

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ВОДОПОЧСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Зміст лекційного курсу

для студентів спеціальності 192 «Будівництво та
цивільна інженерія»

*Рекомендовано до видання
на засіданні кафедри МБГ,
протокол № 1 від 03.09.2019р.*

Запříжжя, ЗНУ
2019

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. Суть задачі проектування і розрахунку комплексу подаючих та розподіляючих воду споруд системи водопостачання зводиться до знаходження такого комплексу, який задовольняв би всім вимогам споживача при мінімальній приведеній вартості. 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.

До місцевих природних умов відноситься рельєф місцевості, кліматичні умови, розміщення і гідрогеологічні характеристики природних джерел, які використовуються, планування об'єкту і характер розміщення зосереджених водорозборів, висота будівель і т.п.

Врахування динаміки роботи комплексів зводиться до необхідності врахування вірогідного режиму на протязі доби, року і всього розрахункового періоду, до необхідності аналізу сумісної роботи елементів комплексу в характерні моменти часу.

Врахування вимог надійності необхідне для забезпечення об'єктів водою в необхідній кількості і при необхідному тискові в любий момент часу. Сюди ж відносяться питання необхідного резервування і дублювання елементів комплексу, кільцювання мереж, передбачення запасних резервуарів.

Економічні міркування при проектуванні комплексу споруд дозволяють запроектувати елементи комплексу з врахуванням мінімальних приведених витрат. Вони зводяться до необхідності врахування капітальних та експлуатаційних витрат при різних варіантах характеристик елементів комплексу.

Врахування всіх цих чинників має свої особливості. Як правило, велика кількість чинників, які впливають на комплекс, приводить до численних варіантів. Рельєф місцевості, наприклад, визначає трасування магістралей водопровідних мереж, необхідність чи відсутність водонапірних башт і резервуарів, необхідність зонування і т.п. Кліматичні умови визначають глибину закладення трубопроводів, вид очисних споруд (відкриті, закриті, швидкі чи повільні фільтри і т.п.), а часто і склад очисних споруд. Планування об'єкту також впливає як на конструктивні особливості окремих елементів (наприклад, кількість і діаметр магістралей в водопровідних мережах, кількість кілець, наявність однієї чи кількох водонапірних башт і т.п.), так і на їх кількість та взаємну компоновку.

Всі ці статичні чинники приводять до необхідності розгляду кількох технічно рівноцінних варіантів, основою для вибору прийняттого з яких являється мінімум приведених витрат. Задача ще більш ускладнюється необхідністю розгляду роботи комплексу в динаміці.

Елементи гідравлічного комплексу неразривно пов'язані між собою в кожний момент роботи. Крім того, робота всього комплексу нерозривно пов'язана з характером і режимом водовідбору. Любі зміни водовідбору чи зміни в системі ліній, які транспортують воду (аварія або виключення окремих ділянок, зростання гідравлічних опорів) тягне за собою перерозподіл потоків води в мережі і відповідно визиває зміну величин Q і H водоспоживачів. Безперервні, в значній мірі хаотичні і некеровані зміни водоспоживання (особливо в міських водоводах) вносять виняткові труднощі в розрахунки і економічну оцінку водоподаючих систем. Це приводить до необхідності розгляду додаткових варіантів. Для гідравлічного розрахунку системи приходиться вибирати певні характерні і критичні періоди, від вдалого вибору яких залежить раціональність рішень, які приймаються.

Враховуючи, що гідравлічний комплекс повинен задовольняти водою об'єкт чи групу об'єктів, він повинен проектуватися так, щоб незважаючи на велику кількість чинників, які впливають на його роботу, споживач не знав перебоїв в водопостачанні, тобто комплекс повинен задовольняти вимогам надійності. Відомий рівень надійності з однієї сторони робить задачу розрахунку комплексу однозначною, а з другої - збільшує кількість варіантів тому, що надійність можна забезпечувати різними комбінаціями елементів комплексу.

Для економічної оцінки системи за розрахунковий термін необхідно проводити інтегрування витрат електроенергії, яка витрачається на підймання води на протязі цього терміну, і відповідних витрат коштів. При змінному режимі і режимі водоспоживання і водоподачі за розрахунковий період, який прогнозується умовно, ця задача являється дуже громіздкою і її точне

розв'язання не можна вважати забезпеченим (особливо для міських систем водопостачання). Власне техніко-економічний розрахунок систем подачі і розподілу води полягає в тому, щоб знайти розміри і параметри роботи елементів системи, які забезпечують мінімальні значення приведених витрат. Економічний розрахунок супроводжується проведенням гідравлічних розрахунків, які забезпечують додержання гідравлічних зв'язків між елементами системи, а також дають можливість визначити дійсну картину руху води, розподіл потоків і тисків в системі при уже визначених діаметрах водопровідних ліній.

Розв'язування задачі розрахунку системи подачі і розподілу води з задоволенням умов економічності, із збереженням гідравлічних взаємозв'язків між елементами системи і задоволенням вимог надійності здійснюється в кілька етапів шляхом послідовного наближення.

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.

Всі гідравлічні розрахунки систем подачі та розподілу води базуються на залежності між витратами води Q (які проводяться, подаються чи забираються за одиницю часу) і відповідними напорами H (які створюються, втрачаються або які необхідні) в окремих елементах систем, в їх комбінаціях чи в комплексі системи в цілому. Для кожного елемента гідравлічної системи існує певна закономірність, яка зв'язує між собою відповідні величини Q і H . Ця закономірність може бути виражена аналітично чи графічно.

Дійсні величини Q і H при сумісній роботі елементів системи можуть бути одержані тільки в результаті сумісного розв'язування рівнянь, які відображають їх зв'язок, або суміщенням їх графічних характеристик, якщо вони виражені графічно.

Розглянемо гідравлічні характеристики окремих елементів комплексів.

Характеристики водоспоживачів: насосів, напірних резервуарів і пневматичних установок.

Відцентрові насоси. Теоретично повна висота підйому насоса пов'язана з його подачею лінійно. Проте втрати енергії в самому насосі приводять до того, що дійсна залежність H від Q стає нелінійною. Ця залежність точно встановлюється шляхом заводських випробувань кожного

типу насосів, які виготовляються, і представляється графічно. Графічні залежності можуть бути описані аналітично багаточленом

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

Є.А. Прегер пропонує цю залежність описувати трьохчленом

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

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

Часто в межах рекомендуємої області роботи насосу напірно-витратну характеристику описують кривою другого порядку (рівнянням параболи)

$$H = H_0 - S_nQ^2,$$

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

S_n - фіктивний опір насосів.

3. Характеристики водоспоживачів: насосів, напірних резервуарів і пневматичних установок.

Відцентрові насоси. Теоретично повна висота підйому насоса пов'язана з його подачею лінійно. Проте втрати енергії в самому насосі приводять до того, що дійсна залежність H від Q стає нелінійною. Ця залежність точно встановлюється шляхом заводських випробувань кожного типу насосів, які виготовляються, і представляється графічно. Графічні залежності можуть бути описані аналітично багаточленом

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

Є.А. Прегер пропонує цю залежність описувати трьохчленом

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

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

Часто в межах рекомендуємої області роботи насосу напірно-витратну характеристику описують кривою другого порядку (рівнянням параболи)

$$H = H_0 - S_nQ^2,$$

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

S_n - фіктивний опір насосів.

Визначити ці величини можна, якщо через точки 1 і 2 (рис.1) провести параболу з вершиною, яка лежить на вісі ординат.

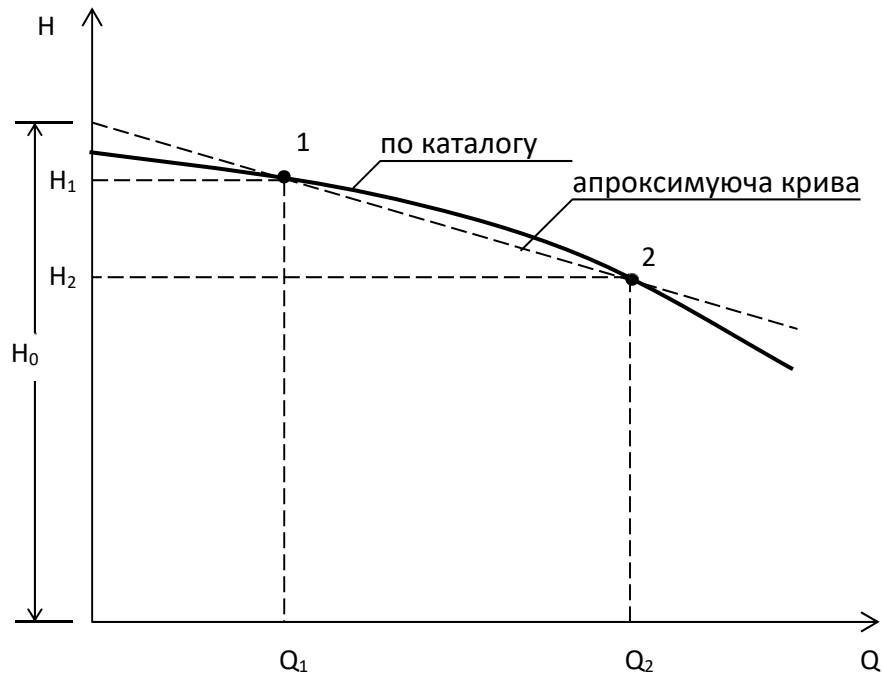


Рисунок 1 - Співставлення напірно-витратних характеристик

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

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

Тоді

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

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

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

де n - кількість насосів, які працюють паралельно;

S_n - фіктивний опір одного насоса.

Величина H_0 для групи насосів, які працюють паралельно буде такою ж, як і для кожного окремого насоса.

Розрахункові характеристики для різних насосів визначені і приведені в технічній літературі М.С. Заневським та В.Г. Ільїним. 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.

При використанні автоматичного регулювання роботи насоса залежність між Q і H визначається методом регулювання.

Для *поршневих насосів* подача не залежить від напору, який ним створюється, а залежить тільки від потужності двигуна та міцності насосу. При цьому характеристика такого насосу має вигляд $Q = \text{const}$, тобто це пряма паралельна вісі ординат.

Напірні резервуари з вільною поверхнею. До таких елементів відносяться водонапірні башти і напірні резервуари. Гідравлічні характеристики таких елементів - це прямі, які паралельні вісі абсцис, і виражаються залежністю $H = \text{const}$. Проте практично $H \neq \text{const}$ тому, що рівень води в резервуарах змінюється в продовж доби. Для водонапірних башт характерна зміна їх ролі: вони по черзі являються то водоспоживачем, то нефіксованим відбором (коли вони приймають надлишок води). Інколи при необхідності в процесі розрахунку систем доводиться враховувати коливання рівня води в резервуарах.

Пневматичні установки. В пневматичних установках постійного тиску аналітично характеристика описується залежністю $H = \text{const}$. Для систем змінного тиску, в яких об'єм повітря і води являється функцією часу, характеристика описується законом Бойля-Маріотта

$$P_{\text{абс}} W = \text{const}.$$

Мінімальний тиск в резервуарі відповідає його спорожненню. Приведена величина цього тиску еквівалентна мінімальному рівню води у відкритому резервуарі.

Максимальний тиск в резервуарі відповідає його наповненню, а приведена величина цього тиску еквівалентна максимальному рівню води у відкритому резервуарі.

4. **Характеристика відборів води з системи.** Відбір води з системи може бути фіксованим і нефіксованим. При **фіксованому** відборі величина витрати води залишається постійною.

В централізованих системах водопостачання (особливо міських) величина відбору залежить від багатьох чинників (виду крана, ступеня його відкриття, зміни тиску в системі і т.п.). Незважаючи на це, відбір з однакових кранів в значній мірі стабілізується шляхом відповідного їх відкриття. Як відомо, сукупність зосереджених витрат зводиться до сукупності умовних фіксованих витрат з вузлів. У всіх цих випадках рахують, що $Q = \text{const}$. Разом з тим все більше досліджень присвячується розглядові відбору з мережі як ймовірної величини. Ці дослідження показують, що відбір води з кранів може розглядатися як ймовірна величина, яка розподілена за нормальним законом і в такому випадку вона стає нефіксованим відбором.

Нефіксовані відбори - це відбори в системі міського водопостачання, величина яких залежить від тиску в мережі. До нефіксованих відборів відносяться відбори води в різні відкриті резервуари (регулюючі і запасні ємності, резервуари перед станціями підкачки в зонних водопроводах, баки промислових підприємств, пневматичні установки, відбори насосних станцій безпосередньо з мережі). Нефіксовані відбори води в відкриті резервуари характеризуються позначкою розміщення резервуару (позначкою виливу води або позначкою рівня води). Для заданої розрахункової позначки $H = \text{const}$.

Величина відбору води в цих випадках визначається надлишковим напором в місці виходу води в резервуар. Зміна цього напору при зміні витрат напору в мережі приводить до зміни витрат води, які надходять в резервуар.

При наявності спеціальних регулюючих пристроїв в місці відбору витрата залежить від величини і характеру гідравлічного опору регулятора (при різних ступенях його відкриття). Характеристика водорозбірного пристрою може бути виражена через коефіцієнт місцевого опору ξ .

Втрати напору на місцевий опір визначаються за формулою

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

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

Якщо ξ не залежить від Q , то характеристика нефіксованого відбору буде

$$H_{\text{відб.}} = Z + S_{\text{відб.}} Q^2,$$

де Z - позначка точки відбору,

$S_{відб.}$ - гідравлічний опір водорозбірного пристрою (постійний чи змінний в різні моменти часу).

5. Гідравлічні характеристики водопровідних ліній. Зв'язок між п'єзометричними напорами Π в вузлах, які обмежують окремі ділянки водопровідних ліній, визначається залежністю

$$\Pi_i - \Pi_k = h_{ik}.$$

Втрати напору на ділянках h_{ik} визначаються через питомий опір або питомі втрати напору. Обидві ці характеристики залежать від того, в якій області працюють труби. При цьому може бути три випадки:

- область квадратичного опору, коли λ і S_0 залежать тільки від діаметру та шершавості внутрішньої поверхні стінок;
- перехідна область турбулентного режиму, коли λ і S_0 залежать від діаметру, шершавості і числа Рейнольдса (тобто від швидкості руху і в'язкості рідини);
- область гідравлічно гладеньких труб, коли λ і S_0 залежать від діаметру труби та числа Рейнольдса і не залежать від її шершавості.

В квадратичній області працюють “бувші в використанні” (не нові) чавунні і сталеві труби при швидкостях руху рідини $v \geq 1,2$ м/с. В перехідній області працюють не нові чавунні і сталеві труби при $v < 1,2$ м/с, а також азбестоцементні труби при всіх швидкостях руху води, які практично використовуються. В області гідравлічно гладеньких труб працюють поліетиленові, вінілпластові і скляні труби. Слід відзначити, що використання приблизних залежностей для визначення втрат напору при розрахунках кільцевих мереж допустимо з огляду на значні допуски в інших характеристиках мереж (водорозбір на різні потреби і т.п.).

Визначити ці величини можна, якщо через точки 1 і 2 (рис.1) провести параболу з вершиною, яка лежить на вісі ординат.

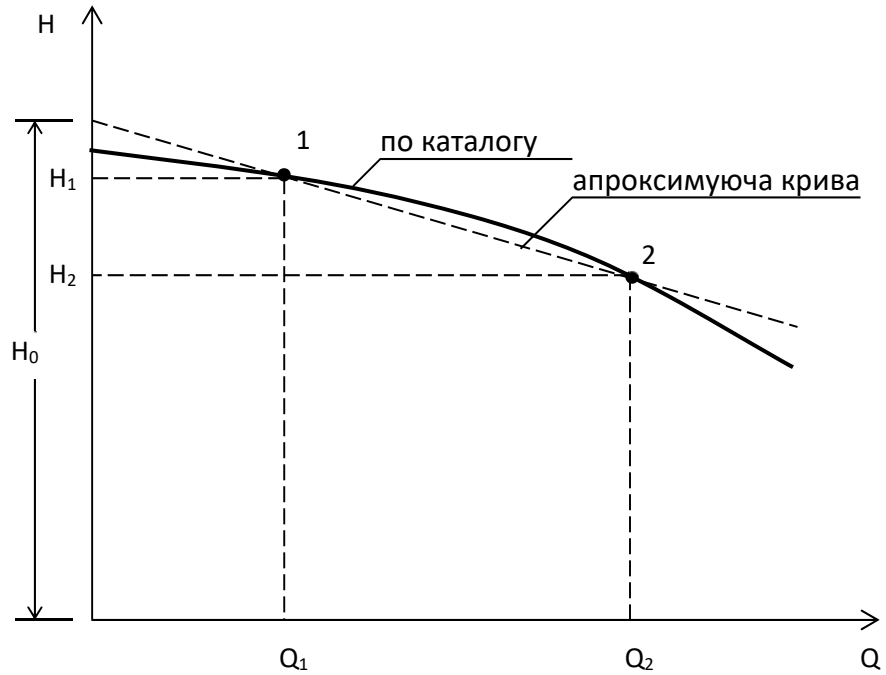


Рисунок 1 - Співставлення напірно-витратних характеристик

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

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

Тоді

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

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

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

де n - кількість насосів, які працюють паралельно;

S_n - фіктивний опір одного насоса.

Величина H_0 для групи насосів, які працюють паралельно буде такою ж, як і для кожного окремого насоса.

Розрахункові характеристики для різних насосів визначені і приведені в технічній літературі М.С. Заневським та В.Г. Ільїним. 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.

При використанні автоматичного регулювання роботи насоса залежність між Q і H визначається методом регулювання.

Для *поршневих насосів* подача не залежить від напору, який ним створюється, а залежить тільки від потужності двигуна та міцності насосу. При цьому характеристика такого насосу має вигляд $Q = \text{const}$, тобто це пряма паралельна вісі ординат.

Напірні резервуари з вільною поверхнею. До таких елементів відносяться водонапірні башти і напірні резервуари. Гідравлічні характеристики таких елементів - це прямі, які паралельні вісі абсцис, і виражаються залежністю $H = \text{const}$. Проте практично $H \neq \text{const}$ тому, що рівень води в резервуарах змінюється в продовж доби. Для водонапірних башт характерна зміна їх ролі: вони по черзі являються то водоспоживачем, то нефіксованим відбором (коли вони приймають надлишок води). Інколи при необхідності в процесі розрахунку систем доводиться враховувати коливання рівня води в резервуарах.

Пневматичні установки. В пневматичних установках постійного тиску аналітично характеристика описується залежністю $H = \text{const}$. Для систем змінного тиску, в яких об'єм повітря і води являється функцією часу, характеристика описується законом Бойля-Маріотта

$$P_{abc} W = \text{const}.$$

Мінімальний тиск в резервуарі відповідає його спорожненню. Приведена величина цього тиску еквівалентна мінімальному рівню води у відкритому резервуарі.

Максимальний тиск в резервуарі відповідає його наповненню, а приведена величина цього тиску еквівалентна максимальному рівню води у відкритому резервуарі.

Питання для самоконтролю

1. Що відноситься до місцевих природних факторів, які впливають на елементи систем водопостачання і в чому цей вплив виявляється?
2. В чому зміст врахування динаміки роботи комплексів?
3. Як впливає на структуру системи водопостачання врахування вимог надійності?
4. В чому зміст техніко-економічного розрахунку систем подачі і розподілу води?
5. Охарактеризувати головні елементи систем подачі і розподілу води.

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.

1. Комбінацій з окремих елементів існує багато. Але всі вони по суті складаються з ряду елементарних комбінацій, головні з яких можна звести до слідуєчих:

- забір відцентровим насосом води з приймального резервуару і подача її в напірну ємність;
- забір води відцентровим насосом і подача її в водовід (мережу) з двома фіксованими відборами в вузлах і нефіксованим відбором в напірний резервуар;
- елементарна система, яка включає насосну станцію I підйому, станцію підкачки і напірний резервуар при заданих фіксованих відборах з мережі.

Розглянемо особливості цих елементарних комбінацій.

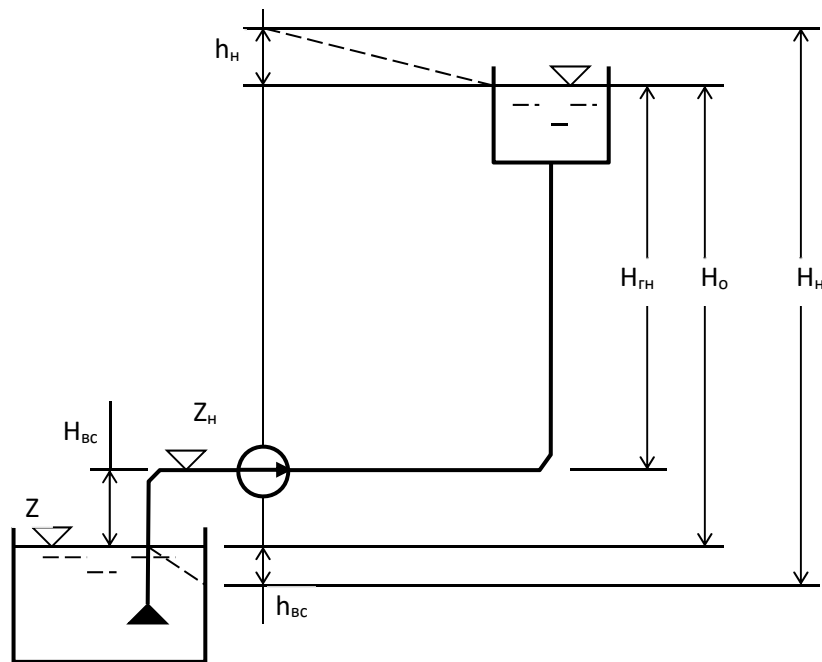
Графічне зображення першої елементарної комбінації приведено на рис. 2.

Перша елементарна комбінація включає п'ять елементів: два резервуара, два водоводи і один відцентровий насос. При аналізі його роботи відомі геодезичні позначки Z_i , характеристики трубопроводів S_i і напірно-витратна характеристика насосу. Необхідно визначити подачу Q і напір насосу H . Гідравлічні характеристики резервуарів задані позначками рівнів Z і H_0 , які

не залежать від витрат води. Характеристики всмоктувальних і напірних трубопроводів описуються через їх гідравлічні опори, які будуть відомими.

$$h_{вс} = S_{вс} Q^2 \quad \text{і} \quad h_n = S_n Q^2.$$

Рисунок 2 - 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

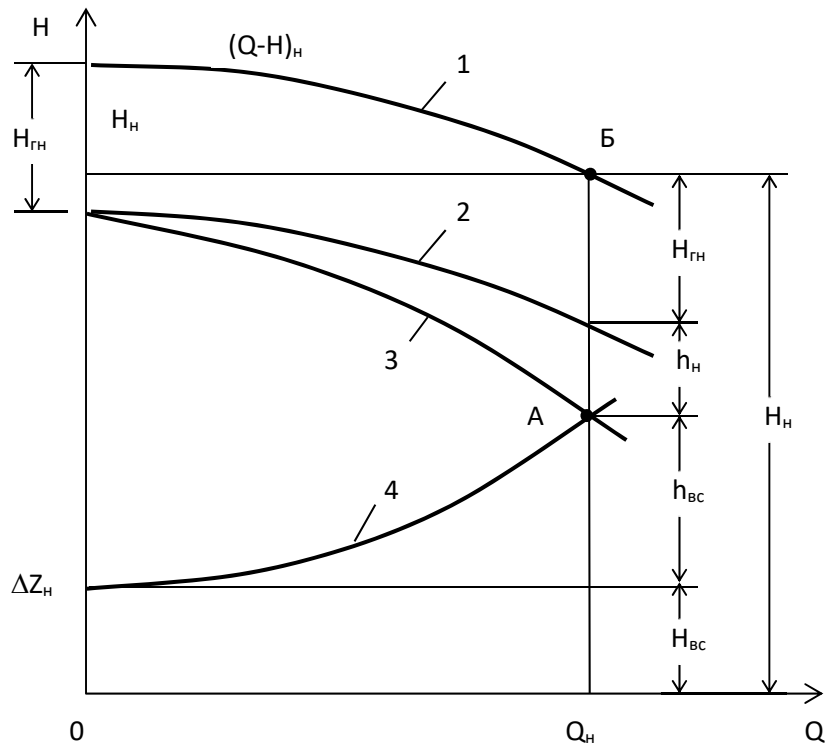
$$H_n = H_{гн} + h_n + H_{вс} + h_{вс}.$$

2. Задача визначення величин ***Q*** і ***H*** при подачі насоса в систему може бути розв'язана графічно. Для цього будується графік, приведений на рис. 3.

