

РОБОТА НАСОСІВ ТА ПОВІТРОДУВНИХ МАШИН

Лекція 11 Паралельна та послідовна робота насосів та повітродувних машин

3.1.1 Паралельна робота насосів

Паралельною роботою насосів називається одночасна подача рідини кількома насосами в один напірний трубопровід. Паралельну роботу насосів використовують у тих випадках, коли неможливо забезпечити потрібну витрату рідини подачею одного насоса. Окрім того, якщо подача насосної станції повинна змінюватися протягом доби або сезонів (як, наприклад, у насосних станцій другого підйому), то можна регулювати подачу води такою станцією, змінюючи кількість одночасно працюючих насосів.

Під час застосування паралельної роботи відцентрових насосів їх слід підбирати з урахуванням характеристик трубопроводів і самих насосів.

Відцентрові насоси можуть працювати паралельно тільки за умови, що їхні напори будуть однаковими. Якщо напір одного із насосів буде більшим, ніж у інших, то цей насос буде притискати зворотні клапани інших насосів, і вони будуть працювати ніби із закритою засувкою (якщо кожен із насосів обладнано зворотнім клапаном). Якщо ж зворотніх клапанів на кожному насосі немає, то рідина від високонапірного насоса буде частково перетікати у зворотному напрямку через низьконапірні насоси. Тому для паралельної роботи намагаються обирати однотипні насоси, або, у крайньому випадку, насоси, напори яких не дуже відрізняються один від одного. Окрім того, для паралельної роботи краще обирати насоси із стабільними (без проміжних максимумів) характеристиками.

Найчастіше під час проектування зустрічаються такі варіанти паралельної роботи насосів:

- в системі працює кілька насосів з однаковими характеристиками;
- в системі працює кілька насосів з різними характеристиками;
- паралельно працюють насоси з лабільними характеристиками;
- в усіх попередніх випадках насоси можуть бути підключені до спільного напірного трубопроводу на невеликій відстані один від одного (наприклад, в одній насосній станції). До того ж втрати напору від кожного насоса до спільного трубопроводу можна вважати однаковими для всіх насосів;
- насоси можуть також знаходитися на значній відстані один від одного. Одночасно необхідно враховувати різні втрати напору від кожного із насосів до точки підключення у спільний напірний трубопровід. Така схема часто зустрічається під час паралельної роботи кількох насосних станцій.

Розрахунки режимів роботи насосів за усіма цими схемами можна робити аналітично або графічно. При аналітичному методі усі характеристики насосів

і трубопроводів записуються у вигляді рівнянь. Потім системи цих рівнянь розв'язують. Найчастіше це роблять за допомогою комп'ютерних програм, які спеціально для цього розробляють.

У практиці проектування насосних станцій більше поширений графічний метод розрахунку.

Паралельна робота різнотипних насосів. Робота насосів з різними характеристиками є більш загальним випадком у порівнянні із роботою однотипних насосів. Тому розглянемо його більш детально.

Припустимо, що нам необхідно розрахувати режим паралельної роботи двох різних насосів на один водовод.

Як вихідні дані маємо характеристики кожного із насосів $(Q - H)_1, (Q - H)_2$ та $(Q - \eta)_1, (Q - \eta)_2, (Q - N)_1, (Q - N)_2$ і характеристику трубопроводу sQ^2 .

Необхідно визначити, яку подачу і напір будуть створювати два цих насоси, працюючи паралельно на цей трубопровід. Крім того, слід визначити, в якому режимі буде працювати кожен із насосів, тобто визначити Q, H, η, N кожного із насосів при паралельній роботі.

Для розв'язання задачі в першу чергу потрібно побудувати сумарну характеристику $(Q - H)_{1+2}$ двох насосів, які працюють паралельно. Як уже зазначалося, паралельна робота двох насосів можлива тільки в тому випадку, коли вони створюють однакові напори. Тому насос № 2 зможе подавати воду у спільний напірний трубопровід тільки після того, як напір насоса № 1 знизиться до величини $(H_2)_0$.

Із рис. 3.13, напір, що створює насос № 1, зменшується із збільшенням подачі. Випадку, коли напір насоса № 1 дорівнює величині $(H_2)_0$ (напору, який створює насос № 2 на закриту засувку), відповідає точка Б на характеристиці $(Q - H)_1$. Саме з цієї точки і необхідно починати побудову сумарної характеристики.

