

Тема 2. Аналіз роботи систем подачі та розподілу води як об'єкта регулювання

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.

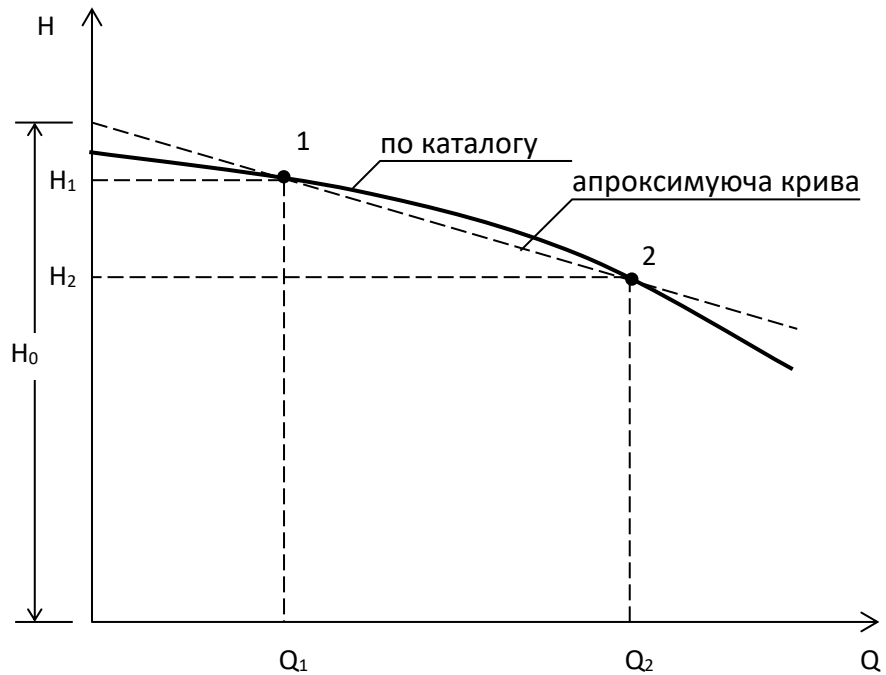


Рисунок 1 - Співставлення напірно-витратних характеристик

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 насоса. При цьому характеристика такого насоса 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.

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.).

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.