Графік будується в такій послідовності. Спочатку будується напірно-витратна характеристика насоса (***Q-H***)_н (положення 1). Потім ця характеристика зміщується вниз на величину ***Q-H***_{гн} (положення 2). Ординати останньої кривої зменшуються на відповідні величини ***h***_н і одержують нову криву (положення 3). Від початку координат відкладають в верх перевищення

вісі насосу рівня води в резервуарі $\Delta Z_n = Z_n - Z$ і проводять горизонтальну лінію. Потім від цієї лінії будують характеристику всмоктувальної лінії (положення 4). Точка перетину кривих 3 і 4 (точка А) дозволяє знайти робочу точку насоса Б, яка визначає подачу насоса Q_n і його напір H_n .

Рисунок 3 - Визначення подачі і напору насоса в елементарній системі



При аналітичному визначенні Q_n і H_n розв'язується система рівнянь

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

Якщо необхідно врахувати зміну рівнів води в резервуарі, то визначають витрати $Q_{мін}$ і $Q_{макс}$ для найнижчого і найвищого рівнів.

Якщо насос працює під заливом, то в приведених вище формулах і графіках висота всмоктування змінює знак.

При відомих розмірах резервуару і витратах води можна визначити час його наповнення і спорожнення, а відповідно і інтенсивність змін рівнів води, а також висот підйому і всмоктування.

3. В другій елементарній комбінації (рис. 4) відцентровий насос подає воду в мережу з двома фіксованими відборами в вузлах 1 і 2 і нефіксованим відбором в напірний резервуар.

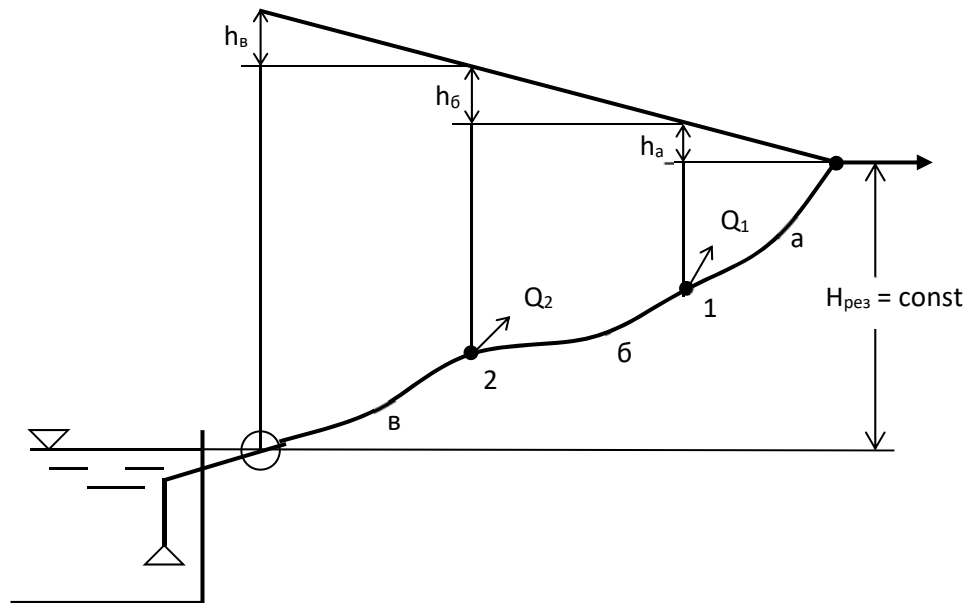


Рисунок 4 - Друга елементарна комбінація гідравлічних комплексів

При аналізі роботи такої системи відомими являються: напірно-витратна характеристика $Q-H$ насосу, величини фіксованих відборів Q_1 і Q_2 , гідравлічні опори S_i , позначка води в напірному резервуарі $H_{рез}$. Необхідно визначити подачу води насосом Q_n і відбір резервуаром $Q_{рез} = Q_n - (Q_1 + Q_2)$.

4. Задача може бути розв'язана аналітично чи графічно. Розглянемо графічний метод (рис. 5). Для розв'язання цієї задачі необхідно побудувати графік, який визначав би робочу точку насосу і дозволяв би визначити витрату, яка б при цьому надходила в резервуар. Графік будується в такій послідовності:

- побудувати напірно-витрату характеристику $Q-H$ насосу;

- побудувати шляхом відкладання від вісі абсцис в верх відповідних витрат напору h_i характеристики кожної з ділянок **а, б, в**;
- від вісі абсцис відкласти вверх висоту резервуару $H_{рез}$ і провести лінію паралельну їй;
- від горизонтальної лінії на висоті $H_{рез}$ будується характеристика $h_a=f(Q)$ шляхом відкладання вверх від цієї лінії ординат допоміжної кривої “а” (крива 1);
- враховується збільшення витрат на ділянці “б” на величину Q_1 , для чого крива “1” переноситься в положення “2” шляхом додавання до абсцис точок, що лежать на кривій “1”, витрати Q_1 ;
- крива “2” корегується на величину витрат напору на ділянці “б” шляхом їх додавання до ординат точок, які лежать на кривій “2”, що зміщує криву “2” в положення “3”;
- враховується збільшення витрат на ділянці “в” на величину Q_2 , для чого крива “3” переноситься в положення “4” шляхом додавання до абсцис точок, що лежать на кривій “3”, витрати Q_2 ;
- напірно-витратна характеристика $Q-H$ насосу корегується на величину витрат напору на ділянці “в” шляхом відкладання їх вниз від точок, які лежать на кривій $Q-H$, що зміщує криву $Q-H$ в положення “5”.

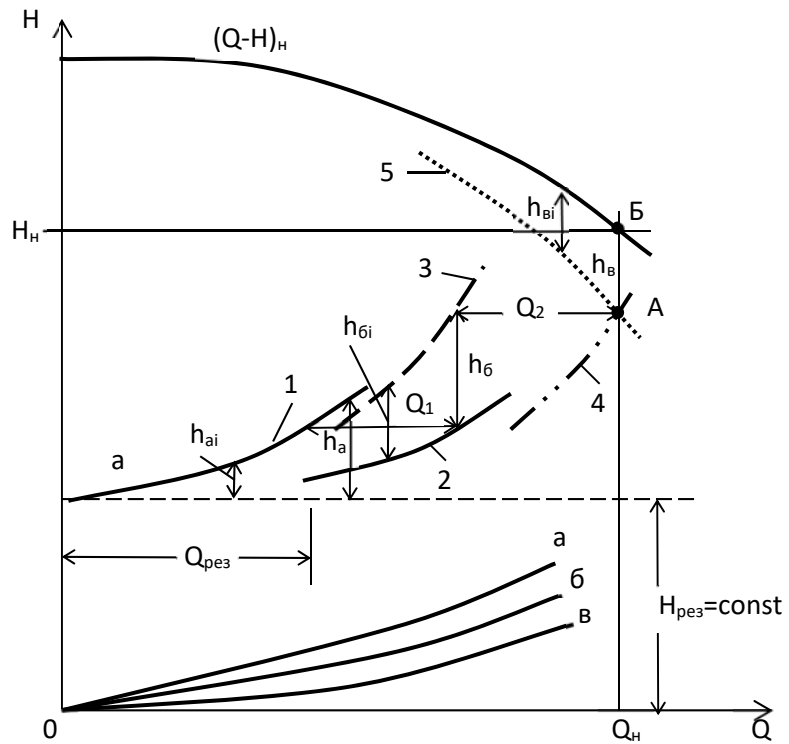


Рисунок 5 - Визначення подачі і напору насоса в другій елементарній системі

Точка перетину кривих “4” і “5” дає точку “А”, яка визначає робочу точку насоса “Б” з координатами Q_H і H_H . Вона також дозволяє знайти витрату води, яка надходить в резервуар. Для цього з точки “А” проводять горизонтальну лінію до перетину з кривою “3”, з якої опускаються вниз до перетину з кривою “2”. З останньої точки проводять горизонтальну лінію до перетину з кривою “1” і опускаються вниз до перетину з горизонтальною лінією на висоті $H_{рез}$. Відрізки між відповідними кривими по горизонталі відповідають величинам Q_1 , Q_2 і $Q_{рез}$, а по вертикалі h_a , h_b і h_b .

Ця задача може бути розв’язана аналітично шляхом розв’язання

системи з двох рівнянь

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

5. В третій елементарній комбінації (рис. 6) є два насоси, два фіксованих відбора і один нефіксований відбір в напірний резервуар. При розв'язуванні задачі відомі напірно-витратні характеристики насосів $(Q-H)_1$ і $(Q-H)_2$, гідравлічні опори ділянок мережі S_1, S_2, S_3 і S_4 , величини фіксованих відборів в точках Q_A і Q_B та всі геодезичні позначки.

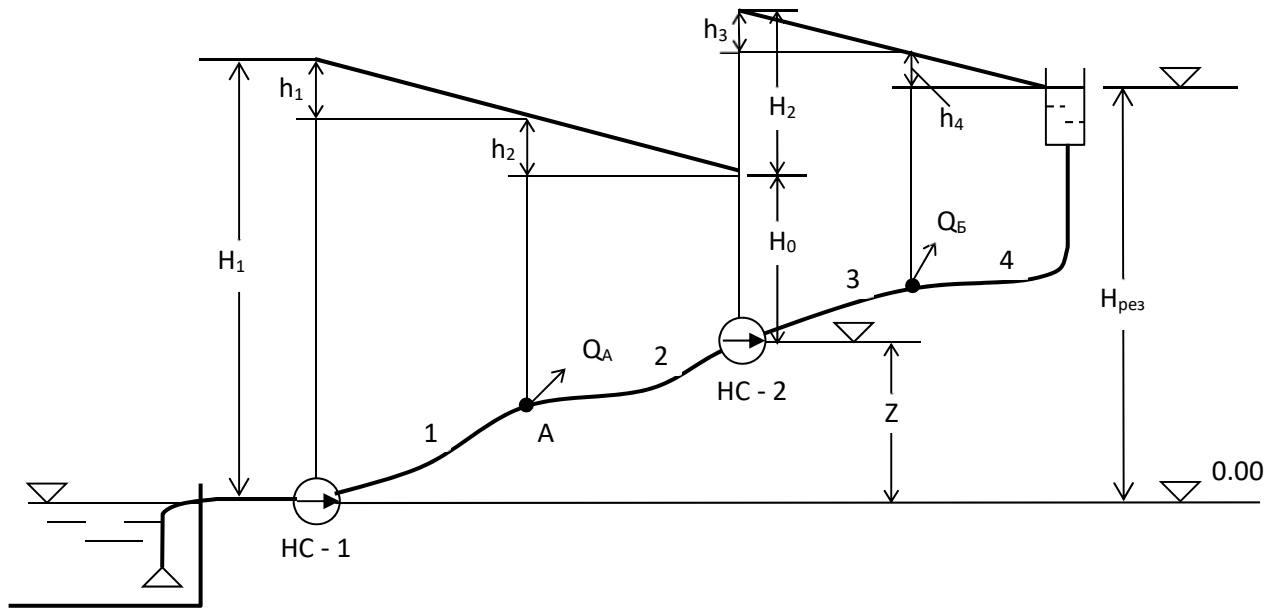


Рисунок 6 - Третя елементарна комбінація гідравлічних комплексів

Станція підкачки забирає воду безпосередньо з мережі. Необхідно визначити величини подачі води насосами Q_1 і Q_2 , всі вузлові напори, всі втрати напору в системі при сумісній роботі її елементів, витрату, яка надходить в резервуар $Q_{рез}$.

В точці відбору води з мережі другим насосом встановлюється напір H_0 , який повинен задовольняти умовам

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

При цьому витрати ділянок 2 і 3 рівні між собою і дорівнюють подачі насосів станції підкачки

$$q_2 = q_3 = Q_2.$$

Подача насосів першого і другого підйомів зв'язані співвідношенням

$$Q_2 = Q_1 - Q_A .$$

Прирівнявши праві частини рівнянь та виразивши всі невідомі в функції подачі Q_1 , одержимо одне рівняння з одним невідомим.

$$F_1(Q_1) - S_1 Q_1^2 - S_2 (Q_1 - Q_A)^2 = H_{pez} + S_3 (Q_1 - Q_A)^2 + S_4 (Q_1 - Q_A - Q_B)^2 - F_2(Q_2),$$

або

$$F_1(Q_1) + F_2(Q_2) = H_{pez} + S_1 Q_1^2 + S_2 (Q_1 - Q_A)^2 + S_3 (Q_1 - Q_A)^2 + S_4 (Q_1 - Q_A - Q_B)^2.$$

Розв'язати це рівняння можна числовими методами шляхом послідовного наближення. Графічне рішення цієї задачі громіздке.

Питання для самоконтролю

1. Якою аналітичною залежністю можна описати напірно-витратну характеристику відцентрового насосу?
2. Якою аналітичною залежністю можна описати напірно-витратну характеристику поршневого насосу?
2. Як описуються характеристики напірних і безнапірних резервуарів?
4. Яку аналітичну характеристику мають пневматичні установки?

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

$$Q_{кр} = Q = Q_1$$

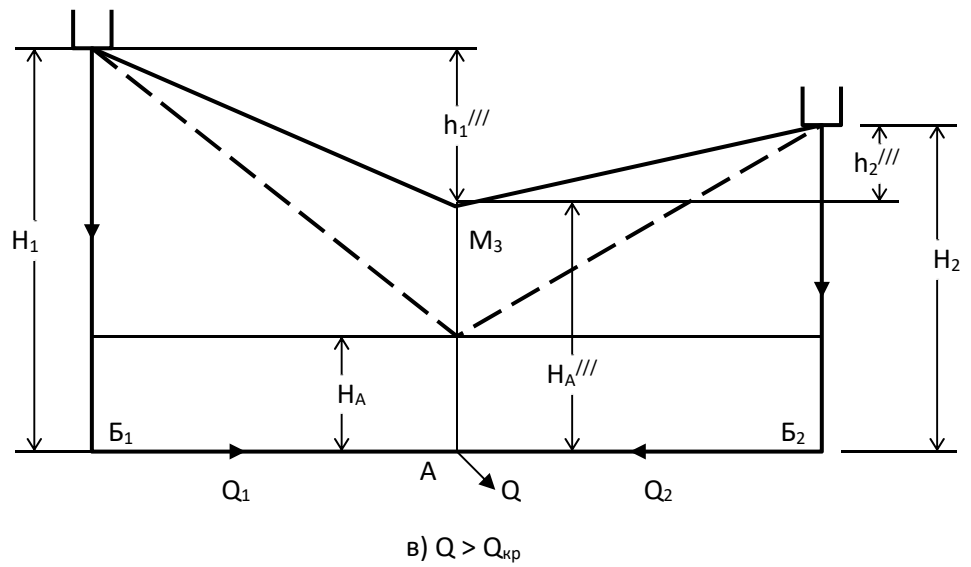
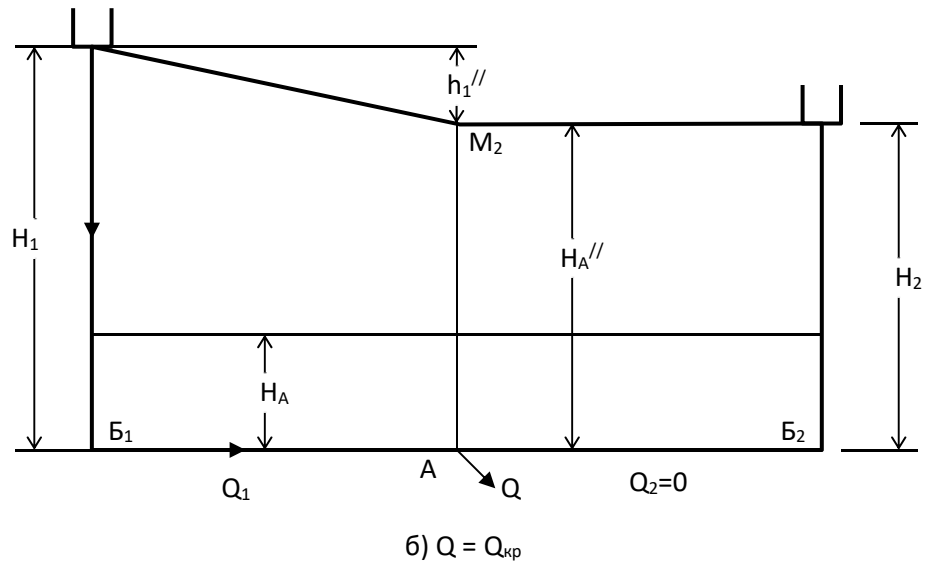
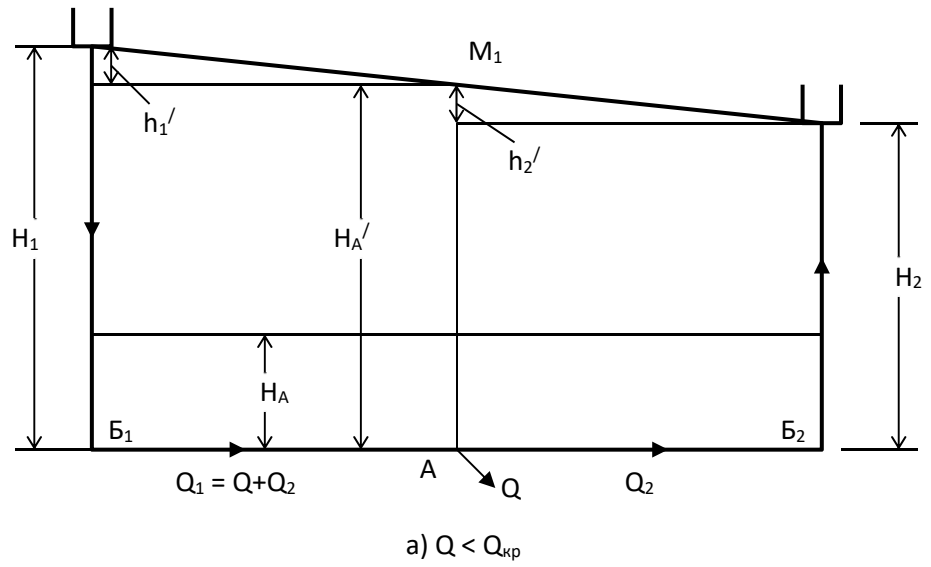


Рисунок 11 - Характер живлення системи в залежності від величини

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

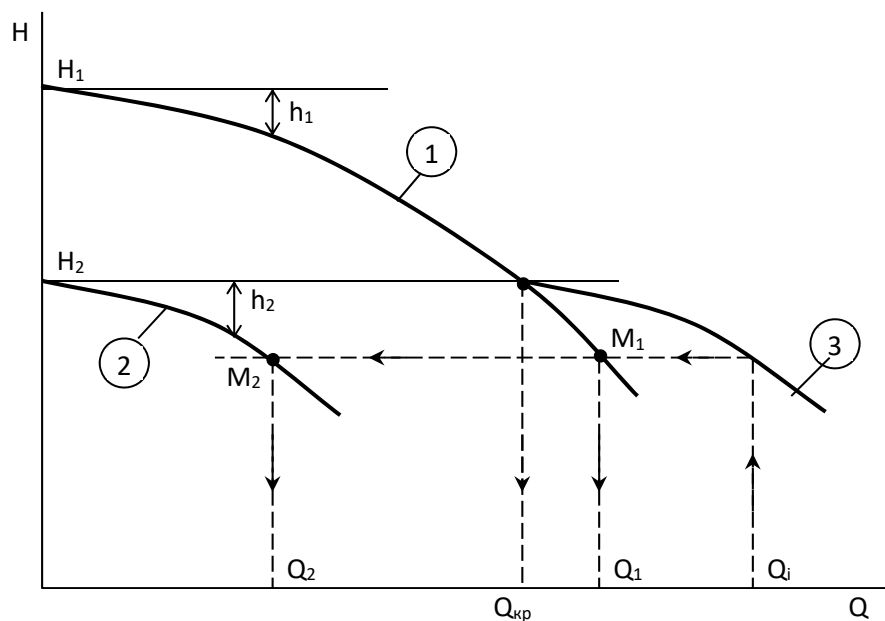
$$Q_{макс} = Q_{1\ макс} + Q_{2\ макс}.$$

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**₁ і **Б**₂ .

Рисунок 12 - Графічний аналіз елементарної системи

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

3. Схема системи приведена на рис. 13.

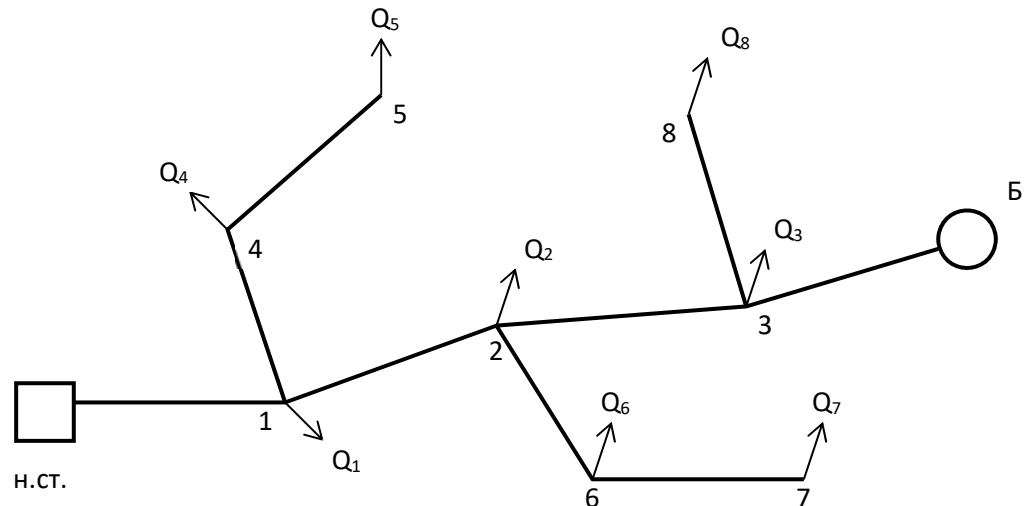
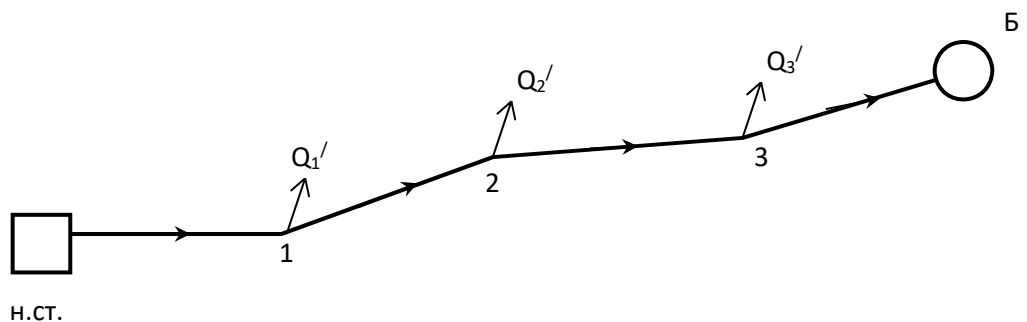


Рисунок 13 - Схема системи, яка аналізується

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

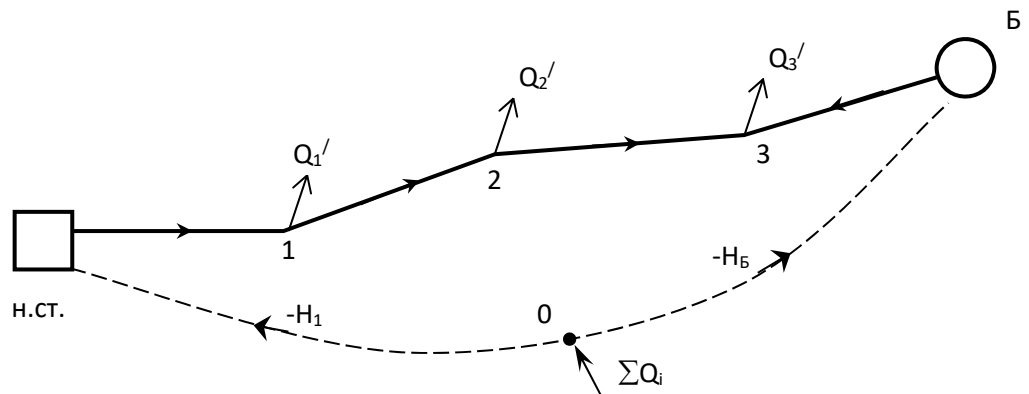
$$H_n - \varphi(Q_6) = H_6 .$$

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.