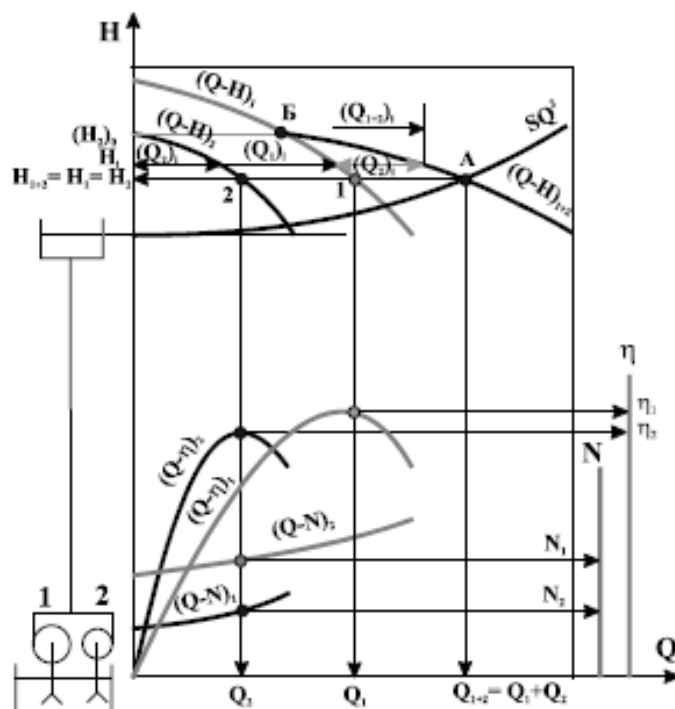


Рисунок 3.13 - Схема паралельної роботи двох різнотипних насосів

Сумарна характеристика будується шляхом додавання значень подач, які створюються кожним із насосів за однакових напорів.

Графічно це зображується так. При напорі H_i проводиться пряма, паралельна осі абсцис (лінія рівних напорів). Визначається, яку подачу розвиває кожен із насосів при цьому напорі (точки перехрещення проведеної прямої з характеристиками $(Q - H)_i$ насосів). Ці дві подачі $(Q_1)_i$ і $(Q_2)_i$ додаються, отримана сума означає величину спільної подачі двох насосів при цьому напорі $(Q_{1+2})_i$. Отриману точку з координатами наносять на графік. Таким чином отримують ряд точок при різних значеннях напору H_i . Через ці точки проводять плавну криву $(Q - H)_{1+2}$ яка і буде сумарною характеристикою двох насосів під час паралельної роботи. Перехрещення цієї кривої з характеристикою трубопроводу дає робочу точку системи (точка А). Опускаючи із точки А перпендикуляри на осі координат, визначаємо сумарну подачу Q_{1+2} і напір H_{1+2} двох насосів, які працюють паралельно на один трубопровід.

Для визначення режиму роботи кожного із насосів із точки А проводять лінію рівних напорів (пряму, яка паралельна осі абсцис). Перехрещення цієї лінії з характеристиками $(Q - H)_i$ насосів дає робочі точки кожного із насосів (точки 1 і 2), а ці точки, в свою чергу, визначають усі параметри роботи насосів. Опускаючи із точки 1 перпендикуляр на вісь абсцис, отримуємо подачу насоса № 1 Q_1 . Перехрещення цього перпендикуляра з кривими $(Q - \eta)_1$ і $(Q - N)_1$ дає значення коефіцієнта корисної дії η_1 і потужності N насоса №1. Опустивши такий же перпендикуляр із точки 2, отримуємо величини Q_2, η і N_2 .

За рис.2.13, напори обох насосів однакові:

$$H_1 = H_2 = H_{1+2}, \quad (3.1)$$

Крім того

$$Q_{1+2} = Q_1 + Q_2. \quad (3.2)$$

Паралельна робота кількох однотипних насосів на два водоводи
Необхідно визначити режим роботи системи, яка складається із трьох однотипних насосів, що працюють на два паралельні водоводи. Відомо характеристики насосів. Якщо насоси однотипні, то характеристики усіх трьох насосів співпадають. Відомо характеристики кожного із водоводів $S_a Q^2$ і $S_b Q^2$. На рис. 2.14 зображено характеристики двох водоводів, які подають воду від насосної станції в спільний резервуар і мають різні коефіцієнти опору

(наприклад, різні діаметри). Необхідно визначити режим роботи усієї системи в цілому, а також кожного із насосів і водоводів окремо. Крім того, потрібно проаналізувати різні варіанти роботи цієї системи (роботу одного, двох і трьох насосів на один і два водоводи).

Для аналізу різних варіантів роботи системи слід побудувати сумарні характеристики паралельної роботи двох і трьох насосів, а також, сумарну характеристику паралельної роботи двох водоводів.

