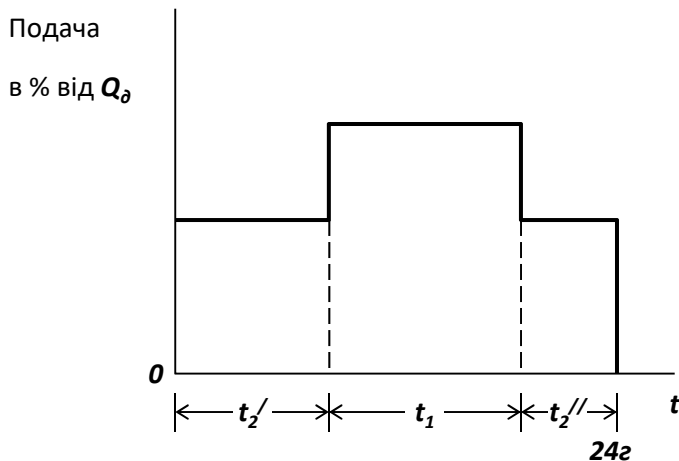


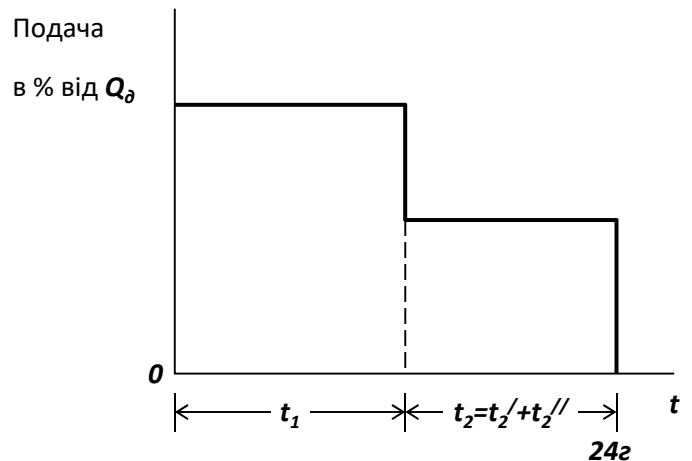
Рисунок 4 - Блок-схема розрахунку витрат на господарсько-питні потреби робочих

## Тема 8. Алгоритмізація розрахунків елементів водопровідних систем

1. Алгоритм розрахунку регулюючої ємності водонапірних башт.
2. Алгоритм ув'язки кільцевої водопровідної мережі.
3. Алгоритм визначення максимальної пропускної можливості ділянки водовідведення.
4. Особливості блоків програм для розрахунків гідравлічних комплексів.