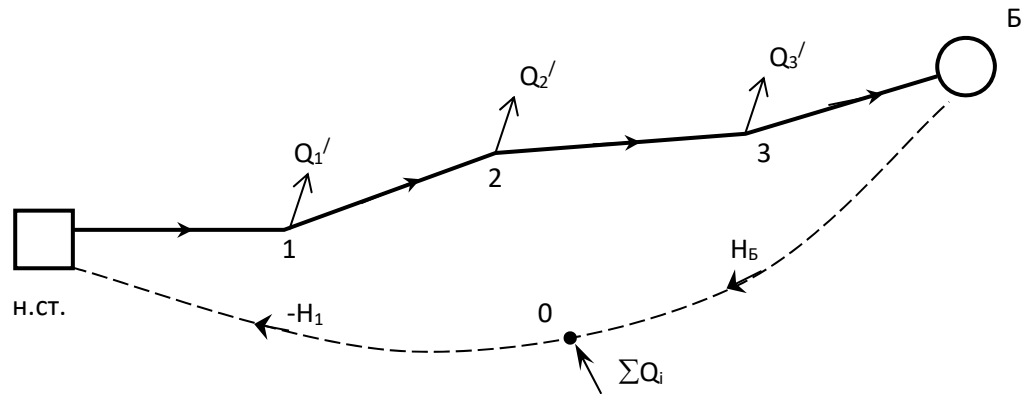


Рисунок 16 - Схема розгалуженої мережі при односторонньому живленні

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?

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

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).

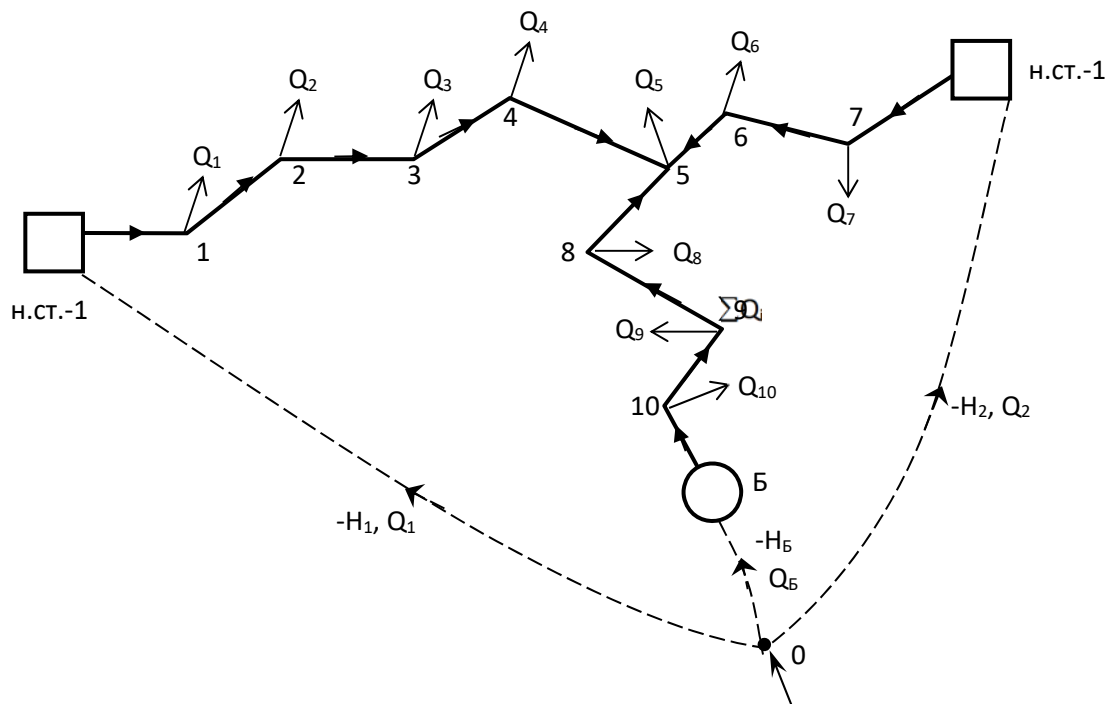


Рисунок 4.1 - Схема системи з двома насосними станціями і однією водонапірною баштою

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

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

- 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

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

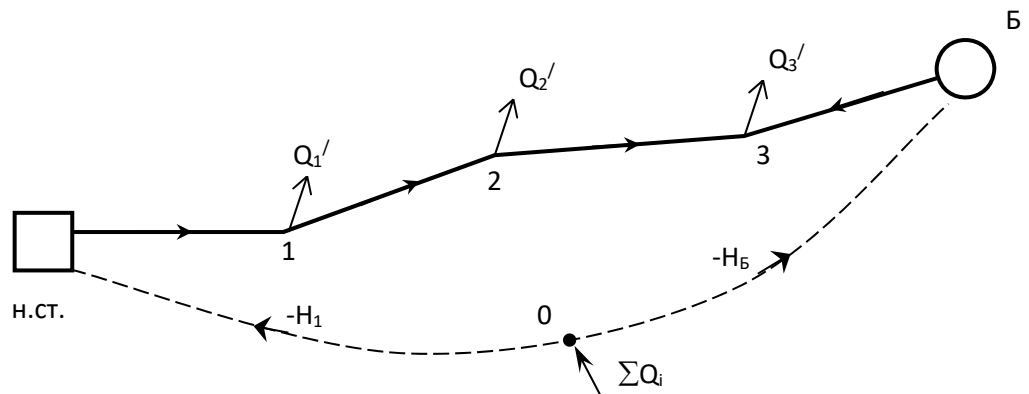
$$H_6 + (\sum h)_{6-2} - H_2 = 0.$$

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.

і



2.

Рисунок 4.2 - 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

$$3. \quad Q_n + Q_b - \sum Q_i = 0.$$

або

$$4. \quad \sum Q_i = Q_n + Q_b.$$

Рівняння ув'язки фіктивного кільця буде таким

$$5. \quad -H_1 + (\sum h)_1 - (\sum h)_b + H_b = 0.$$

Якщо живлення з однієї сторони (транзит води в башту) фіктивний контур буде мати вигляд, який приведено на рис. 16.

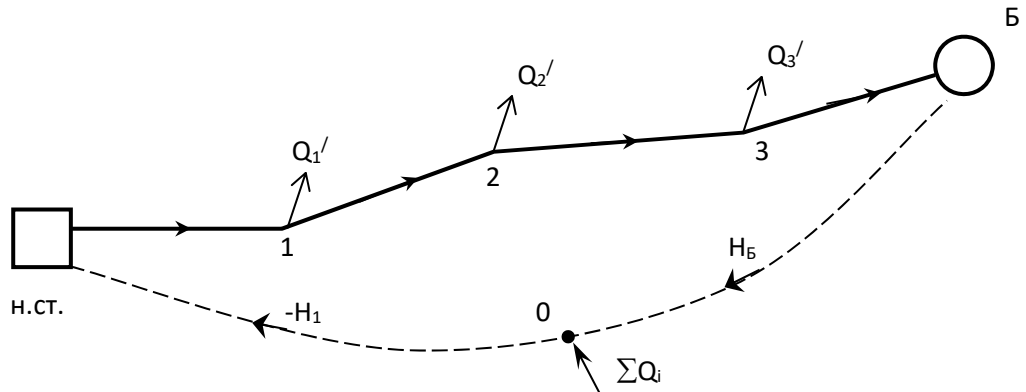


Рисунок 4.3 - Схема розгалуженої мережі при односторонньому живленні

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

$$6. \quad \sum Q_i + Q_b = Q_n.$$

Рівняння ув'язки фіктивного кільця має вигляд

$$7. \quad H_n - (\sum h)_1 + H_b = 0.$$

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 насосними станціями і двома регулюючими ємностями (рис. 18).

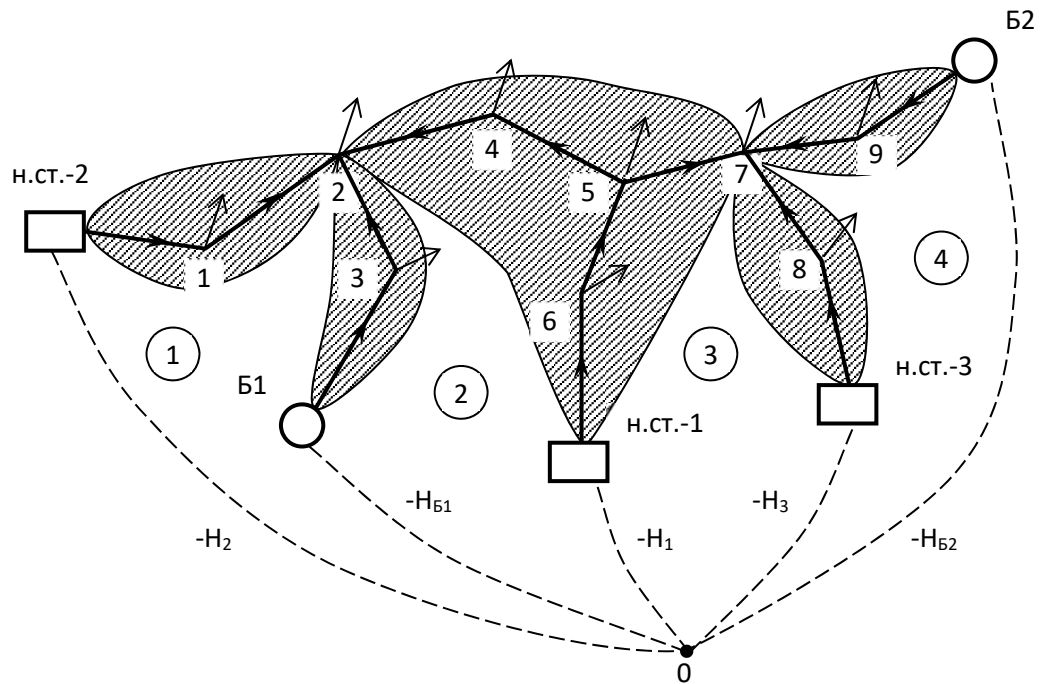


Рисунок 4.4 - Схема системи з трьома насосними станціями і двома водонапірними баштами

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 перевірочних 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 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

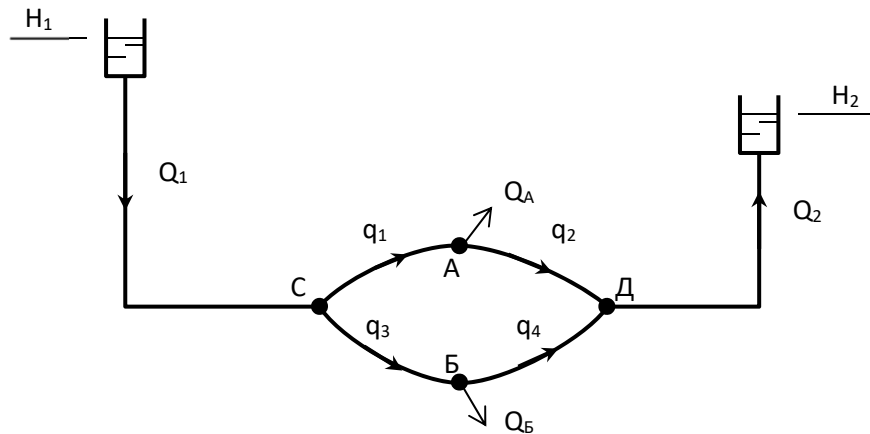


Рисунок 4.5 - Схема системи з одним кільцем і двома баштами

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,

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

де $\Sigma Q_i = Q_A + Q_B$.

Використовуючи $h_{CB} = h_{BD}$ (витрати в наведених вище рівняннях, h_{CB} і h_{BD} відповідних перетворень) одержимо два рівняння з двома невідомими α і Q_1 :

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

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

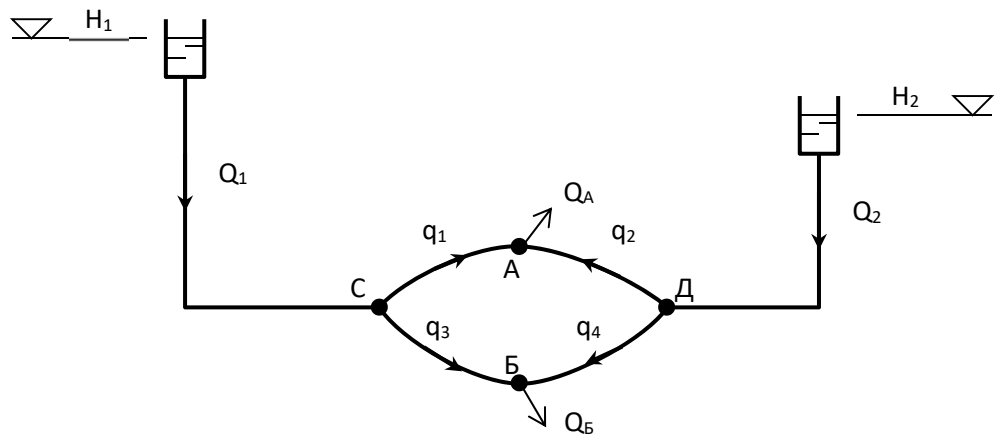


Рисунок 4.6 - Схема системи з одним кільцем і двома баштами, які подають воду в мережу

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).

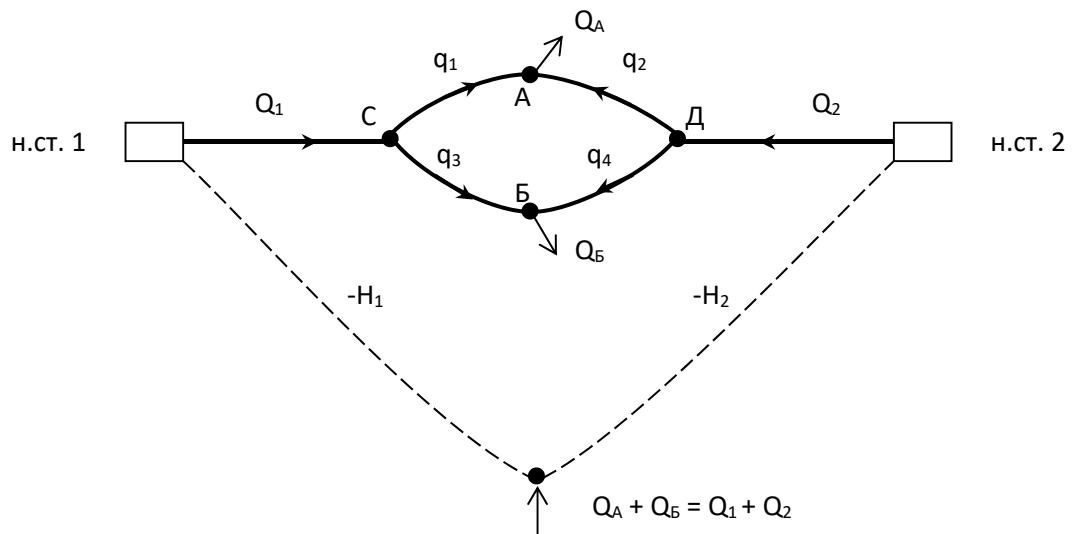


Рисунок 4.7 - Схема системи з одним кільцем і двома насосними станціями

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

$$-F(Q_1) + S_{н.см.1-с} Q_1^2 + S_{СА} q_1^2 - S_{АД} q_2^2 - S_{Д-н.см.2} Q_2^2 + F(Q_2) = 0$$

або

$$S_{н.см.1-с} Q_1^2 + S_{СА} q_1^2 - S_{АД} q_2^2 - S_{Д-н.см.2} Q_2^2 = F(Q_1) - F(Q_2) .$$

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).

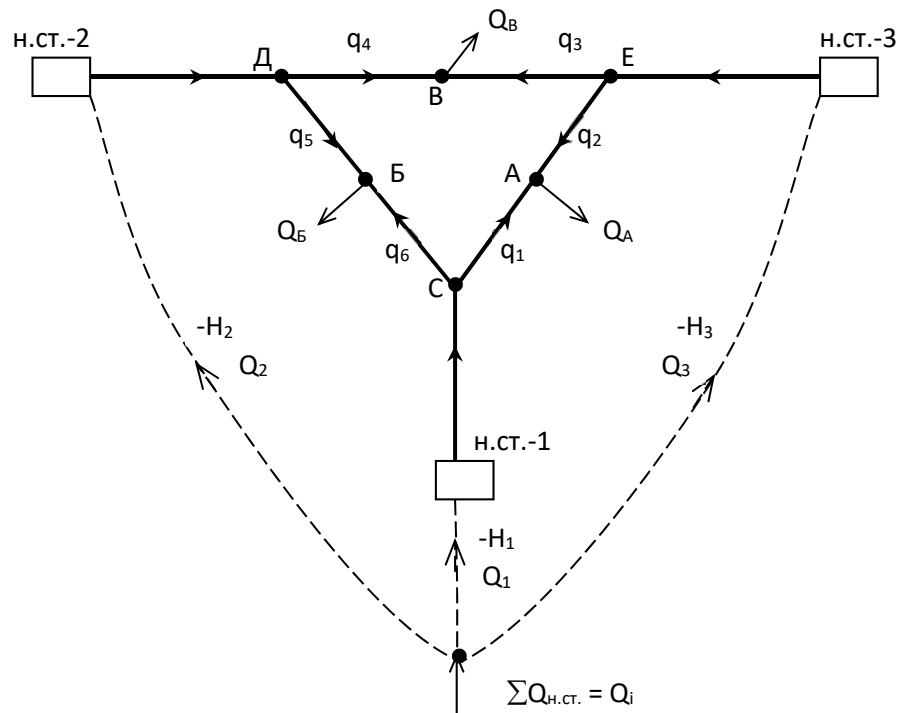


Рисунок 4.8 - Схема кільцевої системи з трьома насосними станціями

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:

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

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

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

Використовуючи вузлові рівняння, можна в даній системі всі невідомі витрати виразити через три головні (незалежні) невідомі, якими будуть подачі двох (чи трьох) насосних 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 насосних станцій.

Аналогічний шлях розрахунку може бути і 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. 23).

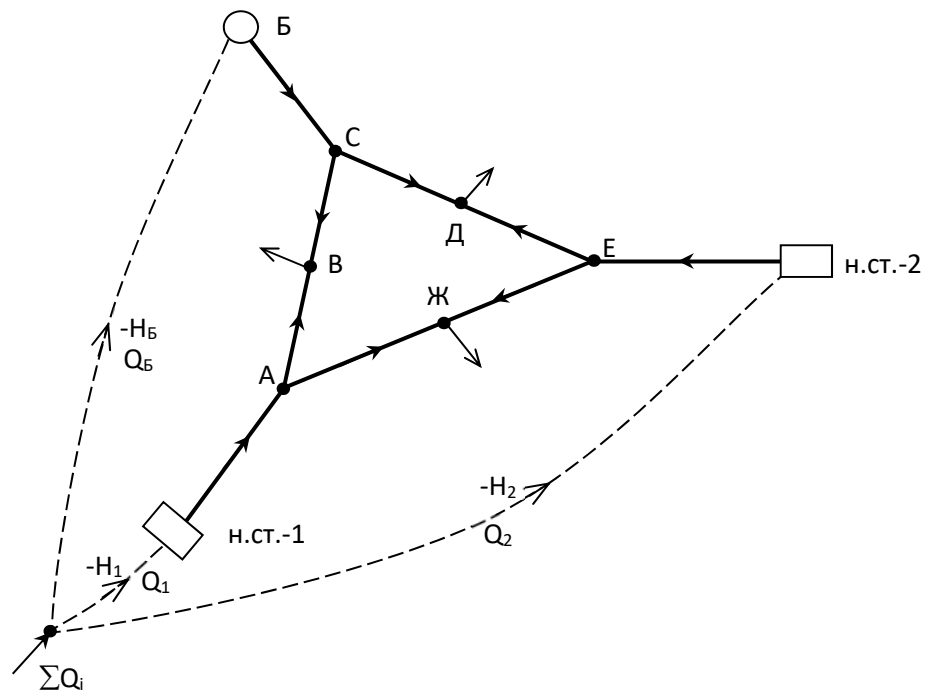


Рисунок 4.9 - Схема кільцевої мережі з двома насосними станціями і водонапірною баштою

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:

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

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

У випадку надходження води в бак рівняння матимуть вигляд:

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

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

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 A , B і B у вигляді зосереджених витрат. Всі невідомі зводяться до п'яти головних (незалежних) витрат: трьох любих подач (або нефіксованих відборів) і двох лінійних витрат (по одному для кожного кільця). Для їх визначення можуть бути написані три

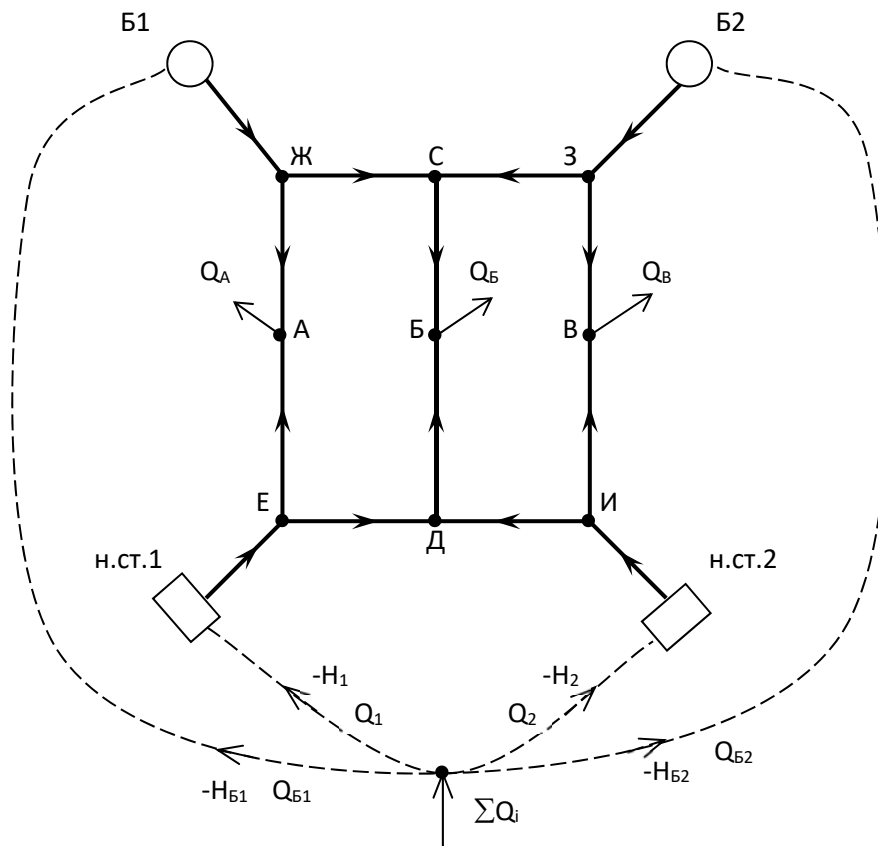


Рисунок 4.10 - Схема кільцевої мережі з двома насосними станціями і двома водонапірними баштами

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

Отримаємо такі рівняння:

- зовнішньої ув'язки:

$$\begin{aligned} -H_{Б1} + (\Sigma h)_{Б1-A} - (\Sigma h)_{A-н.ст.1} + F(Q_1) &= 0, \\ -F(Q_1) + (\Sigma h)_{н.ст.1-Д} - (\Sigma h)_{Д-н.ст.2} + F(Q_2) &= 0, \\ -F(Q_2) + (\Sigma h)_{н.ст.2-B} - (\Sigma h)_{B-н.ст.} + H_{Б2} &= 0, \end{aligned}$$

- 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 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?

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. Задачею перевірочних розрахунків являється визначення дійсних витрат і тисків в усіх елементах комплексу споруд при їх сумісній роботі та заданих характеристиках окремих елементів.

Звичайно при перевірочних розрахунках відомими являються: діаметри всіх ліній системи, геодезичні позначки всіх її вузлів, гідравлічні характеристики прийнятих водоживлювачів і нефіксованих відборів. В практичних розрахунках як правило вимагається також, щоб величини вільних напорів в вузлах мережі знаходилися в певних межах.

Нехай p - загальна кількість ділянок системи, m - загальна кількість вузлів системи, в яку також включаються точки розміщення водоживлювачів та нефіксованих відборів, e - кількість водоживлювачів і нефіксованих відборів.

Невідомими в системі, яка аналізується, будуть: p лінійних витрат ділянок q_{ik} , m п'єзометричних напорів H_i в усіх m вузлах системи, e витрат водоживлювачів і нефіксованих відборів.

Тоді загальна кількість невідомих буде:

$$p + m + e,$$

з яких $p + e$ невідомих витрат і m невідомих напорів.

Для знаходження цих невідомих при сумісній роботі елементів системи в загальному випадку можуть бути складені такі групи рівнянь:

- Рівняння вигляду $\sum Q = 0$

$$(\sum(q_{ik} + Q_i) = 0)$$

в кількості m .

- Рівняння вигляду

$$P_i - P_k = h_{ik} = S_{ik} \times q_{ik}^\beta,$$

де P_i і P_k - величини п'єзометричних напорів на кінцях кожної ділянки;

h_{ik} - втрати напору на ділянці ik ,

S_{ik} - гідравлічний опір ділянки,

q_{ik} - лінійна витрата ділянки.