Сумарні характеристики паралельної роботи 2-ох $(Q - H)_{1+2}$ і 3-ох $(Q - H)_{1+2+3}$ насосів будують так, як і в попередньому випадку. Подвоюючи та потроюючи абсиси характеристики $(Q - H)_{1,2,3}$ за рівних напорів отримуємо дві сумарні характеристики насосів.

Принцип побудови сумарної характеристики паралельної роботи двох водоводів той же, що і при побудові сумарної характеристики насосів. За рівних напорів сумуються витрати з кожного із водоводів. Фізична сутність цієї побудови така. Характеристика трубопровода показує, який напір потрібно створити на початку трубопровода, щоб у ньому підтримувалася необхідна витрата. За допомогою характеристики трубопровода можна розв'язати і зворотну задачу. Якщо відомо напір на початку трубопровода, то за характеристикою цього трубопровода можна визначити, яка витрата буде в трубопроводі при цьому напорі.

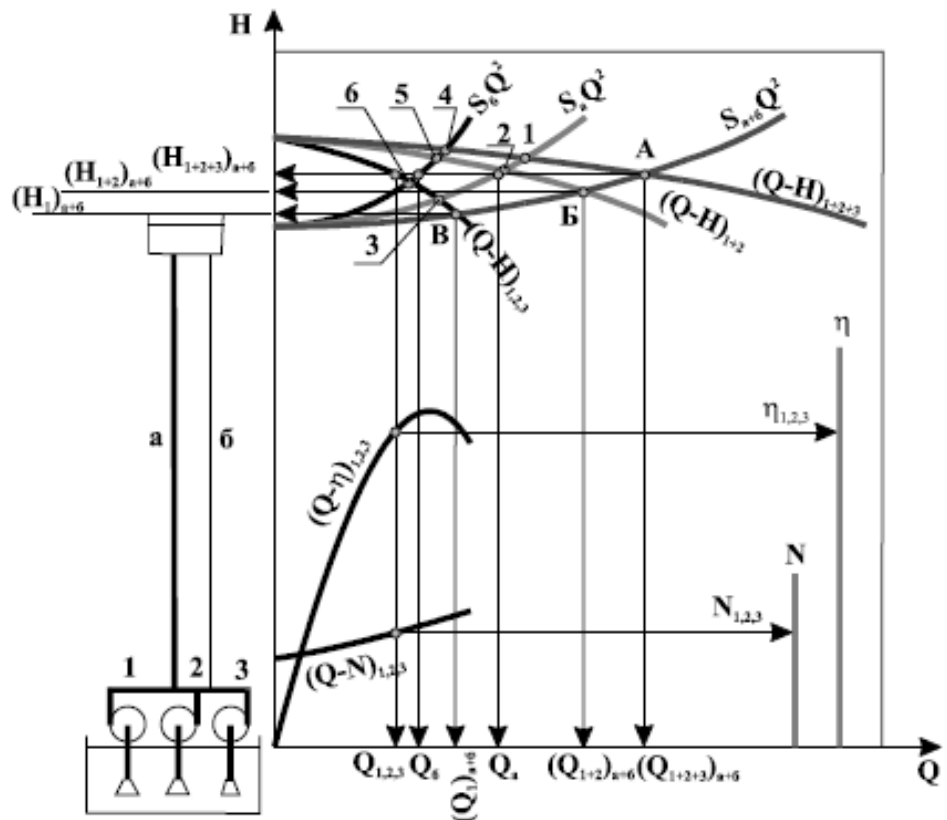


Рисунок 3.14 – схеми роботи трьох однотипних насосів на два різні водоводи

Під час побудови сумарної характеристики використовується ця зворотна задача. Ми задаємося довільними значеннями напору на початку трубопроводів і визначаємо, яка витрата за цього напору буде на кожному із водоводів. За одночасної паралельної роботи водоводів сумарна витрата на двох водоводах за цього напору буде дорівнювати сумі витрат на кожному із водоводів. Задаючися різними величинами напорів, отримуємо ряд точок сумарної характеристики водоводів. Проводячи через ці точки плавну криву, отримуємо сумарну характеристику $S_{a+b}Q^2$ двох водоводів, які працюють паралельно.

Точка перехрещення сумарної характеристики водоводів і сумарної характеристики трьох насосів (точка А) є робочою точкою системи, вона визначає усі параметри роботи системи:

- $(Q_{1+2+3})_{a+b}$ – подача трьох насосів при роботі на два водоводи;
- $(H_{1+2+3})_{a+b}$ – створюваний при цьому напір;
- Q_a і Q_b - витрати відповідно на водоводі a і на водоводі b , $Q_a + Q_b = (Q_{1+2+3})_{a+b}$;
- $Q_{1,2,3}$ - подача кожного із насосів за їхньої паралельної роботи на два водоводи $Q_1 + Q_2 + Q_3 = (Q_{1+2+3})_{a+b}$;
- $N_{1,2,3}$ - потужність кожного із насосів;
- $\eta_{1,2,3}$ - коефіцієнт корисної дії кожного із насосів.