Реальна схема подачі води



Розрахункова схема подачі при вводиті в ПЕОМ

Добові графіки при двохступеневій подачі

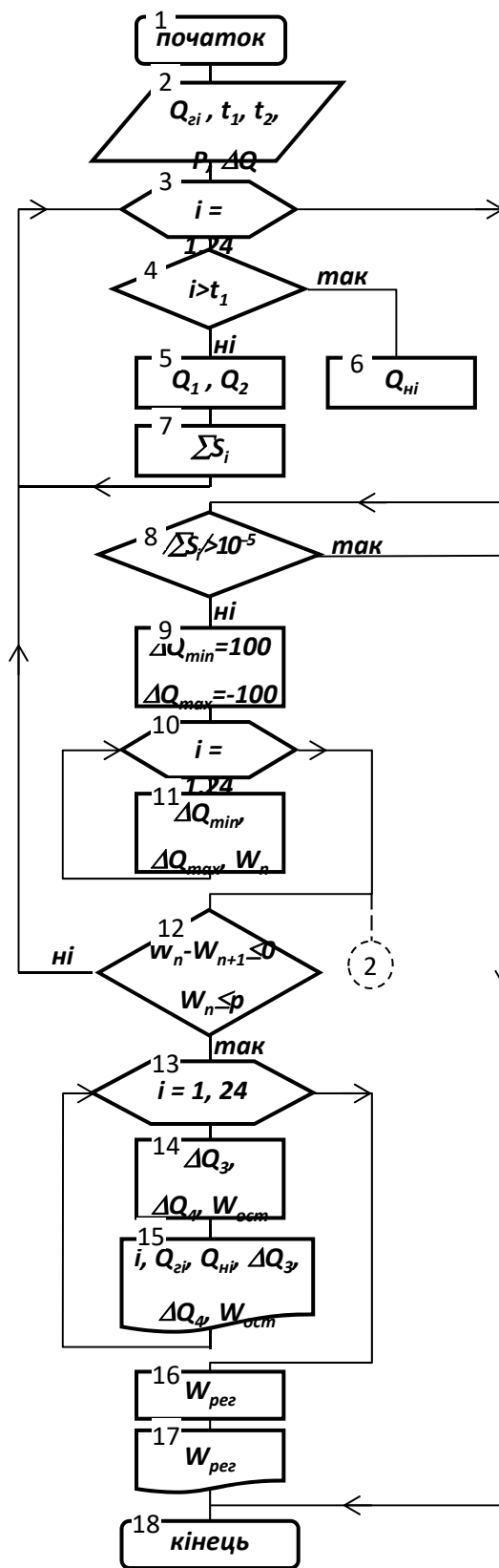
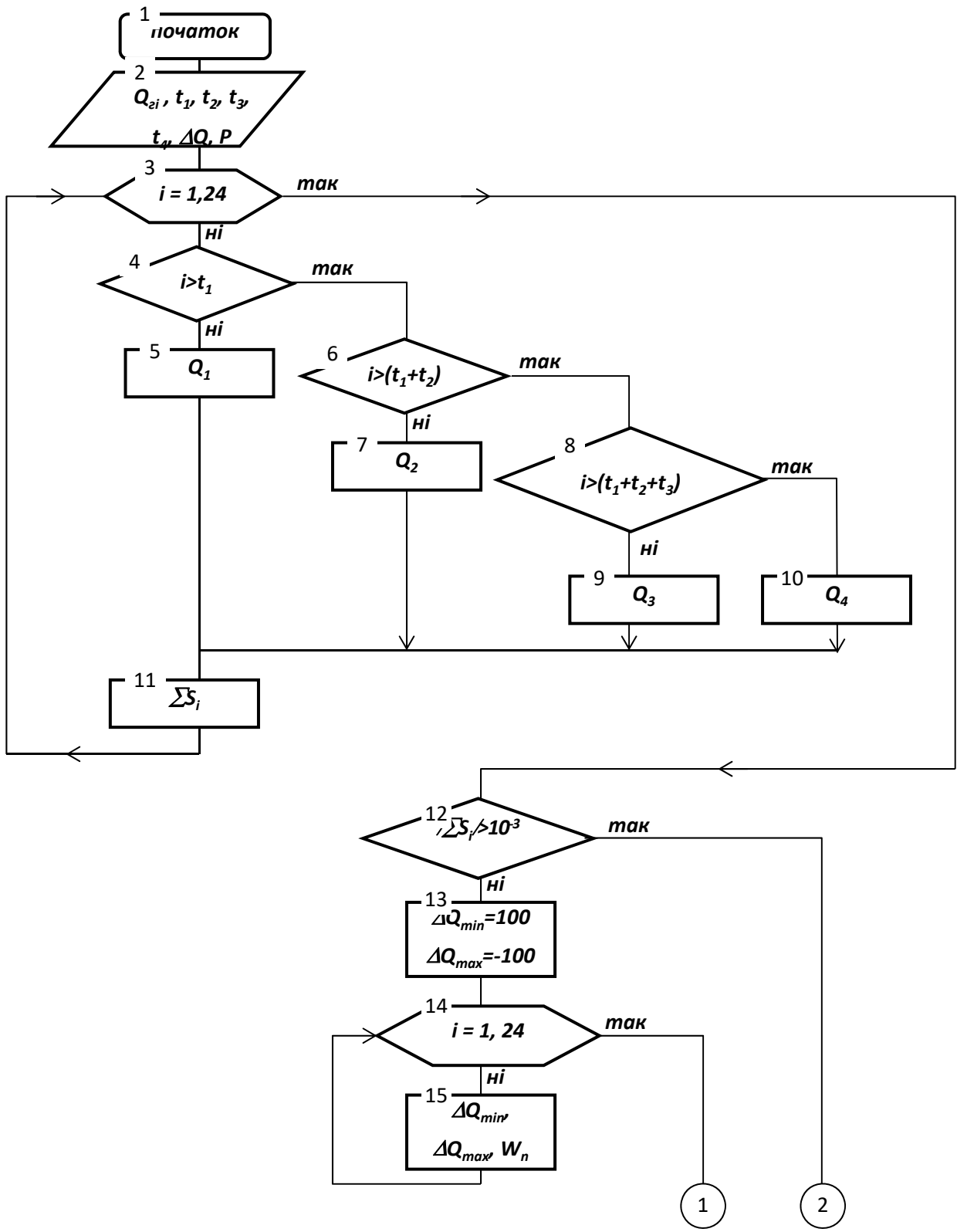