Кількість таких рівнянь для систем, які включають кільця і тупикові лінії, буде рівною $p-n$, де n - число кілець.

- Рівняння вигляду

$$\sum h_{ik} = 0 \quad \text{або} \quad \sum S_{ik} q_{ik}^\beta,$$

для всіх n кілець мережі. Ці рівняння називаються рівняннями внутрішньої ув'язки мережі.

- Рівняння вигляду

$$f_1(Q) - (\sum h)_1 = f_2(Q) - (\sum h)_2,$$

які пов'язують попарно водоживлювачі і точки нефіксованих відборів при їх сумісній роботі через втрати напору в лініях, що їх з'єднують. Загальна кількість таких рівнянь буде дорівнювати $e-1$. Функції вигляду $f(Q)$ виражають напірно-витратні характеристики водоживлювачів і нефіксованих відборів. Ці рівняння можуть біти названі рівняннями “зовнішньої ув'язки” системи.

Загальне число рівнянь буде

$$m + (p - n) + n + (e - 1) = p + m + e - 1,$$

тобто на одиницю менше, ніж число невідомих. При цьому всі витрати і всі втрати напору можуть бути визначені з одержаних

$$p + m + e - 1$$

рівнянь. Не можуть бути знайденими тільки абсолютні величини п'єзометричних позначок в вузлах мережі H_i .

Рівняння другої, третьої і четвертої груп (при вже відомих витратах) дають можливість встановити зв'язок між вузловими п'єзометричними позначками, тобто дають величину втрат напору на ділянках, але не дають

абсолютної величини P_i . Отже можна одержати форму п'єзометричної поверхні, але без прив'язки її до позначок місцевості. Якщо витрати води будуть знайдені, то втрати напору, а отже і всі вузлові п'єзометричні позначки (чи напори), які визначаються, можуть бути також знайдені (якщо один із них буде відомим).

В окремих випадках для знаходження всіх невідомих витрат достатньо рівнянь першої групи, тобто лінійних рівнянь. В загальному випадку число невідомих витрат дорівнює $p + e$, число рівнянь першої групи m . Цих рівнянь буде досить для визначення всіх витрат при умові, що

$$p + e = m .$$

Враховуючи, що для всякої плоскої мережі

$$p = n + m - 1 ,$$

число невідомих витрат може бути рівним числу рівнянь першої групи при умові:

$$n + m - 1 + e = m \quad \text{або} \quad n + e = 1 .$$

Останнє рівняння можливе тільки коли $n=0$. В цьому випадку $e=1$, що справедливо для розгалуженої мережі.

Таким чином, визначити всі витрати, користуючись тільки рівняннями першої групи, можна тільки при тупикових мережах без нефіксованих відборів і з одним джерелом живлення.

При відомих витратах ділянок втрати напору в них можуть бути обчислені незалежно для кожної ділянки, після чого можна встановити зв'язок між п'єзометричними напорами всіх вузлів мережі.

В системах з одним джерелом живлення і фіксованими відборами води сума всіх цих відборів завжди дорівнює подачі водоживлювача. Отже в цьому випадку подача водоживлювача стає величиною відомою, число невідомих зменшується на 1 і одне з рівнянь вигляду $\sum Q_{\text{вузл}}=0$ перетворюється в тотожність. В цих випадках по напірно-витратній характеристиці водоживлювача при відомій подачі можна визначити напір.

Якщо в системі, що розглядається, буде співвідношення $p+e>m$ (або, що те ж саме, $n+e>1$), рівнянь першої групи недостатньо для визначення невідомих витрат. Це може мати місце як при $e>1$, тобто при наявності кількох джерел живлення, так і при $n>0$, тобто при наявності в мережі замкнутих контурів (кілець).

Таким чином, для загального випадку розрахунку змішаних мереж, які включають кільця і тупикові лінії, необхідно мати всі рівняння чотирьох груп. Для змішаних мереж з одним джерелом живлення зникають рівняння четвертої групи (рівняння зовнішньої ув'язки). Для розгалужених мереж з кількома джерелами живлення і нефіксованими відборами зникають рівняння третьої групи (рівняння внутрішньої ув'язки).

2. Розглянемо систему з фіксованими відборами і одним водоспоживачем, яким може бути насосна станція або напірний резервуар (рис. 7).

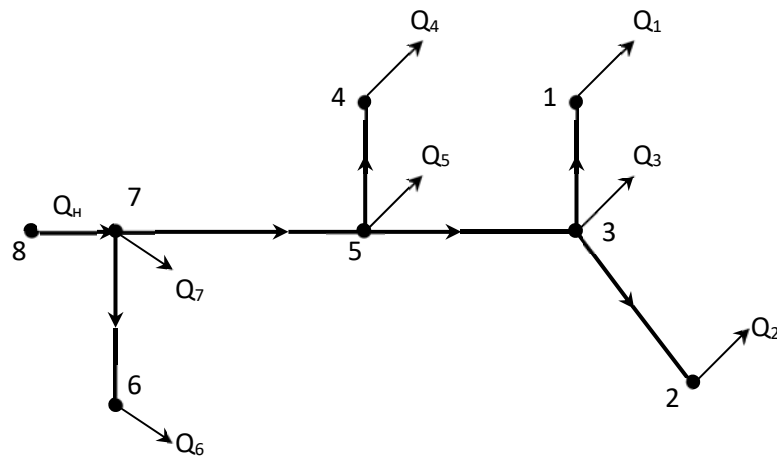


Рисунок 5.1 - Розрахункова схема безбаштової водопровідної мережі

При аналізі роботи такої мережі відомими являються діаметри і довжини (а отже і їх гідравлічний опір) ліній, фіксовані відбори в вузлах Q_i , характеристика $Q-H$ водоживлювача, геодезичні позначки всіх вузлів мережі Z_n і насоса. Необхідно визначити лінійні витрати ділянок q_{ik} , подачу води водоживлювачем Q_n і вузлові напори в усіх вузлах H_i загальним числом m , включаючи напір, який створюється водоживлювачем H_n .

Вільні напори H_{ei} при відомих напорах Π_i і позначках землі Z_i визначають за формулою:

$$H_{ei} = \Pi_i - Z_i .$$

Загальна кількість витрат, які необхідно знайти, буде

$$p+e = p + l,$$

а число напорів, які визначаються - m .

Загальна кількість невідомих буде

$$p + e + m = p + m + l.$$

Для визначення цих невідомих може бути складено m рівнянь першої групи (у вигляді $\sum Q_{вузл.} = 0$) і p рівнянь другої групи (у вигляді $\Pi_i - \Pi_k = h_{ik} = \sum S_{ik} q_{ik}^2 = 0$), тобто всього $m+p$ рівнянь.

В системі, що розглядається, для визначення всіх витрат достатньо рівнянь першої групи, бо їх число дорівнює числу невідомих, які визначаються, тобто

$$m = p + e .$$

Для мережі, яка приведена на рис.7, маємо $m = 8$, $p = 7$, $e = 1$. Тоді $8 = 7 + 1$.

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

$$\begin{aligned} q_{1-3} - Q_1 &= 0, & q_{1-3} &= Q_1; \\ q_{2-3} - Q_2 &= 0, & q_{2-3} &= Q_2; \\ q_{5-3} - q_{1-3} - q_{2-3} - Q_3 &= 0, & q_{5-3} &= Q_1 + Q_2 + Q_3; \\ q_{4-5} - Q_4 &= 0, & q_{4-5} &= Q_4; \\ q_{7-5} - q_{5-3} - q_{4-5} - Q_5 &= 0, & q_{7-5} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5; \\ q_{7-6} - Q_6 &= 0, & q_{7-6} &= Q_6; \\ q_{7-8} - q_{7-5} - q_{7-6} - Q_7 &= 0, & q_{7-8} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 = \sum_{i=1}^7 Q_i \\ Q_n &= \sum_{i=1}^7 Q_i . \end{aligned}$$

Для визначення m невідомих вузлових напорів використовуються рівняння другої групи в кількості p , яких на одиницю менше, ніж невідомих. Якщо врахувати, що для системи з одним джерелом живлення і фіксованими відборами подача насоса завжди дорівнює сумі відборів води споживачами, то $Q_n = \sum Q_i$. Тоді при відомій напірно-витратній характеристиці насоса по ній можна визначити величину напору, який буде створювати насос при подачі витрати Q_n . Інші вузлові напори визначаються з використанням рівнянь другої групи вигляду

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

Вільні напори визначаються за формулою:

$$H_{\delta i} = P_i - Z_i.$$

Після визначення вільних напорів необхідно пересвідчитись, що вони знаходяться в необхідних межах. Якщо виявиться, що при водоживлювачеві, який було намічено для використання, величини вільних напорів в диктуючих точках системи будуть меншими від необхідних, то слід взяти насос з більшим напором і навпаки. При цьому зміна водоживлювача не впливає на витрати на ділянках і на втрати напору в них, а лише впливає на вузлові напори. П'єзометричні лінії при заміні водоживлювачів піднімаються або опускаються паралельно самі собі на одну і ту ж величину в кожному вузлі.

При використанні напірного резервуару як водоживлювача відмінність від розглянутого вище розрахунку буде полягати лише в тому, що не тільки подача води з резервуару буде завжди дорівнювати сумі відборів з мережі, але і напір у водоживлювача буде постійним ($H_e = const$) і незалежним від подачі.

3. Розглянемо систему з розгалуженою мережею і двома насосними станціями, які подають в неї воду (рис. 8). При перевірочних розрахунках всі фіксовані відбори, геодезичні позначки всіх вузлів системи і гідравлічні опори всіх ліній відомі. Напірно-витратні характеристики обох насосних станцій також відомі або підбрані за попередніми міркуваннями. На відміну від системи з одним водоживлювачем витрати і напрями руху води в головній магістралі можуть змінюватися в залежності від характеристики *водоживлювача*.

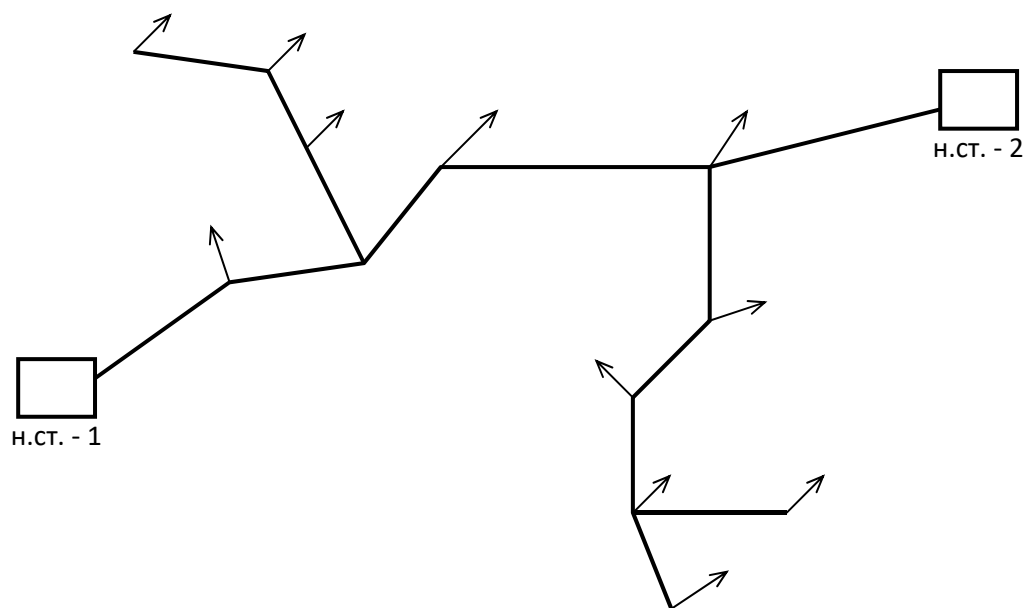


Рисунок 5.2 - Розгалужена безбаштова мережі з подачею води двома насосними станціями

Загальні витрати в відгалуженнях залежать від вузлових витрат, до яких вони підводять воду. Якщо вузлові витрат фіксовані, то аналіз роботи відгалуження виконується так, як і розгалуженої мережі з одним водоживлювачем. Тому особливості аналізу роботи системи, яка приведена на рис.8, можна розглянути на спрощеній схемі (рис.9). На цій схемі відбори відгалужень замінені фіксованими зосередженими відборами в вузлах, в яких ці відгалуження приєднуються до головної магістралі і які за величиною дорівнюють загальній витраті відгалуження.

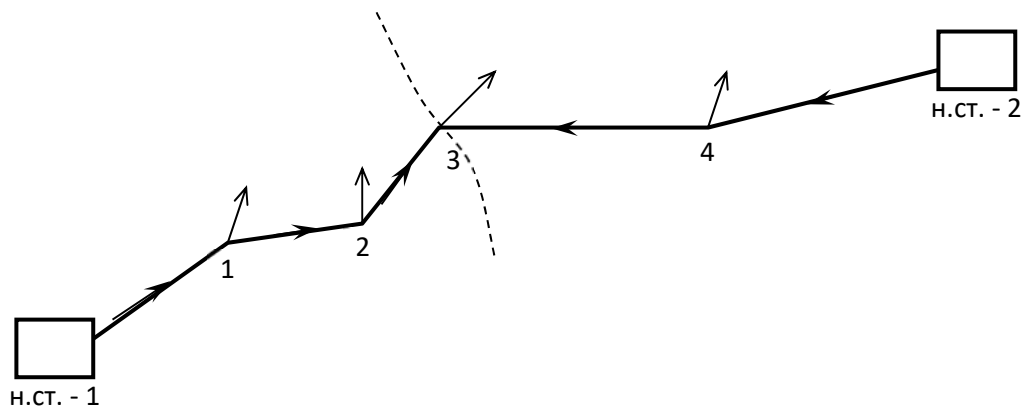


Рисунок 5.3 - Розрахункова схеми мережі

Кількість невідомих витрат в схемі, яка аналізується, буде $p+e$, де p - кількість лінійних витрат q_{ik} , e - кількість невідомих подач водоживлювачів Q_{ni} ($e=2$).

Кількість невідомих вузлових напорів H_i дорівнює числу вузлів системи m (з врахуванням вузлів з водоживлювачами).

Тоді загальне число невідомих буде

$$p + e + m$$

або для системи, що розглядається,

$$5 + 2 + 6 = 13 .$$

Для їх знаходження можна використати m рівнянь першої групи у вигляді $\sum Q_n = 0$ для всіх вузлів, p рівнянь другої групи у вигляді

$$P_i - P_k = S_{ik} q_{ik}^2$$

для всіх ділянок, $e-1$ рівнянь четвертої групи, тобто всього 12 рівнянь.

В цьому випадку рівнянь першої групи для визначення всіх витрат буде недостатньо тому, що

$$p + e > m \quad (5+2 > 6)$$

В мережі з двома джерелами живлення невідомі величини подач водоживлювачів Q_1 і Q_2 , тобто невідомою являється межа “зон живлення” системи окремими водоживлювачами.

Лінійні витрати пов’язані з подачею насосних станцій залежністю

$$Q_1 + Q_2 = \Sigma Q_i.$$

Другою парою головних невідомих являються напори H_1 і H_2 , які створюються водоживлювачами при їх сумісній роботі. Вони пов'язані з витратами з витратами Q_1 і Q_2 співвідношеннями

$$H_1 = F(Q_1) \text{ та } H_2 = F(Q_2),$$

які задаються характеристиками намічених до використання насосів. Для знаходження чотирьох головних невідомих Q_1 , Q_2 , H_1 і H_2 не вистачає одного рівняння. Таким рівнянням може бути рівняння зовнішнього ув'язки

$$H_1 - \Sigma(S_{ik} q_{ik}^2)_1 = H_2 - \Sigma(S_{ik} q_{ik}^2)_2.$$

Величини сумарних втрат напору в першій і другій зонах живлення можуть бути знайдені в функції невідомих величин Q_1 і Q_2 . Тоді рівняння зовнішньої ув'язки можна представити у вигляді залежності

$$F_1(Q_1) - f_1(Q_1) = F_2(Q_2) - f_2(Q_2).$$

Сумісне розв'язування наведених вище рівнянь дає можливість визначити Q_1 , Q_2 , H_1 і H_2 . Коли Q_1 і Q_2 визначено, всі інші невідомі витрати в лініях мережі легко визначаються з рівнянь першої групи. Після чого неважко визначити всі напори в усіх вузлах системи.

Система рівнянь може розв'язуватись аналітично або графічно. При розв'язуванні задачі необхідно попередньо намітити можливі області живлення системи від насосів і знайти залежність величин $(\Sigma h)_1$ і $(\Sigma h)_2$ від відповідних подач насосів Q_1 і Q_2 . Для цього намічається точка сходу потоків і розраховуються характеристики трубопроводів в кожній із зон по залежності $\Sigma S_{ik} q_{ik}^2$. Визначені таким чином втрати напору $(\Sigma h)_1$ і $(\Sigma h)_2$ вираховуються з ординат характеристик $(Q - H)$ насосів 1 і 2 відповідно. Враховуючи те, що сумарна подача обох насосів завжди дорівнює сумі відборів з мережі ΣQ_i , графічне розв'язування задачі починається з будівництва характеристик кожного з насосів на кінцях відрізка вісі абсцис, який дорівнює ΣQ_i (рис. 10).

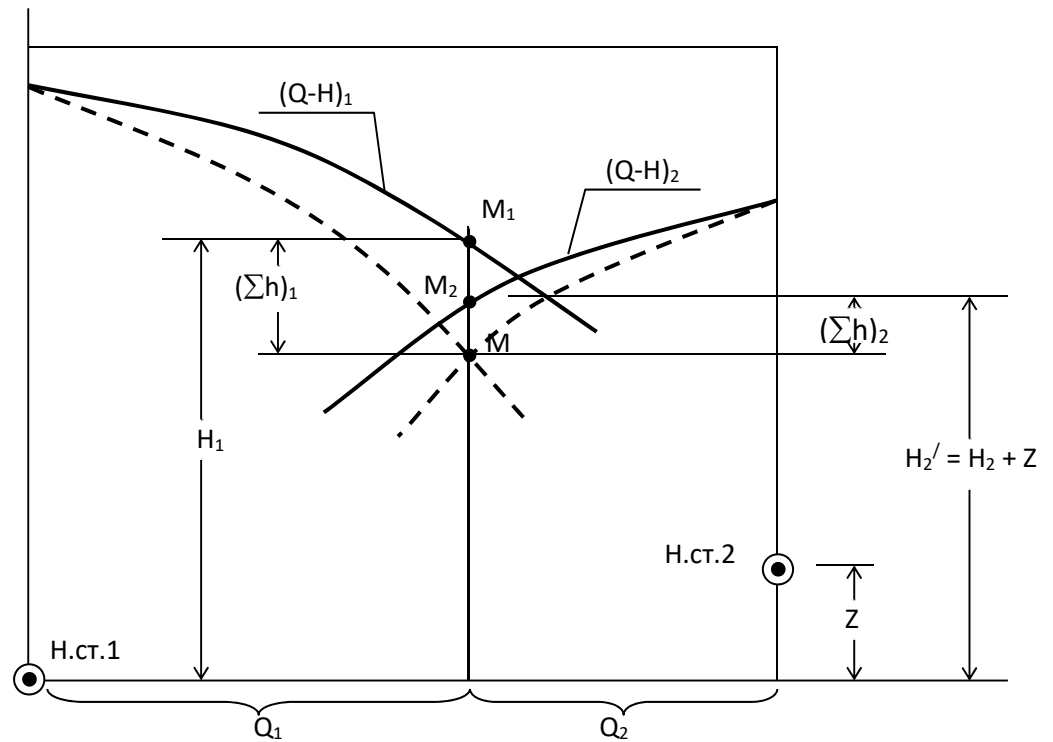


Рисунок 5.4 - Графічний аналіз роботи розгалуженої мережі з двома водоживлювачами

4. Після вирахування відповідних витрат напору з ординат кожної з характеристик буде одержано дві нові характеристики насосів, які показано пунктиром. Їх перетин між собою дає точку M , яка визначає величини подач кожного з насосів Q_1 і Q_2 . Ординати точок M_1 і M_2 характеристик $(Q-H)_1$ і $(Q-H)_2$, які відповідають абсцисі точки M , дають напори насосів H_1 і H_2 відносно вісі насосної станції N_1 . Різниця ординат M_1 і M дає величину $(\Sigma h)_1$, а ординат M_2 і M - $(\Sigma h)_2$. Інші величини q_{ik} і h_{ik} можуть бути легко знайдені за допомогою рівнянь першої та другої групи.

Подібний метод перевірного розрахунку безбаштових розгалужених мереж з двома джерелами живлення може бути розповсюдженим і на системи з любым числом насосних станцій. При збільшенні числа насосних станцій буде відповідно зростати число невідомих величин подачі насосів Q_n . Тому для визначення всіх невідомих витрат до рівняння першої групи необхідно додавати рівняння "зовнішньої ув'язки" в кількості $e-1$.

Наприклад, для мережі з трьома насосними станціями необхідно буде два рівняння “зовнішньої ув’язки”:

$$H_1 - (\Sigma h)_1 = H_2 - \Sigma(h)_2$$

$$\text{I } H_1 - (\Sigma h)_1 = H_3 - \Sigma(h)_3 ,$$

які можна представити у вигляді

$$F(Q_1) - f(Q_1) = F(Q_2) - f(Q_2)$$

$$\text{і } F(Q_1) - f(Q_1) = F(Q_3) - f(Q_3),$$

де Q_1, Q_2 і Q_3 - невідомі подачі насосів;

H_1, H_2 і H_3 - відповідні їм напори насосів;

$(\Sigma h)_1, (\Sigma h)_2, (\Sigma h)_3$ - сумарні втрати напорів в зонах мережі, які живляться від відповідних насосних станцій.

Ці два рівняння “зовнішньої ув’язки” разом з основним “балансовим рівнянням”

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = \Sigma Q_i$$

складають систему рівнянь для визначення всіх невідомих витрат Q_1, Q_2 і Q_3 .

Межа зон живлення уточнюється в процесі розрахунку. Задача може розв’язуватись графічно чи аналітично. В усіх розглянутих системах замість окремих насосних станцій можуть бути напірні резервуари або природні водосховища, які використовуються як водоживлювачі (при умові, що вони не можуть перетворитись в нефіксовані відбори). При цій умові розрахунок систем з такими резервуарами залишається таким же, як і з насосними станціями з тією різницею, що для фіктивних ліній, які з’єднують вузол “0” з напірним резервуаром, характеристика буде мати вигляд $H = \text{const}$. Схема розрахунку з фіктивними контурами відтворює схему електромоделювання системи водопостачання.

Питання для самоконтролю

1. Які завдання вирішуються при виконанні перевірочних розрахунків?
2. Які розрахункові параметри є відомими при розрахунках схеми безбаштової водопровідної мережі?
3. Чому дорівнює кількість невідомих витрат при розрахунку розгалуженої безбаштової мережі з подачею води двома насосними станціями?
4. В яких випадках виконуються рівняння зовнішньої ув’язки?

Тема 6. Особливості гідравлічних комплексів систем водовідведення

1. Гідравлічні характеристики елементів систем водовідведення.
2. Задачі перевірочних розрахунків комплексу водовідведення.
3. Перевірочні розрахунки напірних елементів систем водовідведення.
Перевірочні розрахунки безнапірних елементів систем водовідведення.

1. Гідравлічні характеристики елементів систем водовідведення

Основними елементами систем водовідведення, які пов'язані в єдиний гідравлічний комплекс, являються:

- лінії, які відводять стоки - напірні колектори, ділянки самопливної мережі;
- приймачі стічних вод;
- ємності-регулятори;
- елементи, які перекачують стоки - насоси, пневматичні установки.

Гідравлічні характеристики напірних елементів систем водовідведення аналогічні характеристикам відповідних елементів систем водопостачання. Разом з тим при однаковій структурі цих характеристик вони повинні враховувати особливості систем водовідведення. Так, наприклад, напірні колектори мають такі ж характеристики, як і водоводи, тобто,

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

Проте, якщо в водопровідних мережах в певних випадках швидкість руху води може бути невеликою ($<0,7$ м/с), то в системах водовідведення така швидкість дуже не бажана, а якщо вона має місце, то необхідно використовувати спеціальні міри для промивки ліній. Крім того, гідравлічні характеристики напірних колекторів систем водовідведення мають більшу залежність від терміну експлуатації.