У випадку роботи двох насосів на два водоводи робочою точкою буде точка Б. Одночасно витрата в системі буде $(Q_{1+2})_{a+b}$, а напір - $(H_{1+2})_{a+b}$.

Під час роботи одного насоса на два водоводи робочою точкою буде точка В, а витрата і напір, відповідно $(Q_1)_{a+b}$ і $(H_1)_{a+b}$.

Якщо відключити водовод b і працювати трьома насосами тільки на водовод a , то робочою точкою буде точка 1. Під час роботи двох і одного насоса на водовод a робочими точками будуть, відповідно, точки 2 і 3.

Якщо відключити водовод a і працювати тільки на водовод b , то під час роботи трьох, двох і одного насоса робочими точками будуть, відповідно, точки 4, 5 і 6. Усі параметри роботи системи в цих випадках визначаються робочими точками і на рисунку не вказані, щоб не захащувати креслення.

Якщо із роботи будуть виключатися тільки окремі ділянки водоводів, а не водоводи повністю (наприклад при наявності перемичок між водоводами), то сумарна характеристика водоводів у цих випадках буде займати проміжне положення між лініями $S_{a+b}Q^2$ і S_bQ^2 .

3.1.2 Послідовна робота насосів

Послідовною називають таку роботу насосів, коли один із них бере воду із резервуара і подає її в усмоктувальний патрубок другого, а останній подає воду в напірний трубопровід.

Під час проектування послідовної роботи насосів необхідно перевірити і узгодити із заводом - виробником, який тиск може витримувати другий (за

рухом рідини) насос. Якщо сумарний тиск, який створюють два насоси, більший за дозволenu величину, то цей насос використовувати в такій системі не можна.

Для побудови сумарної характеристики насосів, які працюють послідовно, необхідно додати ординати характеристик $Q - H$ цих насосів при однакових подачах. Тобто спільний напір, який створюють насоси під час послідовної роботи, дорівнює сумі напорів, які створюють окремі насоси. У випадку послідовної роботи двох однакових насосів ординати характеристики $Q - H$ подвоюються.

На рис. 3.15, а зображена сумарна характеристика послідовної роботи двох однакових насосів для випадку, коли кожен із них окремо не може підняти воду на потрібну висоту ($H_{\text{геом}} > H_0$).

Характеристику сумісної роботи двох насосів $(Q - H)_{I,II}$ отримано подвоєнням ординат характеристики кожного із насосів (крива $(Q - H)_{I,II}$), наприклад, ординати H_6 в точці $б$ при подачі Q_6 . Робоча точка системи (точка A) лежить на перехрещенні сумарної характеристики двох насосів з характеристикою трубопроводу.

Насоси вмикають послідовно і в тих випадках, коли один насос може подати воду в систему ($H_{\text{геом}} < H_0$), але не може забезпечити необхідну подачу. Побудова сумарної характеристики двох однакових насосів для такого випадку зображена на рис. 3.15, б. За цим рисунком, послідовне включення насосів дозволяє збільшити не тільки напір, але і подачу води.

У випадку послідовної роботи двох різнотипних насосів (насосів з неоднаковими характеристиками) сумарна крива їх спільної роботи будується шляхом складання ординат характеристик кожного із насосів за однакових подач.