Рисунок 8.1 -Блок-схема розрахунку ємності регулюючого баку при двохступеневій подачі насосної станції





Блок-схема розрахунку ємності регулюючого баку при трьохступеневій подачі

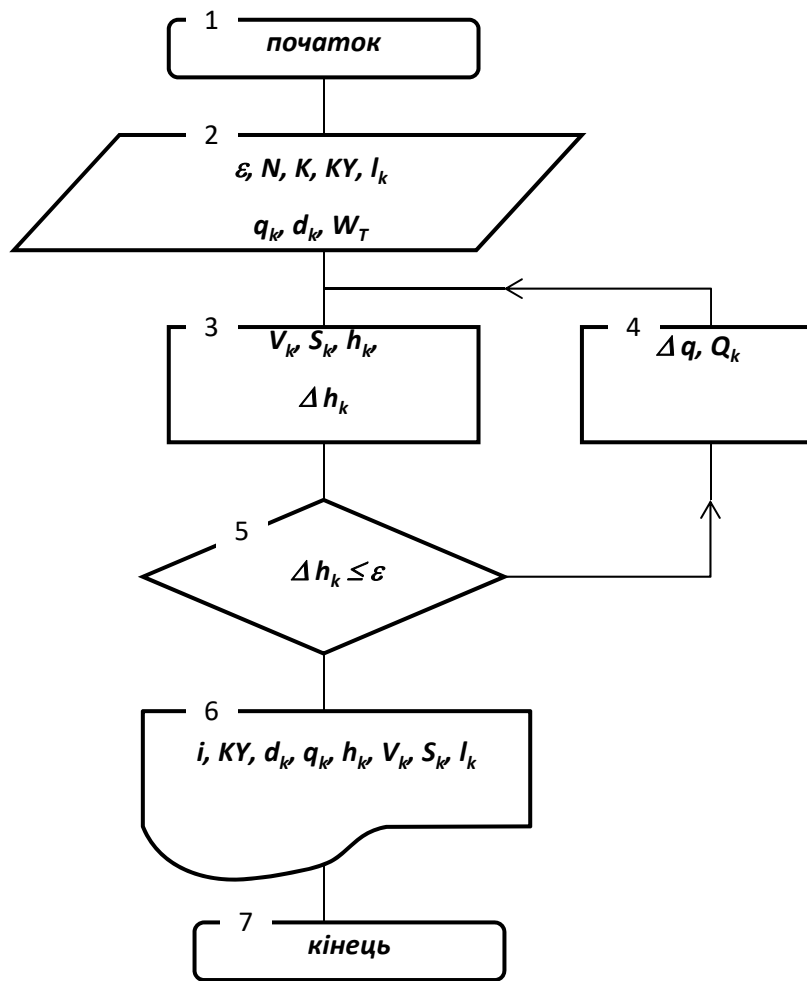


Рисунок 8.5 - Укрупнена блок-схема ув'язки кільцевої водопровідної мережі

$$h = S q^2,$$

де  $S$  - опір ділянки.