На відміну від систем водопостачання в системах водовідведення немає водоживлювачів у вигляді резервуарів (за виключенням очисних споруд). Характеристики ***Q-H*** багатьох каналізаційних насосів в межах області, яка рекомендується для їх використання, близькі до прямої, тобто, така ділянка характеристики може бути описана рівнянням прямої

$$H = a_0 - a_1 Q_1 ,$$

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

$$\text{Для крайніх точок робочої ділянки} \begin{cases} H_1 = a_0 - a_1 Q_1 , \\ H_2 = a_0 - a_1 Q_2 . \end{cases}$$

Звідки

$$a_1 = \frac{H_1 - H_2}{Q_2 - Q_1} ; \quad a_0 = H_1 + \frac{H_1 - H_2}{Q_2 - Q_1} Q_1 .$$

Пневматичні установки, які використовуються для перекачки стоків, мають гідравлічні характеристики, що подібні водопровідним, тобто,

$$P_{abc} W = const.$$

Стічні води надходять в систему водовідведення через санітарні прилади. Самопливний режим роботи в системах водовідведення послаблює взаємний зв'язок витрати і напору, і для більшості санітарних приладів ним можна знехтувати. В цьому випадку характеризувати санітарні прилади можна витратами води з них Q_{np} і їх висотою розміщення відносно точки приєднання до мережі або абсолютною позначкою Z_{np} .

В окремих випадках (наприклад, для приймачів стічних вод промислових підприємств) враховується пропускна здатність системи водовідведення з приладу

$$H_{np} = S_{ov} Q_{np}^2 ,$$

де S_{ov} - опір системи водовідведення від приладу;

Q_{np} - витрата води від приладу.

Ємності - регулятори в залежності від задач, які розв'язуються, можна описати напірно-витратною характеристикою вигляду

$$H = Z_{pe} - S Q^2 ,$$

де Z_{pe} - позначка рівня води в ємності;

S - опір системи водовідведення;

Q - витрата, яка відбирається з ємності.

або витратно-тривалісною характеристикою

$$t = W / Q,$$

де W - об'єм ємності;

t - термін спорожнення (наповнення);

Q - витрата спорожнення (наповнення).

Ділянки самопливної мережі характеризуються ухилом, який забезпечує необхідну пропускну можливість для відводу стоків при необхідному наповненні. Аналітичне описання характеристики самопливної лінії буде мати вигляд

$$Z_k = Z_n - h_{\text{вм}} = Z_n - il = Z_n - \frac{q^2 l}{w^2 c^2 R} = Z_n - K^2,$$

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. Задачі перевірочних розрахунків комплексу водовідведення

Головна ціль перевірочних розрахунків - визначення необхідних заходів в системі водовідведення для забезпечення її нормальної роботи в умовах зміни надходження стоків.

Витрата стоків може як збільшуватися, так і зменшуватись. Збільшення витрати стоків пов'язано із збільшенням кількості населеного пункту і з розширенням промислових підприємств. При цьому необхідно врахувати

також, що на параметри системи водовідведення впливає не тільки величина витрати, але і місце розташування зони зміни витрати в системі. Так, наприклад, якщо зона зміни витрати знаходиться на початку мережі, то це позначиться практично на всіх її ділянках від цієї зони до очисних споруд або до випуску. Якщо зона збільшення витрати буде знаходитися в кінці мережі, то це позначиться тільки на кінцевих ділянках колектору, на очисних спорудах і на випуску. На характеристики мережі впливає не тільки місце розташування зон зміни витрат, але і зміна інтенсивностей надходження стоків (наприклад, при реконструкції району з заміною забудови будинками з більшою кількістю поверхів). В цьому випадку змінюються витрати стоків, які надходять від бокових приєднань, а отже і зосереджені витрати в колектори.

В мережі водовідведення необхідно враховувати не тільки збільшення, але і зменшення витрат тому, що таке зменшення приводить до зменшення швидкостей, збільшення відкладень в трубах і збільшення кількості засмічень трубопроводів. Зменшення витрат може мати місце в зв'язку із зміною напрямку забудови міста, перепланування міста, зміною структури промисловості, вимогами охорони навколишнього середовища.

Перевірочні розрахунки також необхідні при підключенні до мережі нових колекторів. Таким чином, 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.

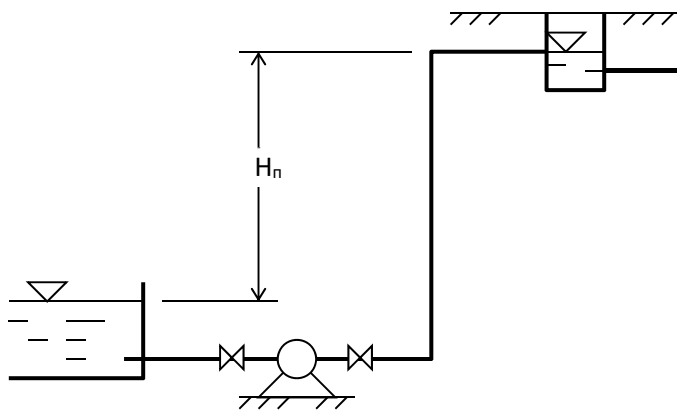
3. Перевірочні розрахунки напірних елементів систем водовідведення

До напірних елементів систем водовідведення відносяться: напірні колектори, насоси, пневматичні установки, дюкери, гравітаційні трубопроводи очисних споруд. В усіх цих елементах характеристики в кінцевому рахунку можуть бути представлені у вигляді $H=f(Q)$. В зв'язку з цим основні типи задач зводяться до визначення максимальної витрати, яку може пропускати система, що аналізується, при заданому перепаді напорів або до визначення необхідного напору для пропуску заданої витрати.

Можливість збільшення пропускної можливості системи “насос - напірний колектор” базується на тому, що насоси насосних станцій систем водовідведення мають запаси продуктивності. Тому стійкість системи досягається за рахунок переміщення робочої точки.

Розглянемо схему роботи насосу на напірний колектор (рис. 25). Така схема використовується при необхідності зменшення глибини прокладки самопливного колектору та при перекачці стоків на очисні споруди.

Напір, який повинен розвивати насос, визначається за формулою:



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

де H_n - геометрична висота підйому;

$\sum h_k$ - сумарні втрати напору в комунікаціях.

Рисунок 6.1 - Схема перекачки стічних вод

$$\sum h_k = h_{дов} + h_m = S_n Q^2 + \sum h_{mn} + S_{вс} Q^2 + \sum h_{мвс} =$$

$$= (1,1 \div 1,15) S_n Q^2 + S_{вс} Q^2 + \sum \xi \frac{v_{вс}^2}{2g},$$

де S_n і $S_{вс}$ - опір напірного і всмоктувального трубопроводів відповідно;

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

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

З другого боку напір насосу визначається виразом

$$H_n = a_0 - a_1 Q.$$

Ці рівняння дозволяють розв'язувати як пряму, так і зворотну задачу, тобто знайти H_n або Q_n . Таке рішення можливе, якщо в верхньому колодязі або приймальному резервуарі мається залишковий напір насосів. Тоді із збільшенням подачі робоча точка насосів буде переміщуватися по характеристиці $Q-H$ насосів, а залишковий напір буде знижуватись.

Якщо залишковий напір в колодязі - гасителі недостатній, то необхідна подача може бути досягнута за рахунок збільшення рівня рідини в приймальному резервуарі насосної станції. Коли це неможливо, то збільшення пропускної здатності системи "насос - напірний колектор" може бути досягнуто за рахунок зниження опору комунікацій.

Розглянемо сумарні втрати напору в комунікаціях

$$\sum h_k = h_{дов} + h_m = S_n Q^2 + S_{вс} Q^2 + \sum \xi \frac{v_n^2}{2g} + \sum \xi \frac{v_{вс}^2}{2g}.$$

Для одного робочого насосу $Q_{вс} = Q_n$. Тоді

$$\begin{aligned} \sum h_k &= S_n Q^2 + \frac{8Q^2}{\pi^2 D_n^4 g} \sum \xi_n + S_{вс} Q^2 + \frac{8Q^2}{\pi^2 D_{вс}^4 g} \sum \xi_{вс} = \\ &= (S_n + \frac{k}{D_n^4} \sum \xi_n + S_{вс} + \frac{k}{D_{вс}^4} \sum \xi_{вс}) Q^2 = S_k Q^2. \end{aligned}$$

Припустимо, що витрата стоків зросла в α разів. Тоді, для того, щоб напір насосів не збільшувався втрати напору в комунікаціях не повинні зростати, тобто

$$\sum h_{k1} = \sum h_{k2}.$$

Підставимо нове значення витрат в це рівняння. Одержимо

$$S_{\kappa 1} Q^2 = S_{\kappa 2} (\alpha Q^2),$$

$$S_{\kappa 1} Q^2 = S_{\kappa 2} \alpha^2 Q^2.$$

Звідки

$$S_{\kappa 2} = S_{\kappa 1} / \alpha^2$$

або

$$\sum h'_{\kappa 2} = \sum h_{\kappa 1} / \alpha^2.$$

Представимо цей вираз через довжину колектора. Для цього розглянемо дві можливі схеми напірних колекторів (рис. 26).

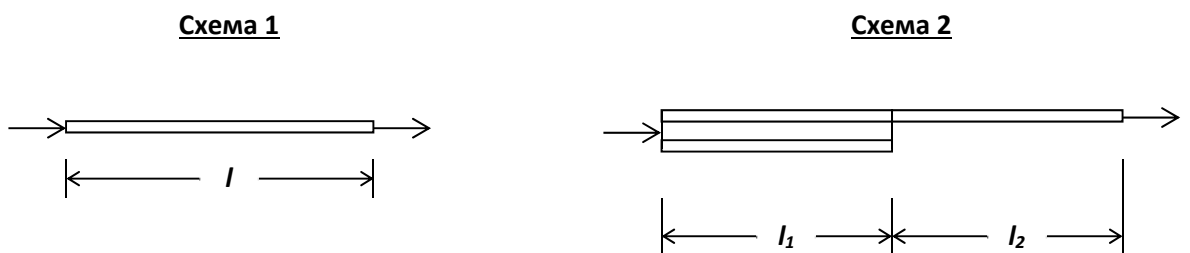


Рисунок 6.2 - Схема напірних колекторів

Припустимо, що зниження загального опору системи досягається паралельним підключенням колектора такого ж діаметру довжиною l_1 . Тоді буде справедливим рівняння

$$\sum h_{cx2} = \sum h_{l_1} + \sum h_{l_2},$$

де $\sum h_{cx2}$ - сумарні втрати колекторів за схемою 2;

$\sum h_{l_1}$ і $\sum h_{l_2}$ - сумарні втрати колекторів довжиною l_1 і l_2 відповідно.

Виразимо сумарні втрати напору через довжину, витрату і кількість колекторів. Тоді

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

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

$$l_2 = l - l_1; \quad \frac{1}{n^2} l = \frac{\alpha^2}{n_1^2} l_1 + \frac{\alpha^2}{n^2} (l - l_1);$$

$$\frac{1}{n^2} l = \frac{\alpha^2}{n_1^2} l_1 + \frac{\alpha^2}{n^2} l - \frac{\alpha^2}{n^2} l_1;$$

$$\left(\frac{1}{n^2} - \frac{\alpha^2}{n^2} \right) l = \left(\frac{\alpha^2}{n_1^2} - \frac{\alpha^2}{n^2} \right) l_1.$$

Звідки

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

де α - співвідношення витрат

$$\alpha = Q_1 / Q,$$

Q_1 і Q - збільшена і існуюча витрата відповідно,

n_1 і n - кількість колекторів на різних ділянках.

Ця ж формула дозволяє визначити, яку частину одного з паралельних колекторів корисно відключити для підтримання необхідного режиму при зменшенні витрати, яка надходить. Однак це не позбавляє від необхідності в окремих випадках прийняття мір в зв'язку зі зниженням швидкості руху стоків в тій частині колекторів, які залишаються.

Пневматичні установки при перекачці стічних вод працюють в циклічному режимі: наповнення приймальної ємності - витискування стоків повітрям. Перший цикл - *самопливний*, і збільшення витрати, яка надходить, впливає тільки на зменшення його терміну. Другий цикл - *напірний*. В цьому циклі збільшення витрати стоків приводить до зростання втрат напору в напірному трубопроводі і до збільшення тиску компресора. Ці зміни визначаються наступними співвідношеннями:

- втрати напору в напірному трубопроводі до зміни витрати дорівнюють

$$h_1 = S_1 Q_1^2 ;$$

- втрати напору в цьому ж трубопроводі при зміні витрат в α разів будуть

$$h_2 = S_1 \alpha^2 Q_1^2 ;$$

- відносна зміна втрат напору складе

$$h_2 / h_1 = \alpha^2 ;$$

- повний напір, який повинен забезпечувати компресор з врахуванням змін буде

$$H = H_n + \alpha^2 h_1 ,$$

де H_n - частина загального напору, яка необхідна для підймання стоків на висоту між позначкою рівня рідини в приймальному колодязі і позначкою дна ємності апарату.

При значному зростанні втрат напору збільшення пропускної можливості може бути забезпечено збільшенням діаметра напірного трубопроводу або прокладкою додаткового трубопроводу.

Наступним напірним елементом являються дюкери. Втрати напору в дюкері до зміни витрати визначаються рівнянням

$$h_1 = S Q^2 + \frac{\sum \xi \frac{v^3}{2g}}{Q^2} = S Q^2 + \frac{8 Q^2}{\pi^2 D^4 g} \sum \xi = \left(S + \frac{8}{\pi^2 D^4 g} \sum \xi \right) Q^2 .$$

При зміні витрати в α разів втрати напору зростають до величини

$$h_2 = \left(S + \frac{8}{\pi^2 D^4 g} \sum \xi \right) \alpha^2 Q^2 ,$$

тобто зміна складає

$$h_2 / h_1 = \alpha^2 .$$

Збільшення втрат напору приводить до підтоплення верхньої камери і трубопроводу, який підводить стоки, а зменшення їх - до зниження швидкості руху стоків, яка не повинна бути меншою 1 м/с.

Аналогічні характеристики мають і гравітаційні трубопроводи очисних споруд. Заходи, які пов'язані з цими змінами, залежать від конкретних умов їх експлуатації.

4. Перевірочні розрахунки безнапірних елементів систем водовідведення

До безнапірних елементів систем водовідведення відносяться: самопливні вуличні мережі і колектори, самопливні лотки, ємності-регулятори.

Безнапірні елементи, як і напірні, характеризуються залежностями вигляду $h=f(Q)$, які однаке в системах водовідведення трансформуються у залежність

$$h = i l,$$

де i - ухил трубопроводу;

l - довжина трубопроводу.

Враховуючи це, основні типи перевірочних задач зводяться до перевірки можливостей підключення до діючих мереж нових ділянок трубопроводів і до перевірки величин параметрів потоку після зміни витрат, які були на початку. В ємностях-регуляторах, крім гідравлічних параметрів, перевіряються також часові або об'ємні параметри.

Задачі перевірки можливостей підключення нових мереж до діючих розглядаються в двох аспектах:

- перевірка можливостей підключення до колодязя з відомою позначкою лотка при збереженні потрібного гідравлічного режиму в новій мережі;
- перевірка можливості пропуску збільшеної витрати стоків існуючими мережами.

Перший тип задачі передбачає перевірку умови

$$Z_{max} = Z_{поч} - il \geq Z_l ,$$

де Z_{max} - максимально висока можлива позначка лотка труби нової мережі в місці підключення, тобто, позначка лотка, яка буде в тому випадку, коли початкова глибина закладки і ухил прийняті мінімально допустимими;

i - мінімальний ухил лотка труби, який забезпечує допустиме наповнювання труби і швидкість руху рідини в ній;

l - довжина мережі;

Z_l - позначка лотка існуючої мережі в місці підключення;

$Z_{поч}$ - позначка лотка на початку ділянки

$$Z_{поч} = Z_{пов.з} - h_{поч} ,$$

$Z_{пов.з}$ - позначка поверхні землі на початку ділянки;

$h_{поч}$ - початкове заглиблення лотка на початку ділянки.

Ця задача в залежності від того, що доцільніше перевіряти, може зводитись до перевірки таких умов (рис. 27):

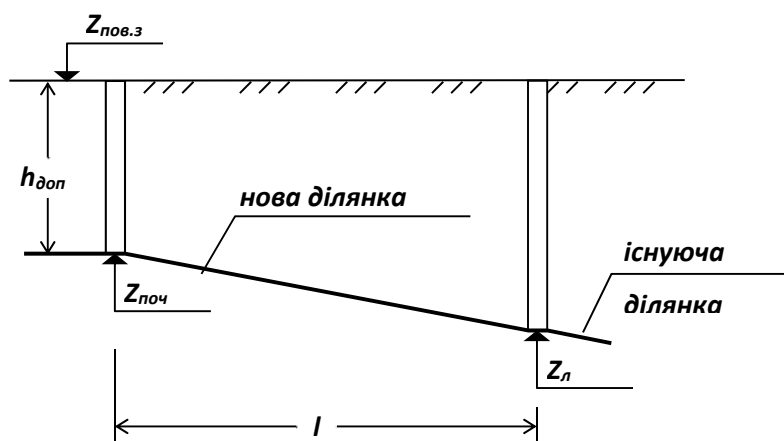


Рисунок 6.3 - Схема підключення нової ділянки до існуючої мережі

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

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

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

де $h_{доп}$ - допустиме початкове заглиблення мережі;

$i_{доп}$ - допустимий мінімальний ухил ділянки;

$l_{необ}$ - необхідна довжина ділянки.

Рішення, які приймаються в результаті перевірки диктуються умовами прокладки (наприклад, утеплення початкової ділянки, збільшення діаметру із зниженням ухилу і т.п.).

Другий тип задачі зводиться до перевірки виконання тих обмежень, які пред'являються до мереж водовідведення, а саме:

$$v_{факт} \geq v_{доп}, \quad h/D \leq (h/D)_{доп},$$

де $v_{факт}$ і $v_{доп}$ - фактична і допустима швидкість в трубопроводі;

h - глибина води в трубопроводі.

Витрата в самопливному трубопроводі визначається залежністю

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

В вирази для Q і v входять значення $w=f(h/D)$ і $\chi=f(h/D)$, в яких h в свою чергу являється функцією Q та i . Тому задача може розв'язуватись числовими методами або на основі нерівностей

$$Q_{факт} \leq Q_{нрон},$$

$$v_{факт} \geq v_{доп},$$

де $Q_{факт}$ і $Q_{нрон}$ - фактична витрата і витрата в трубопроводі при заданих D і h/D та відповідно;

$v_{факт}$ і $v_{доп}$ - фактична і допустима швидкості відповідно;

w - площа живого перерізу потоку;

χ - змочений периметр;

c - коефіцієнт Шезі.

Аналогічні розрахунки проводяться і при самопливних лотках.

Ємності-регулятори в системах водовідведення використовуються двох видів:

- приймальні резервуари насосних станцій;
- ставки-регулятори в системах дощової каналізації.

При розрахунку ємності приймальних резервуарів каналізаційних насосних станцій враховується, що вона повинна бути не меншою п'ятихвилинної максимальної подачі одного насосу і повинна забезпечувати не більше п'ятиразового автоматичного включення насосів. Якщо резервуар виконано із збереженням цих умов, і насоси не замінюються, то збільшення притоку не порушує першої умови. При цьому друга умова також буде зберігатися до тих пір, поки виконується умова

$$Q_{np} \leq Q_{\max},$$

де Q_{np} - максимальний приток стічних вод;

Q_{\max} - максимальна подача одного насосу.

При невиконанні цієї умови перевіряється кількість включень насосу з максимальною подачею за формулою

$$n = Q_{np} / (4W),$$

де W - об'єм резервуару.

Якщо $n > 5$, необхідно прийняти міри по його зниженню (наприклад, додатково з головним насосом включати насос меншої продуктивності).

Ставки регулятори в системах дощової каналізації дозволяють знизити витрати води в елементах, які слідує за ними.

Питання для самоконтролю

1. Які елементи системи водовідведення складають єдиний гідравлічний комплекс?
2. Яка головна мета виконання перевірочних розрахунків систем водовідведення?
3. Які елементи системи водовідведення є напірними?
4. В яких режимах працюють пневматичні установки систем водовідведення?

Тема 7. 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. Визначення головних характеристик гідравлічних комплексів базується на використанні відповідних питомих норм таких, як втрати напору на одиницю довжини трубопроводу, витрати води на одного мешканця в одиницю часу і т.п. Крім того, загальні характеристики для комплексу визначаються частіше всього як результат складання відповідних показників для окремих районів. Тому алгоритми визначення головних характеристик гідравлічних комплексів базуються на загальних принципах, які зводяться до того, що вони визначаються спочатку для окремих районів, а потім в циклічному процесі знаходяться для системи в цілому.

В водопровідних мережах для визначення дійсних витрат води і втрат напору в лініях використовуються методи наближення, які також базуються на циклічних процесах. Циклічним процесом описуються і оптимізаційні розрахунки об'ємів регулюючих ємностей.

Розрахунки, які приходиться виконувати при аналізах особливостей роботи гідравлічних комплексів, вимагають багаторазового повторення однотипних операцій, тобто, за своєю суттю вони також являються циклічними процесами.

Таким чином, більшість розрахунків, які треба виконувати при аналізах гідравлічних комплексів, базуються на циклічних алгоритмах тієї чи іншої складності.

2. Алгоритми розрахунку добових витрат води на різні потреби

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;
- пожежогасіння.

Добові витрати на кожний з цих видів потреб можна визначити за формулою:

$$\overline{Q}_i = q_i \times N_i,$$

де q_i - питома витрата води на i -ті потреби;

N_i - кількість відповідних одиниць, для яких встановлені питомі витрати води (для господарсько-питних потреб населення і робочих на виробництві це буде кількість населення чи робочих; для витрат на поливку - це кількість населення чи відповідна площа, яка поливається; для витрат на душ - це розрахункова кількість душевих сіток; для витрат на виробничі витрати - це добова продуктивність підприємства в одиницях продукції, яка випускається, або в їх вартості; для витрат на пожежогасіння - це розрахункова кількість пожеж).

Таким чином, в принципі алгоритми для визначення середньодобових витрат будуть подібними, але при їх складанні для спрощення розрахунків необхідно враховувати також необхідність знання цих витрат для окремих районів міста, а також витрати в добу з мінімальним та максимальним водоспоживанням. Для промислових підприємств необхідно також знати витрати в кожен змін. З врахуванням цих особливостей і розроблені алгоритми для визначення відповідних витрат.

На рис.7.1 приведено алгоритм для визначення добових витрат на господарсько-питні потреби населення міста.

В цьому алгоритмі визначення витрат в максимальному і мінімальну добу передбачено за формулами

$$Q_{i \text{ макс}} = \overline{Q}_{i0} \times K_{i0 \text{ макс}},$$

$$Q_{i \text{ мін}} = \overline{Q}_{i0} \times K_{i0 \text{ мін}},$$

а відповідні витрати для міста в цілому визначаються за формулами

$$\overline{Q}_{1m} = \sum_1^{NR} \overline{Q}_{i0},$$

$$Q_{1d \max} = \frac{\sum_{i=1}^{NR} Q_{id \max}}{1},$$

$$Q_{1d \min} = \frac{\sum_{i=1}^{NR} Q_{id \min}}{1}.$$

Як видно з алгоритму, розрахунок для кожного району міста ведеться послідовно:

- спочатку визначаються середня, максимальна і мінімальна добові витрати для першого району;
- потім вони визначаються для другого району і в відповідних чарунках пам'яті машини нагромаджуються шляхом складання з відповідними величинами першого району;
- цикл повторюється до перебору всіх районів міста;
- друкуються величини середніх, максимальних і мінімальних витрат для кожного району і міста в цілому.

Алгоритм реалізовано в програмі під назвою **Rashoz.for**.