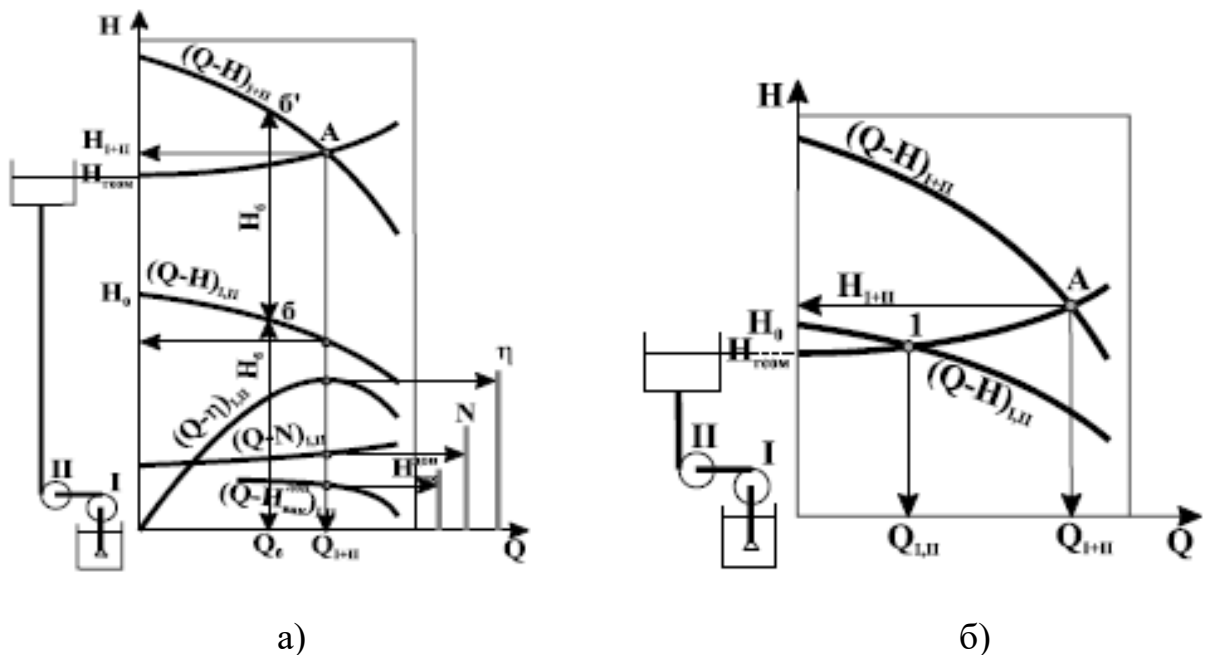


Рисунок 3.15 – Послідовна робота насосів: а) при $H_{\text{геом}} > H_0$; б) при $H_{\text{геом}} < H_0$

У практиці транспортування рідини на великі відстані при значних геометричних висотах підйому буває необхідно розміщувати насоси, які працюють послідовно, на значних відстанях один від одного (тобто влаштовувати станції підкачки).

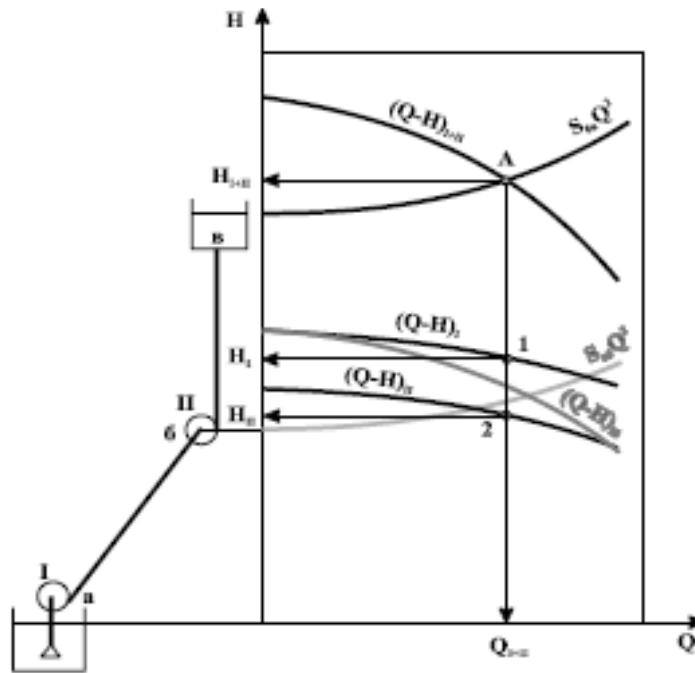


Рисунок 3.16 – послідовна робота двох насосних станцій

Характеристику сумісної роботи у цьому випадку будують так, як зображено на рис. 3.16. За заданих характеристик насосів $(Q-H)_I$ та $(Q-H)_{II}$ спочатку будують характеристику насоса I, приведену до точки b (точки, де трубопровід від насоса I підключений до насоса II). Для цього від ординат кривої $(Q-H)_I$ віднімають втрати напору в трубопроводі на ділянці ab , користуючись характеристикою цього трубопроводу (крива $S_{a,b}Q^2$).

Таким чином, отримують характеристику насоса I, приведену до точки b $(Q-H)_{Ib}$. Потім ординати цієї кривої додають до ординат характеристики насоса II і отримують сумарну характеристику сумісної роботи насосів I і II (крива $(Q-H)_{I+II}$).

Побудувавши характеристику напірного трубопроводу від насоса II до резервуара (крива $S_{b,v}Q^2$), знаходять робочу точку системи (точка A), яка визначить усі параметри роботи системи і окремих її елементів.