На рис.7.2 приведено алгоритм розрахунку витрат води на поливання вулиць і зелених насаджень, виходячи з питомої витрати на одного мешканця. При цьому витрати на поливку силами дворників і машинами визначаються роздільно в кожному районі за формулами

$$Q'_{id \text{ дв}} = 0,4 q_i N_i / 1000,$$

$$Q''_{id \text{ м}} = 0,6 q_i N_i / 1000.$$

Після чого знаходиться загальна витрата на полив в районі

$$Q_{id} = Q'_{id \text{ дв}} + Q''_{id \text{ м}}.$$

Загальні витрати в окремих районах і по місту в цілому визначаються нагромадженням в відповідних чарунках пам'яті машини обчислених для кожного району величин за формулами

$$Q'_{2d} = \sum_{i=1}^{NR} Q'_{id}, \quad Q''_{2d} = \sum_{i=1}^{NR} Q''_{id}, \quad Q_{2d} = \sum_{i=1}^{NR} Q_{id}.$$

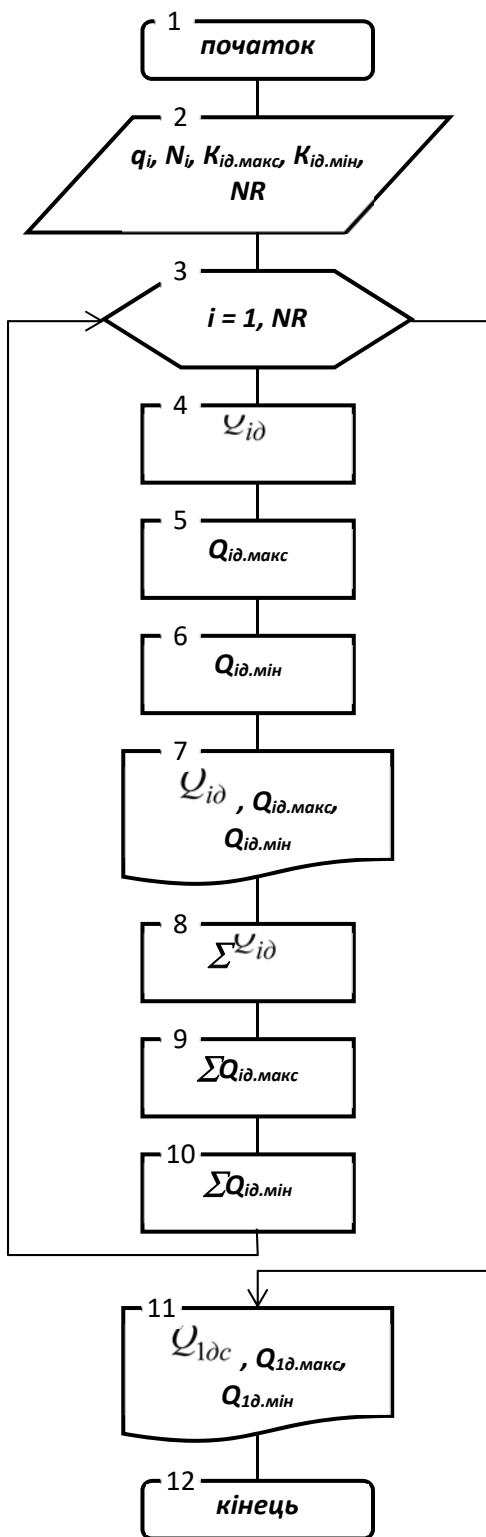


Рисунок 7.1 - Блок-схема розрахунку витрат води на господарсько-питні потреби міста

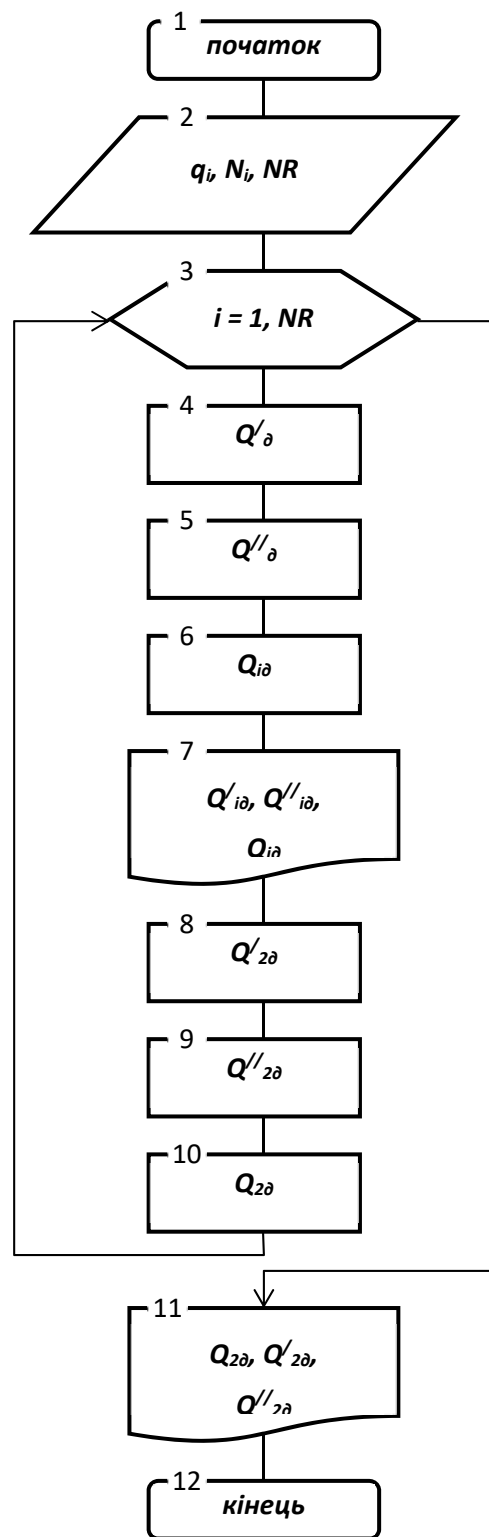


Рисунок 7.2 - Блок-схема розрахунку добових витрат води на поливку по питомій витраті на 1 мешканця

Блок-схема, яка приведена на рис. 29, реалізована в програмі під назвою **Raspoll.for**.

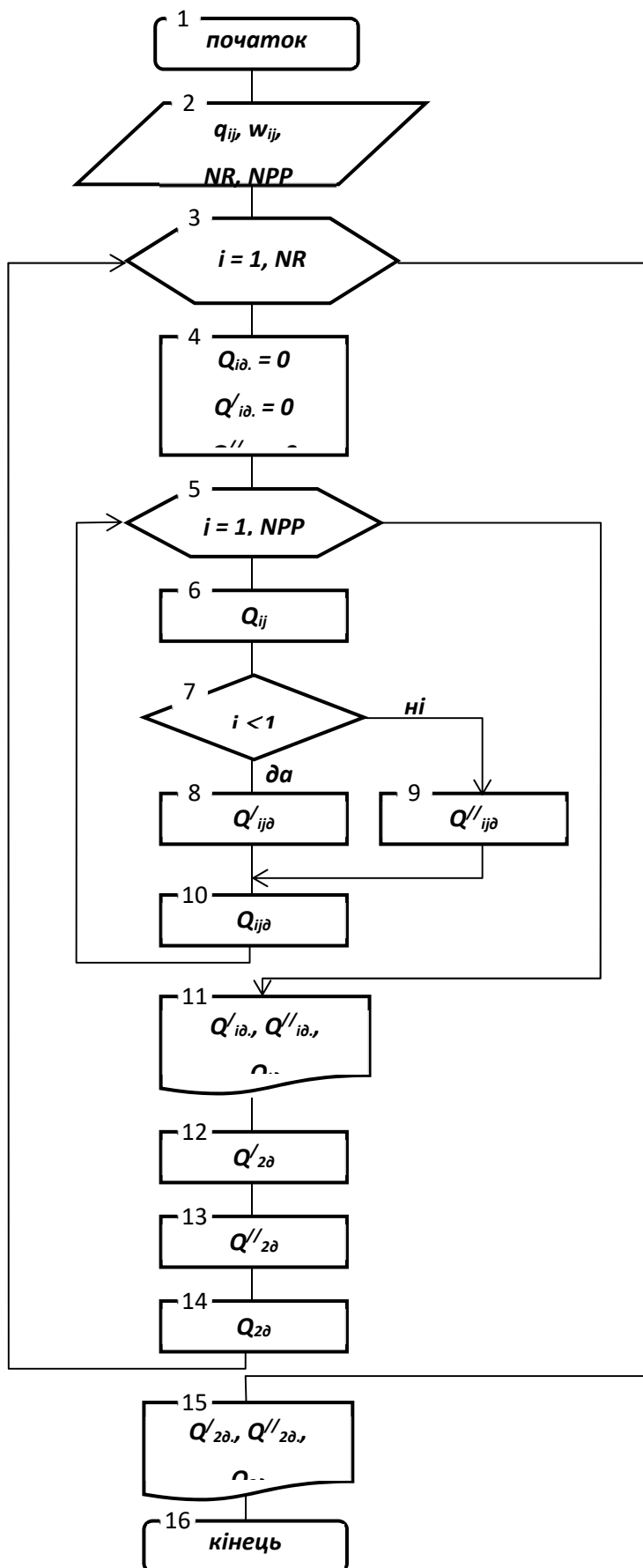


Рисунок 7.3 - Блок-схема розрахунку добових витрат води на поливку по питомій витраті на 1 м²

Блок-схема розрахунку добових витрат води на поливку вулиць і зелених насаджень на основі питомих витрат по площам, які поливаються, приведена на рис.7.3.Згідно з цим алгоритмом обчислюються і виводяться до друку такі ж величини, як і в попередньому випадку. Особливістю алгоритму являється те, що процес обчислення в ньому організується за схемою алгоритмів із структурою вкладених циклів. Блок-схема включає внутрішній цикл з параметром який змінюється по кількості площ, які поливаються, від 1 до NPP. Цей цикл забезпечує обчислення добових витрат окремих районів міста з фіксацією витрат води силами двірників і машинами. При цьому використовуються формули:

$$Q'_{ijd} = \sum_{j=1}^2 m_{ij} q_{ij} w_{ij}, \quad \text{для } j \leq 2$$

(відповідає поливці машинами),

$$Q_{ij\delta}'' = \sum_{j=3}^{NR} Q_{ij} \quad \text{для } j > 2$$

(відповідає поливці вручну).

$$Q_{ij\delta} = Q'_{ij\delta} + Q''_{ij\delta},$$

де m_{ij} - кількість поливок;

q_{ij} - питома витрата води на 1м^2 ;

w_{ij} - j -а площа, що поливається, в i -му районі;

$Q'_{ij\delta}$ - добова витрат води на поливку механізованим способом;

$Q''_{ij\delta}$ - те ж силами двірників;

$Q_{ij\delta}$ - добова витрата води на поливку в i -му районі.

Для того, щоб розділити механізовану і ручну поливки, при вводі вихідних даних необхідно спочатку вводити механізовану поливку, а потім ручну.

Втрати $Q'_{ij\delta}$, $Q''_{ij\delta}$, $Q_{ij\delta}$ записуються машиною в окремі чарунки, в яких проводиться нагромадження витрат всіх районів для одержання добових витрат на поливку машинами і силами двірників для міста в цілому, використовуючи залежності

$$Q'_{2\delta} = \sum_1^{NR} Q'_{ij\delta},$$

$$Q''_{2\delta} = \sum_1^{NR} Q''_{ij\delta},$$

$$Q_{2\delta} = Q'_{2\delta} + Q''_{2\delta},$$

де $Q'_{2\delta}$ - витрата на поливку в місті машинами;

$Q''_{2\delta}$ - те ж саме двірників;

$Q_{2\delta}$ - те ж для міста в цілому.

Алгоритм реалізовано в програмі **Raspol2.for**.

Блок-схема розрахунку добових витрат води на господарсько-питні потреби робочих на промислових підприємствах приведена на рис. 31. Алгоритм дозволяє визначити і надрукувати добові витрати води в гарячих та холодних

цехах окремо в кожній зміні, загальні зміни витрати кожного промислового підприємства, сумарні витрати води в гарячих і холодних цехах всіх підприємств і по місту в цілому.

Блок-схема включає 2 цикли: *внутрішній* і *зовнішній*. Внутрішній цикл забезпечує визначення витрат по змінам на кожному підприємстві і по видам цехів. Цей цикл керується параметром , який відповідає кількості змін на підприємствах. При цьому використовуються формули

$$Q_{zjzm} = 0,045 N_{zjj} ,$$

$$Q_{xjzm} = 0,025 N_{xjj} ,$$

$$Q_{jzm} = Q_{zjzm} + Q_{xjzm} ,$$
$$Q_{i\partial} = \sum_1^{NZ} Q_{jz\partial} ,$$

$$Q_{z\partial} = \sum_1^{NZ} Q_{zjzm} ,$$

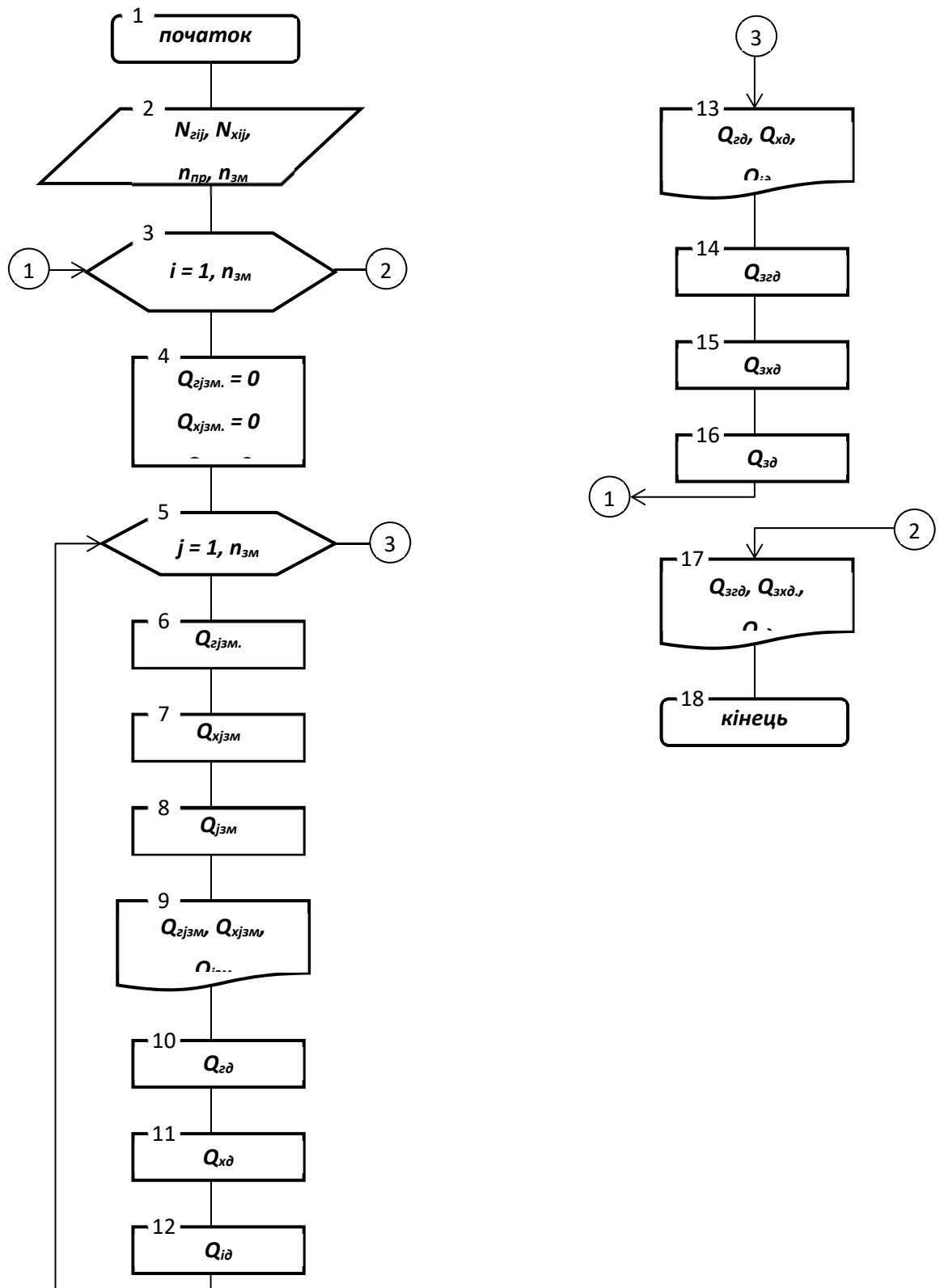


Рисунок 7.4 - Блок-схема розрахунку витрат на господарсько-питні потреби робочих промислових підприємств

$$Q_{x\partial} = \sum_1^{NZ} Q_{xjz\partial}$$

де $Q_{gjz\partial}$ і $Q_{xjz\partial}$ - витрата в гарячому і холодному цехові підприємства, яке розглядається;

$Q_{jz\partial}$ - загальна витрата в j -й зміні підприємства, яке розглядається;

$Q_{j\partial}$ - добова витрата для j -го підприємства;

$Q_{z\partial}$ і $Q_{x\partial}$ - добові витрати в гарячих і холодних цехах підприємства відповідно;

NZ - кількість змін роботи.

В зовнішньому циклі передбачається визначення добових витрат по місту в цілому і по видам цехів. Цей цикл керується параметром , який відповідає кількості підприємств в місті. Сумарні витрати визначаються за формулами

$$Q_{z\partial} = \sum_1^{n_{np}} \sum_1^{n_{z\partial}} Q_{gjz\partial}$$

$$Q_{x\partial} = \sum_1^{n_{np}} \sum_1^{n_{z\partial}} Q_{xjz\partial}$$

$$Q_{z\partial} = Q_{z\partial} + Q_{x\partial}$$

де $Q_{z\partial}$, $Q_{x\partial}$, $Q_{z\partial}$ - витрата в гарячих, холодних цехах і всього по місту в цілому відповідно.

Алгоритм реалізовано в програмі **Hozprom.for**.

3. Розрахунок добового режиму водоспоживання ведеться у формі таблиці сумарного водоспоживання. Але при його розрахунку на ЕОМ складати таку таблицю немає необхідності тому, що в подальшому не вся інформація, яка в ній є, використовується. Тому буде достатньо, якщо на основі розрахунку ЕОМ буде видаватися тільки інформація, яка необхідна для подальшого розрахунку мереж. Алгоритм розрахунку повинен забезпечувати одержання такої інформації:

- сумарна добова витрата міста;
- погодинні витрати води міста в м^3 і %;
- середні, мінімальні, максимальні годинні і секундні витрати води містом;
- номери годин з мінімальним та максимальним водоспоживанням;
- розрахункові рівномірно розподілені витрати для годин максимального і мінімального водоспоживання для різних районів міста;
- зосереджені витрати промислових підприємств міста в години максимального та мінімального водоспоживання.

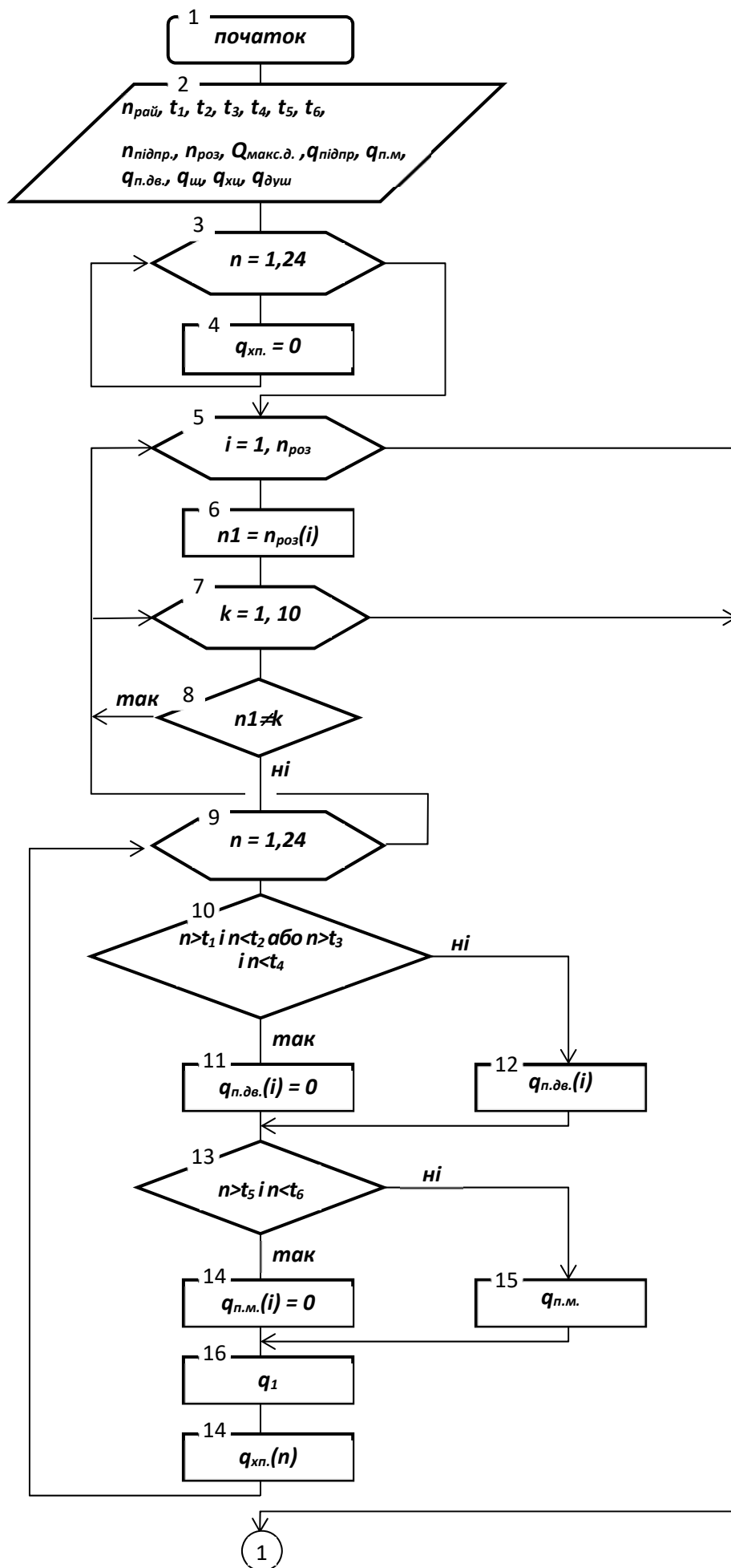
Алгоритм розрахунку режиму водоспоживання міста приведено на рис.

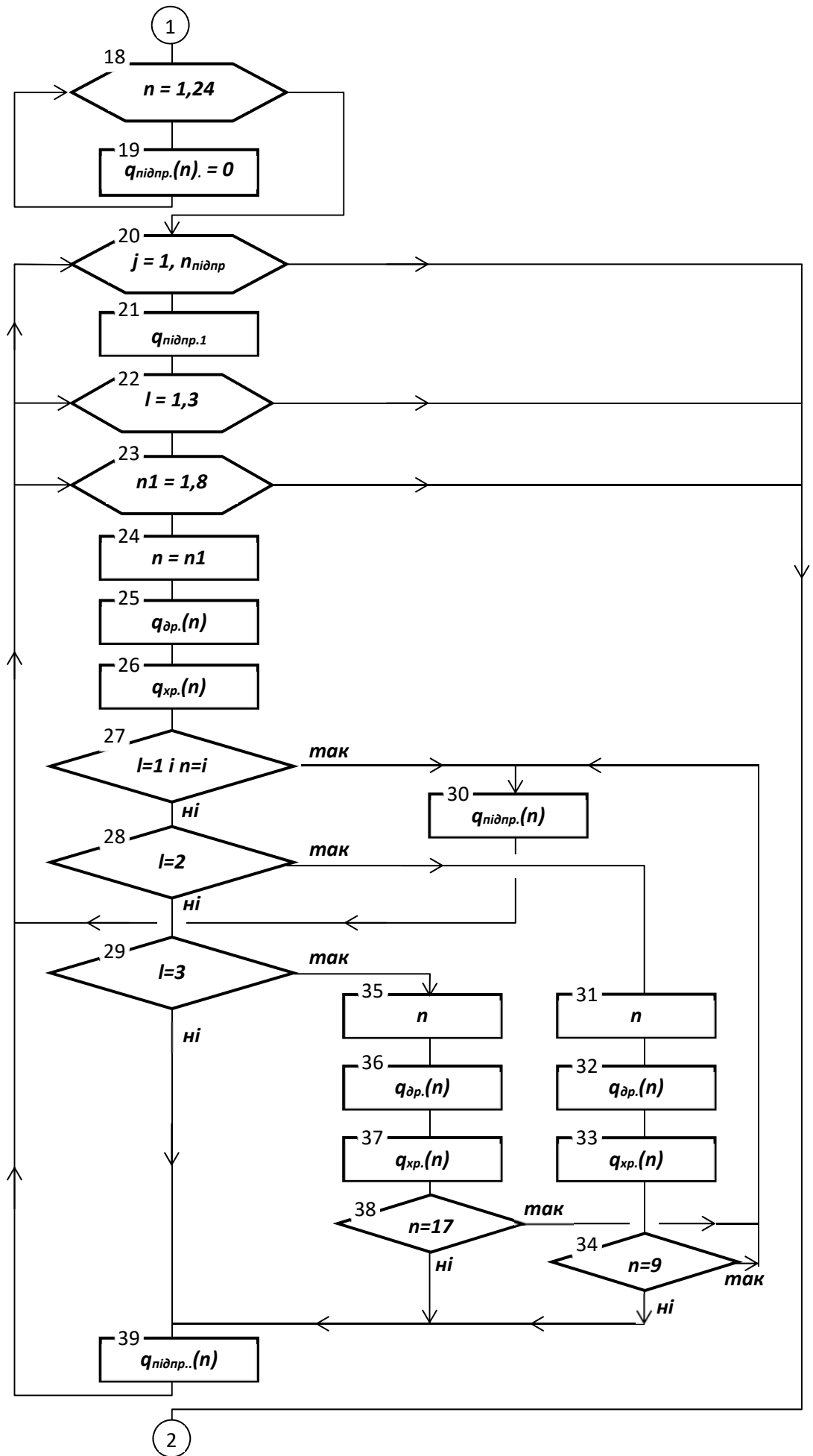
32.

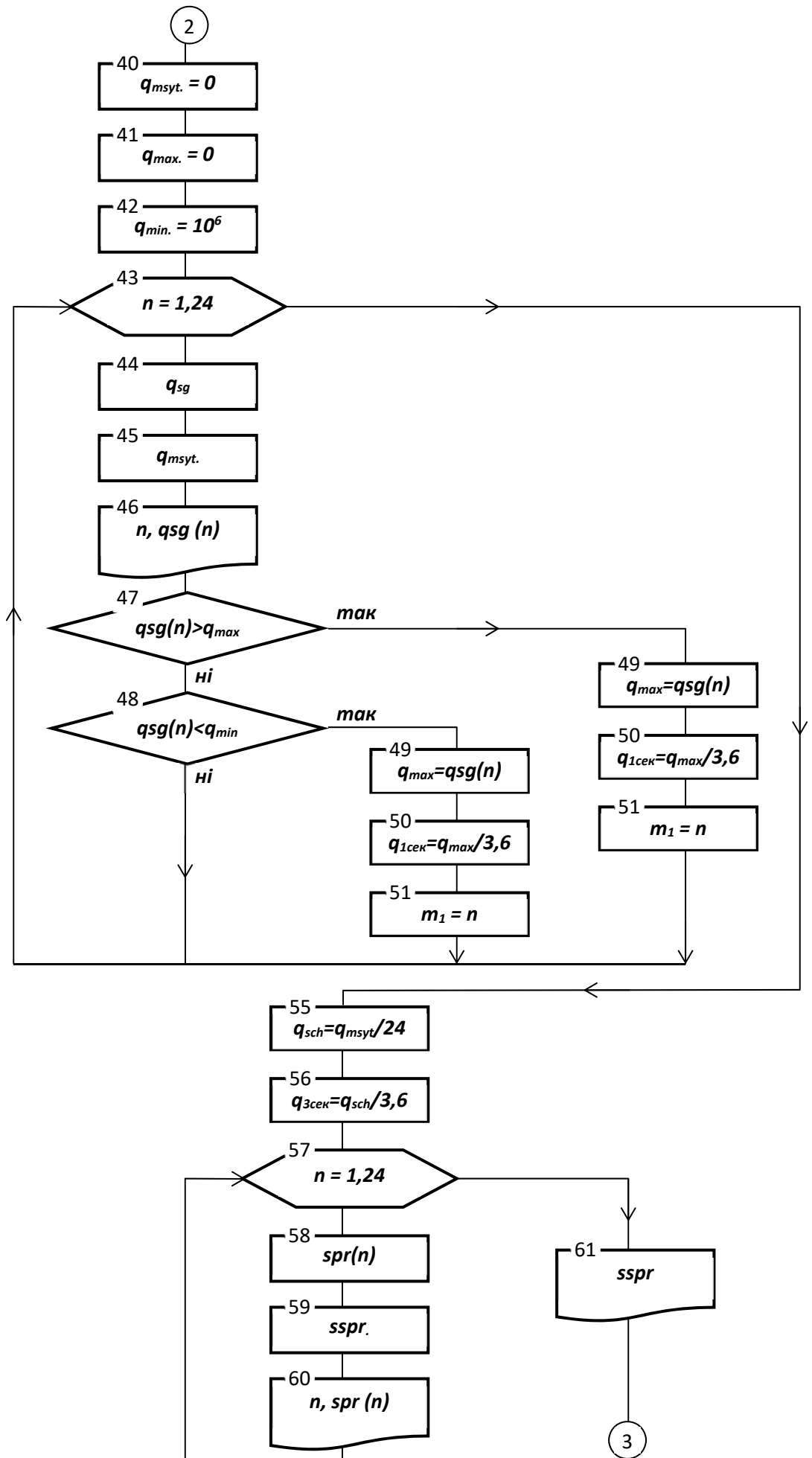
Визначення погодинних витрат води в місті в м^3 організовано в блоках **3-46**. При цьому максимальна добова витрата на господарсько-питні потреби міста розподіляється по годинах доби відповідно до міста - аналогу, яке задається в вихідних даних номером розподілу відповідно до коефіцієнту годинної нерівномірності. Годинні витрати промислових підприємств визначаються на основі витрат в холодних і гарячих цехах в зміну шляхом їх відповідного розподілу за відсотками, які записані в програмі. Витрати на душ задаються в вихідних даних. Витрати на виробничі потреби приймаються як середні за 24 години.

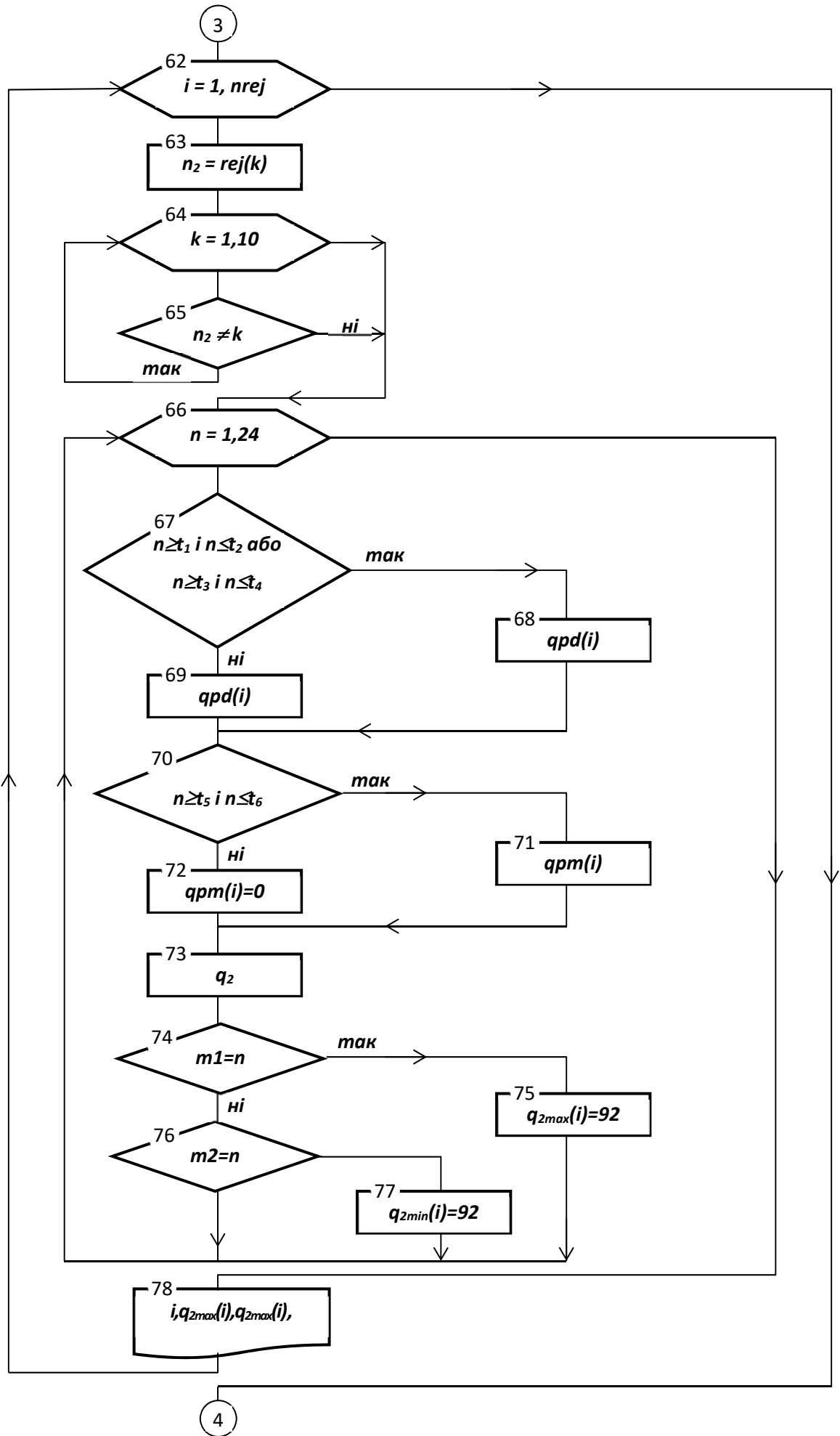
В блоках **41-56** визначаються витрати в максимальну, середню і мінімальну години, а також номери максимальної і мінімальної години. Для проектування режиму роботи насосної станції II підйому алгоритмом

передбачається в блоках **57-61** визначення погодинного розподілу добової витрати в відсотках як співвідношення годинних витрат до максимальної добової.









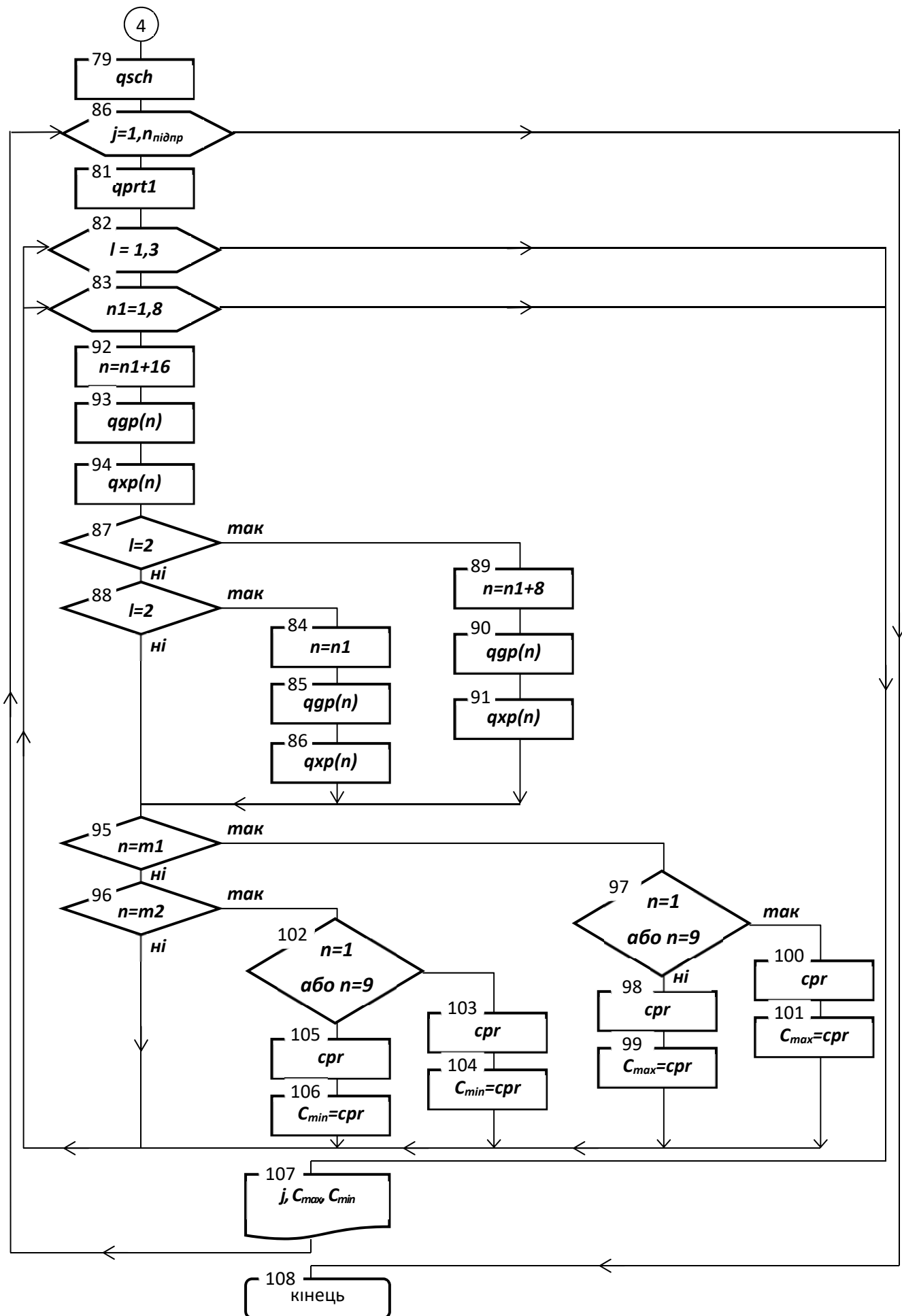


Рисунок 7.5 - Блок-схема розрахунку режиму добового водоспоживання міста

В блоках **62-77** організовано визначення максимальних і мінімальних витрат, які рівномірно розбираються з мережі в кожному з районів міста. В них спочатку знаходиться необхідний розподіл за годинами максимальної добової витрати, на основі якого визначаються витрати на господарсько-питні потреби міста. Потім визначаються годинні витрати на поливку двірниками і машинами, для чого спочатку перевіряється, чи потрапляє година, що розглядається, в періоди поливки тим чи іншим способом. А в кінці цієї групи блоків знаходяться сумарні максимальні та мінімальні витрати кожного з районів.

Сумарна добова витрата міста видається на друк для контролю.

В блоках **80-106** аналізується режим погодинних витрат на різні потреби в холодних і гарячих цехах промислових підприємств і визначаються максимальні та мінімальні годинні витрати кожного з підприємств.

Обмеженість розглянутого алгоритму зводиться до того, що при визначенні погодинної витрати на виробничі потреби прийнято, що вони працюють цілодобово. Враховуючи, що підприємства можуть також працювати лише в одну або дві зміни в вихідні дані доцільно ввести кількість змін для кожного з підприємств у вигляді масиву. В змалюванні цієї змінної її необхідно записати в "цілих". В блоці **21** необхідно організувати блок, який повинен спочатку визначити, скільки змін роботи в підприємстві, що розглядається, а потім визначити витрату води на виробничі потреби за формулою

$$qprt1 = qprt(j) / t_{нідр} ,$$

де $t_{нідр}$ - термін добової роботи підприємства (8, 16 чи 24 години).

Розглянутий алгоритм реалізовано в програмі **Rejsyt.for**.

Питання для самоконтролю

1. Що таке алгоритм розрахунку мережі?
2. Які методи застосовують для визначення дійсних витрат води і витрат напору у водопровідних мережах?
3. Як визначаються витрати на господарсько-питні потреби підприємства?
4. Які основні етапи розрахунку системи в режимі добового водоспоживання?

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.

1. Розрахунок об'ємів регулюючих ємностей вимагає відносно великих витрат часу (особливо при оптимізаційних розрахунках). При цьому можливі два типи задач:

- визначення регулюючої ємності баку при відомому режимі подачі насосної станції II підйому;
- визначення регулюючої ємності баку при режимові подачі, який необхідно розрахувати.

В першому випадку розрахунок зводиться до визначення залишків в баці при відомих погодинних подачах насосної станції і знаходження серед них найбільшого додатного та від'ємного, сума яких за абсолютною величиною дає величину регулюючої ємності в відсотках.

Блок-схема розв'язування другого типу задачі залежить від виду режиму подачі насосної станції. На рис. 8.1 і 8.2 приведені блок-схеми розрахунку об'ємів регулюючих ємностей і режиму подачі насосної станції II підйому при двохступеневій (рис. 8.1) і та частина при трьохступеневій подачі, яка відрізняє цю блок-схему від попередньої (рис. 8.2). Для спрощення програм схеми подач в реальному часі змінюються, як показано на рис.. 8.3 і 8.4. З цих графіків видно, що при розрахунку на ПЕОМ за вихідну годину приймається:

- при двохступеневій подачі - перша година більшого ступеню;
- при трьохступеневій подачі - перша година середнього ступеню.

Обидва алгоритми будуються за близькими схемами і відрізняються тільки блоком визначення подачі насосів на кожному ступеню.

Основою блок-схем, які розглядаються, являються два цикли, один з яких забезпечує розрахунок режиму подачі, контроль зміни регулюючої ємності при зміні режиму подачі і знаходження мінімальної регулюючої ємності, а другий - забезпечує друкування результатів розрахунку у вигляді таблиці.

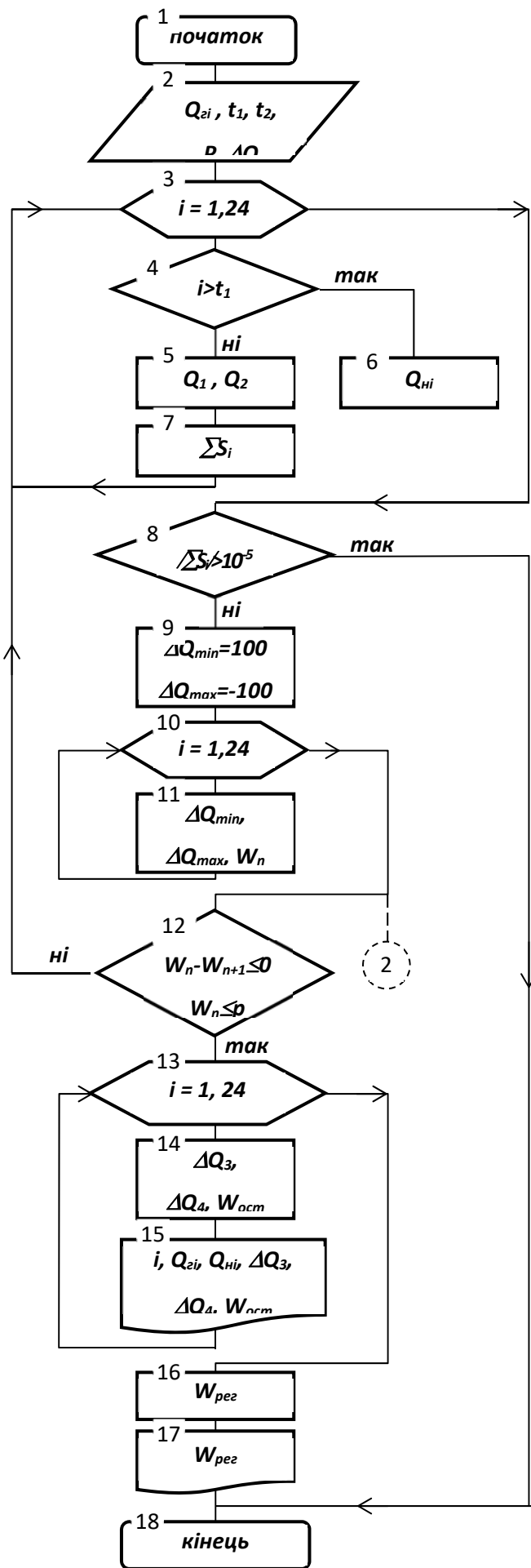


Рисунок 8.1 - Блок-схема розрахунку ємності регулюючого баку при двохступеневій подачі насосної станції

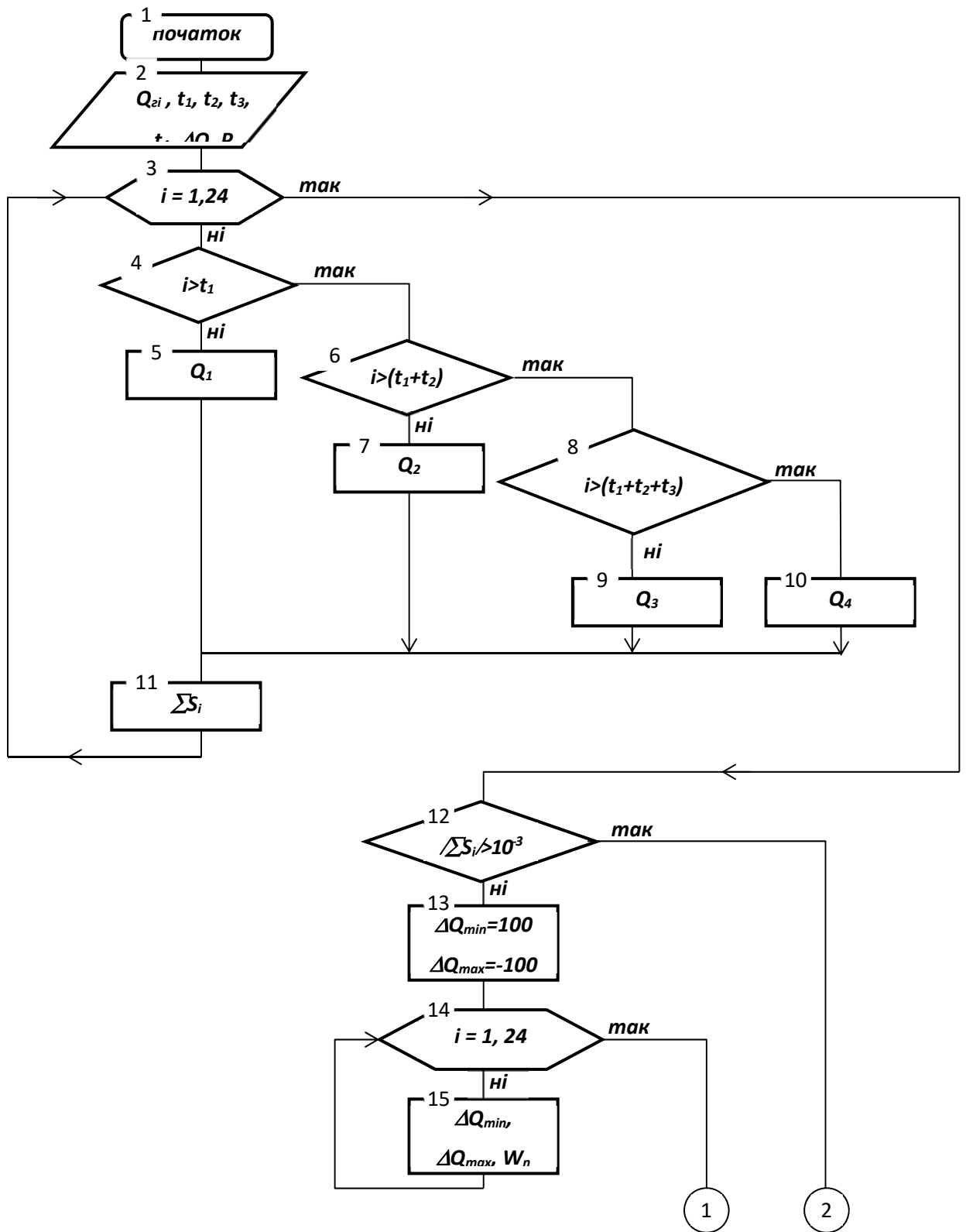
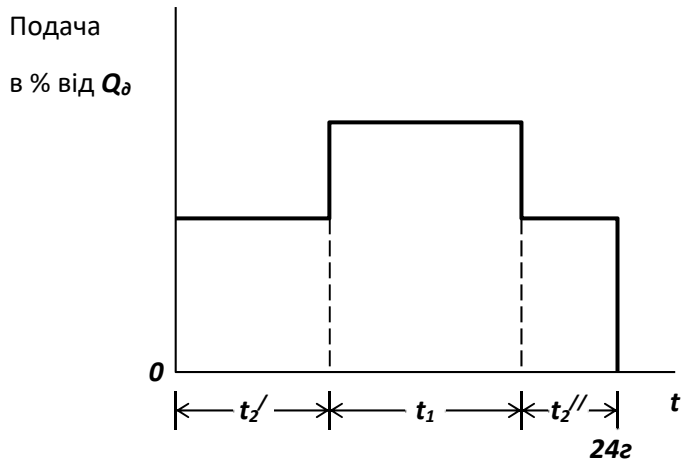
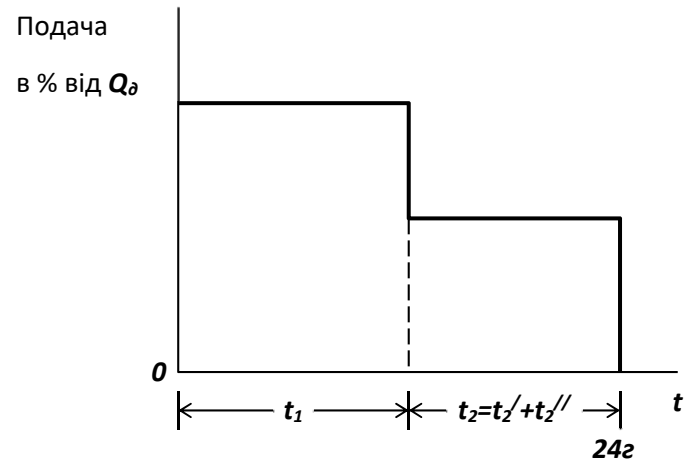


Рисунок 8.2 - Блок-схема розрахунку ємності регулюючого баку при трьохступеневій подачі (1 і 2 - вузли з'єднання з другою частиною блок-схеми на рис.8.1)

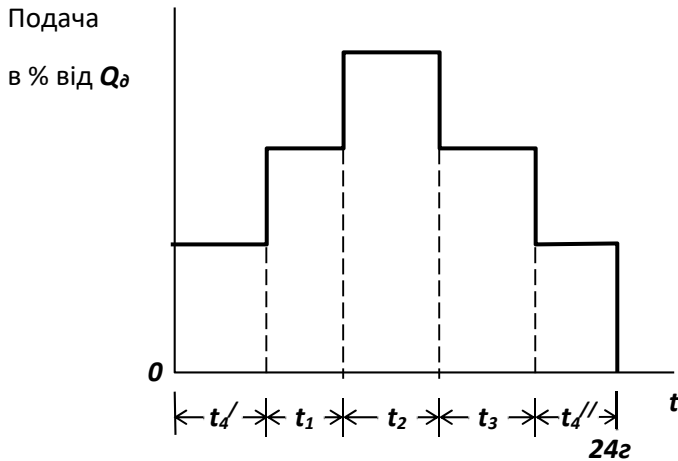


Реальна схема подачі води

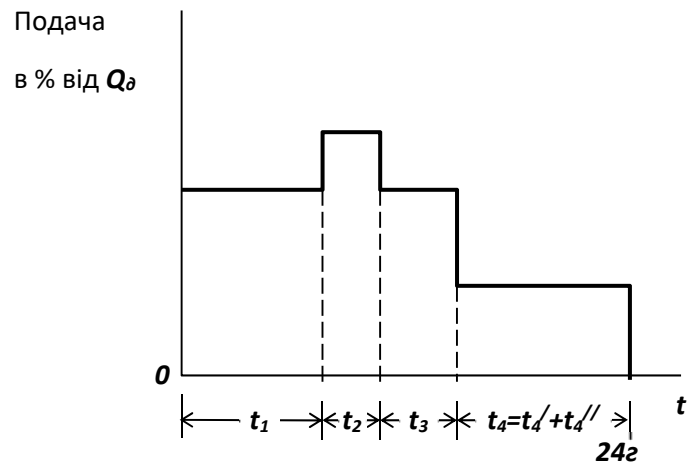


Розрахункова схема подачі при вводі в ПЕОМ

Рисунок 8.3 - Добові графіки при двоохступеневій подачі



Реальна схема подачі води



Розрахункова схема подачі при вводі в ПЕОМ

Рисунок 8.4 - Добові графіки при трьохступеневій подачі

Перший цикл в блок-схемах являє собою зовнішній цикл, який керується блоком співставлення 12 в залежності від зміни об'єму регулюючої ємності. Зовнішній цикл охоплює два внутрішніх цикли, один з яких забезпечує розрахунок режиму подачі насосу (блоки 3-7 - при двоохступеневій подачі або блоки 3-11 при трьохступеневій), а другий - розрахунок об'єму регулюючої ємності на кожному кроці ітерації (блоки 9-11 або 13-15).

Розрахунок режиму подачі насосів починається з рівномірної подачі. Після цього змінюється величина подачі на крок ітерацій ΔQ , який дається в

вихідних даних. Величина ΔQ додається до всіх ступенів подачі, які перевищують середню подачу за добу. При трьохступеневій подачі крок другого ступеню (t_1 і t_2) змінюється на кожній ітерації на величину $\Delta Q/2$. Зміна подачі кожного ступеню припиняється при досягненні об'єму регулюючої ємності P в відсотках від Q_0 , який задається в вихідних даних, або при досягненні мінімальної величини цієї ємності. Оптимізація регулюючої ємності, яка розраховується, досягається шляхом зміни тривалості подачі на кожному ступені для наближення графіку подач насосів до графіка водоспоживання.

Друкування результатів для кожної години передбачається в середині другого циклу, а загального об'єму регулюючої ємності за межами циклів.

Обчислення виконуються за наступними формулами:

- годинна подача насосної станції при двохступеневій подачі і для годин на протязі терміну t_1 ($i \leq t_1$)

$$Q_{н.г.i} = 100/24 + \Delta Q;$$

- годинна подача насосної станції при трьохступеневій подачі на протязі терміну t_1

$$Q_{н.г.i} = 100/24 + \Delta Q/2;$$

- загальна подача насосної станції за термін t_1

$$Q_1 = Q_{н.г.i} t_1;$$

- загальна подача насосної станції на другому ступені

$$Q_2 = 100 - Q_1;$$

- годинна подача насосної станції на другому ступені

$$Q_{н.г.i} = Q_2 / t_2;$$

- годинна подача насосної станції за термін t_2 при трьохступеневій подачі

$$Q_{н.г.i} = 100/24 + \Delta Q;$$

- загальна подача насосної станції за термін t_2 при трьохступеневій подачі

$$Q_2 = Q_{н.г.i} t_2;$$

- годинна подача насосної станції при трьохступеневій подачі на протязі терміну t_3

$$Q_{н.г.i} = 100/24 + \Delta Q/2 ;$$

- загальна подача насосної станції при трьохступеневій подачі на протязі терміну t_3

$$Q_3 = Q_{н.г.i} t_3 ;$$

- загальна подача останнього ступеню при трьохступеневій подачі насосної станції

$$Q_4 = 100 - Q_1 - Q_2 - Q_3 ;$$

- годинна подача насосної станції при трьохступеневій роботі

$$Q_{н.г.i} = Q_4 / t_4 ;$$

- різниця в подачі води насосами і розбором її з мережі в i -у годину

$$S_i = Q_{н.г.i} - Q_{м.г.i} ;$$

- розрахункова ємність баку на кожному кроці ітерації

$$W_1 = /\Delta Q_{\min}/ + \Delta Q_{\max} ;$$

- залишок води в баці на кінець кожного i -го часу обчислюється за формулою:

$$W_{зал\ i+1} = W_{зал\ i} + \Delta Q_{в\ бак} + \Delta Q_{з\ баку} .$$

Обидва алгоритми реалізовані в програмах **Bakrej2s.for** і **Bakrej3s.for** відповідно. Обидві програми забезпечують знаходження або мінімальних об'ємів регулюючих баків або об'ємів, які задовольняють заданому в вихідних даних допустимому відсотку від добової витрати. В першому випадку в вихідних даних заноситься $P=0$, а в другому - $P=P_{дон}$. Це досягається за рахунок того, що розрахунок починається, виходячи з найбільшого відхилення режимів водоспоживання і подачі насосами. При зближенні їх розрахункова ємність зменшується. Вона буде зменшуватись до певної межі, після переходу через яку знову стане зростати, тобто функція наближення має мінімум.

3. Гідрравлічна ув'язка мережі необхідна для визначення дійсного розподілу потоків в водопровідній мережі при вибраних діаметрах труб. Вона

може виконуватися за чотирма алгоритмами, які відрізняються способами обчислення втрат напору на ділянках, способами визначення “нев’язки”, наявністю чи відсутністю кілець зовнішньої ув’язки, невідомими, які корегуються, а також врахуванням чи ні результатів контролю тиску.

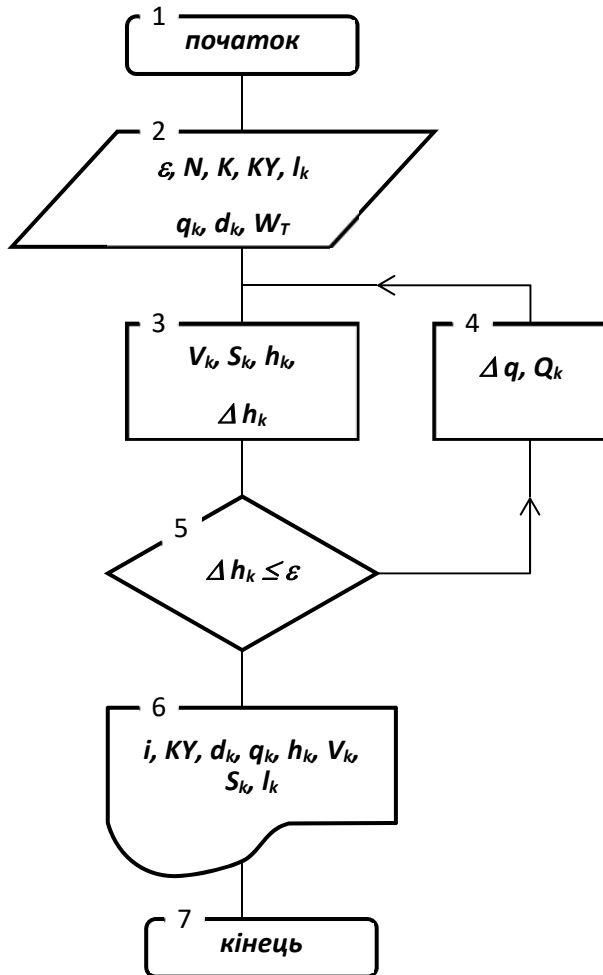


Рисунок 8.5 - Укрупнена блок-схема ув’язки кільцевої водопровідної мережі

Блок-схема, на основі якої розроблена програма “Gidrast1.for”, приведена на рис. 37. Вихідними даними для розрахунку являються діаметри ділянок d_k , їх довжина l_k , витрати на ділянках мережі q_k , які одержані після попереднього розподілу потоків, матеріал труб W , код ділянки KY , кількість кілець N , кількість ділянок K , а також точність розрахунку ε . За попередньо наміченими витратами визначаються втрати напору на ділянках h_k , а потім величини невідомих в кільцях Δh_k . Якщо $\Delta h_k > \varepsilon$ змінюються витрати на ділянках і знову повторюється розрахунок. Цикли повторюються

до виконання умови $\Delta h_k \leq \varepsilon$. В програмі “Gidrast1.for” втрати напору визначаються за формулою

$$h = S q^2,$$

де S - опір ділянки.

Питомий опір ділянки визначається за емпіричною формулою Шевелева Ф.А., з використанням емпіричних коефіцієнтів α , a і b .

Програма “**Gidrast3.for**” передбачає ув’язку не тільки в кожному кільці, але і по окремим напрямам, різниця тисків між кінцевими точками яких відома. Укрупнений принциповий алгоритм ув’язки, на основі якого вона розроблена, приведена на рис.38.

Програма “**Gidrast3.for**” дозволяє ув’язувати мережі, які дають рівняння, що погано сходяться. Вона також дає можливість визначити витрати в ділянках з невеликою помилкою, якщо при вимірюванні тисків в контрольних вузлах була допущена неточність. Цією програмою передбачено обчислення втрат напору на ділянках за формулою

$$h_i = k_i q_i^\beta / D_i^\alpha,$$

де k_i - коефіцієнт, який залежить від матеріалу труб [6];

α і β - показники ступеню, які приймаються по БНіП [6] в залежності від типу труб;

D_i - діаметр i -ої ділянки.

Величини k , α і β внесені безпосередньо в програму, і до них машина звертається самостійно при виконанні розрахунків.

Для користування цією програмою до вихідних даних, крім тих даних, що даються в попередніх програмах, необхідно додати:

- початкову нев’язку на напрямі, що контролюється, $e1$;
- кількість напрямів, що контролюються, $kolizm$;
- по кожному з напрямів вказуються:
- різниця напорів на кінцях кожного з напрямів $dhizm (k1)$;
- кількість ділянок на напрямі $kol (k1)$;
- номери ділянок, які входять в напрям, $nuch (k1, k2)$.

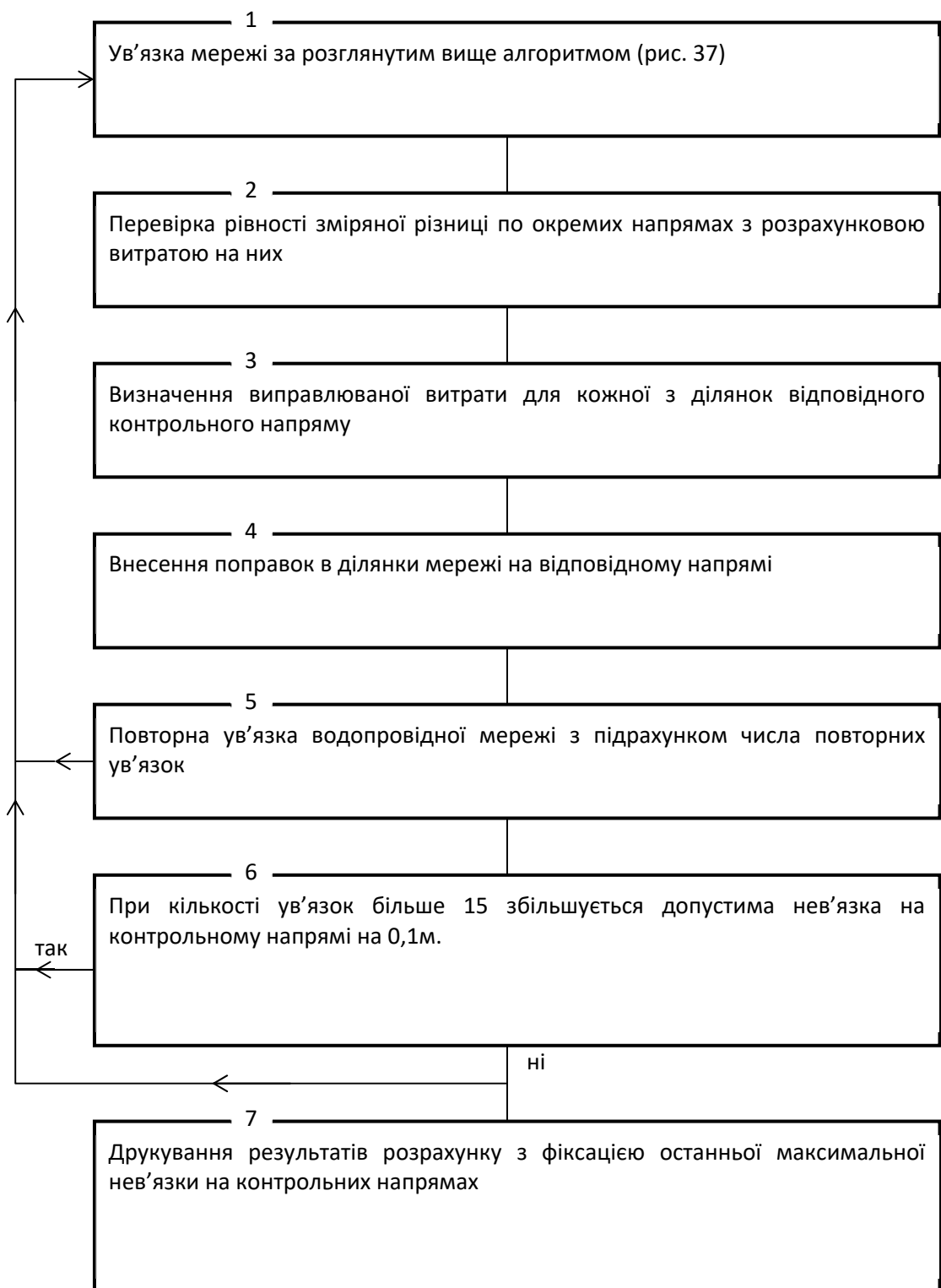


Рисунок 8.6 - Укрупнений принциповий алгоритм ув'язки водопровідної мережі з контролюванням тисків в ряді її вузлів

Програмою “**Gidrast5.for**” передбачена ув’язка водопровідних мереж з використанням фіктивних зовнішніх кілець. Вона необхідна при розрахунках кільцевих мереж, які отримують воду від кількох водоживлювачів таких, як насосні станції і напірні резервуари. Розрахунок виконується в основному так, як передбачено блок-схемою, приведеною на рис. 37, але з обчисленням втрат напору за формулою БНіП [6]. Крім того, в програмі передбачається аналіз чи являється ділянка, яка розглядається, реальною чи вона фіктивна. Це необхідно для того, щоб розрахувати втрати напору в фіктивних лініях, які визначаються за формулою

$$H = H_{\phi} - S_{\phi} Q^2 ,$$

де H_{ϕ} - напір насосу при $Q=0$;

S_{ϕ} - фіктивний опір насосу (для водопровідних башт $S_{\phi}=0$).

В вихідних даних додатково до тих, що вводяться в програмі “**Gidrast5.for**”, даються такі:

- кількість фіктивних ліній $n_{\text{фік}}$;
- напір водоживлювача H_{ϕ} або висота водонапірної башти;
- фіктивний опір водоживлювача;
- глибина води в напірному резервуарі (якщо вони є в схемі).

Результати розрахунків даються так, як і інших програмах, а для кожного з водоживлювачів в таблиці дається його розрахункова витрата.

3 Алгоритм визначення максимальної пропускної можливості ділянки водовідведення.

При реконструкції діючих мереж водовідведення приходиться оцінювати можливість пропуску окремими ділянками збільшених витрат. При цьому задача зводиться до визначення максимальної витрати трубопроводом, прокладеним з ухилом i , якщо в ньому буде максимальне наповнення, що рекомендується БНіП [7], та швидкості руху рідини в ньому. Блок-схема розрахунку приведена на рис. 8.7.

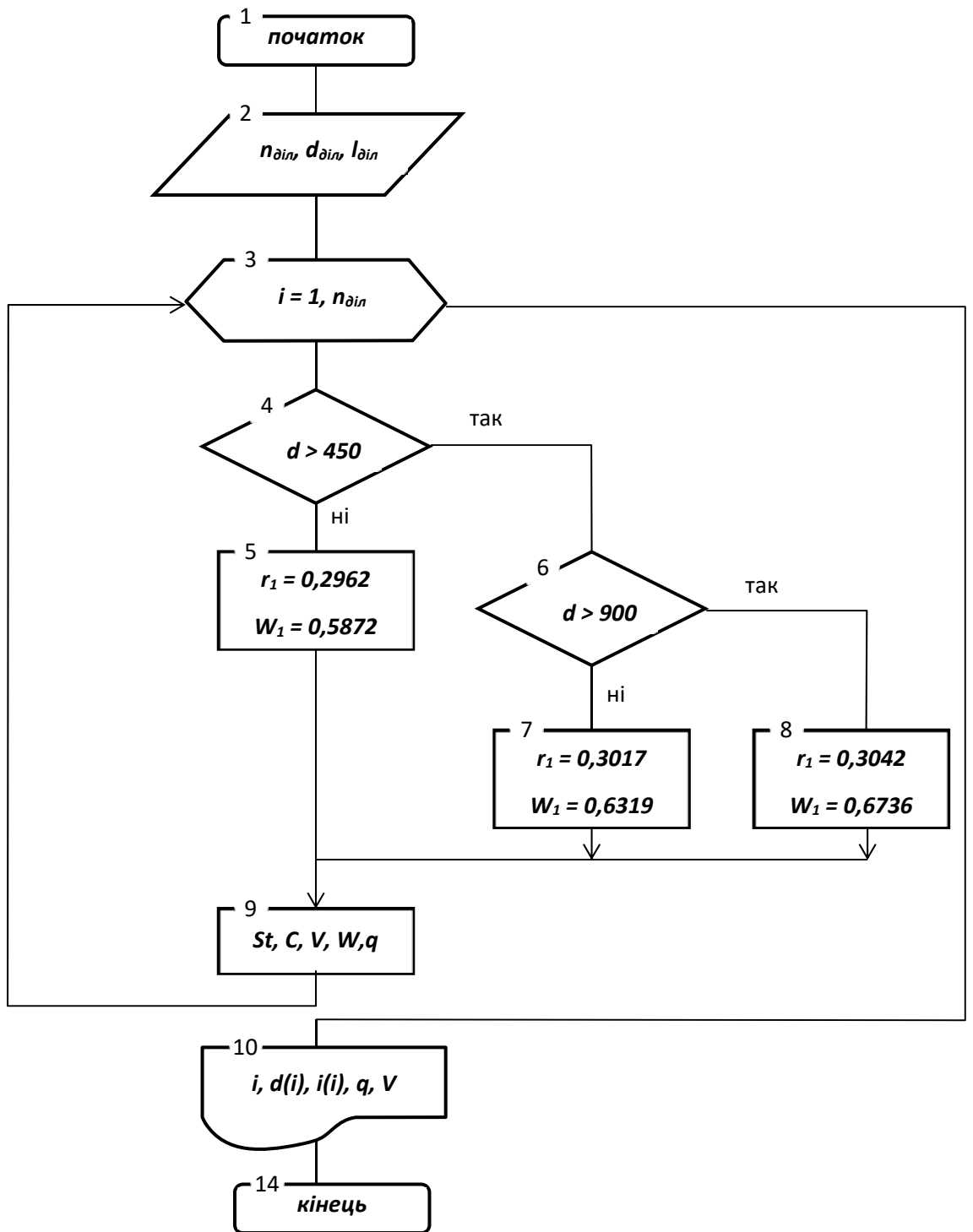


Рисунок 8.7 - Блок-схема розрахунку максимальної пропускної
можливості ділянки водовідведення

Витрати води на ділянці визначаються за формулою

$$Q = v w ,$$

де w - площа живого потоку;

v - швидкість руху стоків, яка визначається за формулою

$$v = C \sqrt{R i} ,$$

C - коефіцієнт Шезі;

R - гідравлічний радіус

$$R = \frac{w}{\chi} ,$$

χ - змочений периметр;

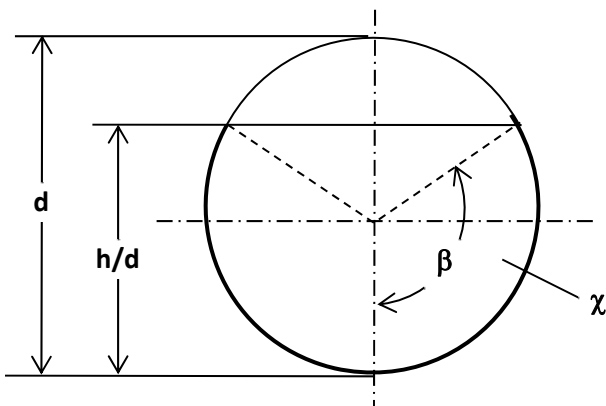
i - ухил ділянки.

Площа живого потоку визначається за формулою (при $\beta \geq 90^\circ$)

$$w = \left[\frac{\pi}{4} \left(\frac{\beta}{180^\circ} - \frac{\sin \beta \times \cos \beta}{\pi} \right) \right] \times d^2 ,$$

де β - допоміжний кут при визначенні площі живого потоку (рис. 8.8);

d - діаметр трубопроводу.



Цей алгоритм реалізовано в програмі “**Propkan.for**”. При цьому указані вище параметри обчислювались для труб з шершавістю $n=0,014$.

Рисунок 8.8 - Характеристики живого перерізу

4. Особливості блоків програм для розрахунків гідравлічних комплексів

Повний розрахунок гідравлічного комплексу виконується на основі 9 програм, які дозволяють визначити окремі його параметри:

- програма **“Rashoz.for”** для розрахунку витрат на господарсько-питні потреби міста;
- програма **“Raspoll.for”** для розрахунку витрат води на поливку вулиць і зелених насаджень в місті;
- програма **“Hozprom.for”** для розрахунку добових витрат на господарсько-питні потреби промислових підприємств;
- програма **“Rejsyt.for”** для розрахунку режиму витрачання води на потреби міста;
- програми **“Bakrej2s.for”** і **“Bakrej3s.for”** для вибору режиму насосної станції і розрахунку регулюючої ємності баку;
- програма **“Uzlgorl.for”** для розрахунку шляхових і вузлових витрат для міста в цілому;
- програма **“Diamkol.for”** для визначення розрахункових витрат і діаметрів ділянок кільцевих мереж;
- програма **“Gidrast1.for”** для ув'язки кільцевої водопровідної мережі;
- програма **“Napor.for”** для розрахунку п'єзометричних і вільних напорів в водопровідній мережі.

Крім цих програм, для забезпечення всіх розрахунків необхідно також ввести в комп'ютер файли:

- **“Typik2.dia”**, який являє собою таблицю стандартних умовних проходів труб з різних матеріалів;
- **“Rejgor2.dat”**, який являє собою таблицю розподілу витрат води за годинами доби в залежності від коефіцієнту годинної нерівномірності.

Цей блок програм дозволяє практично весь розрахунок кільцевої мережі виконати на ЕОМ. При цьому після розрахунку вихідного варіанту

гідравлічного комплексу в ЕОМ будують внесені всі його вихідні дані. Тому подальший аналіз роботи такого комплексу зведеться до внесення незначних корективів в вихідні дані, які будуть диктуватися конкретними задачами аналізу, з послідовними розрахунками для одержання відповіді на ті питання, які ставить перед собою дослідник.

Методика користування цим блоком програм приведена в методичних вказівках [8].

Питання для самоконтролю

1. Чим відрізняється розрахунок мереж при двоступеневій та тріступеневій подачі?
2. Які особливості складання алгоритму ув'язки водопровідної мережі з контролюванням тисків в ряді її вузлів
3. Які особливості мають гідравлічні розрахунки при реконструкції діючих мереж водовідведення?
4. На основі яких програм виконується повний розрахунок гідравлічного комплексу?