

## Тема 1.4 Застосування енергоощадних заходів при удосконаленні функціонування будівельних об'єктів в системах подачі та розподілу води

**Мета вивчення теми:** домогтися обізнаності здобувачів вищої освіти щодо питань моніторингу та аналізу роботи насосних станцій як одного з елементів системи водопостачання; задач удосконалення та особливостей оптимізації їх роботи.

### План

1. Задачі удосконалення насосних станцій.
2. Особливості оптимізації роботи водопровідних насосних станцій.
3. Аналіз роботи насосних станцій як елемента системи водопостачання.

**Ключові терміни:** насоси, потужність, дроселювання, діаметр.

Насосні станції (НС) систем водопостачання та водовідведення являють собою комплекс споруд і встаткування, що забезпечують перекачування води. По своєму призначенню в загальній схемі водопостачання НС поділяються на:

- Насосні станції I підйому;
- Насосні станції II підйому;
- Насосні станції підвищувальні;
- Насосні станції циркуляційні (входять до схем зворотного технічного водопостачання промислових підприємств).

До складу НС входить обладнання, що поділяється на групи:

1. Основне енергетичне обладнання. Включає насоси та приводні двигуни. Комплекс, що складається з насоса та приводного двигуна, називається гідроагрегатом, або агрегатом насосної станції.

2. Трубопровідне обладнання. Вмикає трубопровідну арматуру - затвори, засувки, клапани, спеціальні фасонні частини, шандори водоприймальних вузлів, тощо.

3. Механічне обладнання. Вмикає підйомно-транспортні механізми, механізми для затримання сміття.

4. Допоміжне обладнання. Відносять систему технічного водопостачання, дренажні системи, вакуумні системи, обладнання для змащування.

5. Контрольно - вимірювальні прилади, системи автоматизації й управління: шафи, пульти управління, реле, контролери, прилади для вимірювання тиску, витрат, температури, потужності, сили струму тощо.

6. Електротехнічні пристрої. Включають силові трансформатори, розподільчі пристрої, виводи високої та низької напруги, струмопроводи, заземлюючі контури, електропривідну арматуру.

7. Протипожежні та санітарно - технічні пристрої: системи пожежогасіння, опалення, вентиляції, гарячого водопостачання, питного водопостачання та ін.

Необхідність удосконалення насосних станцій виникає при:

- механічному і моральному спрацюванні обладнання насосних станцій,
- зниженні подачі насосної станції,

- необхідності збільшення подачі насосної станції.

По мірі спрацювання обладнання воно замінюється на таке ж, однотипне або на подібне. При цьому може виникати необхідність в заміні обладнання, яке забезпечує роботу основних агрегатів (наприклад, електрообладнання, вимірювальне обладнання і т.д.). Така заміна може вимагати деяких будівельних, а інколи і технологічних змін в насосній станції.

Другою задачею являється встановлення причин зниження подачі води в мережу і вибір шляхів їх ліквідації. Як показує досвід натурних досліджень міських водопроводів, головними причинами зниження подачі води в мережу являються:

- штучне зменшення подачі насосів для виключення перегріву електродвигунів внаслідок зміни енергетичних характеристик насосів в бік збільшення необхідної для роботи потужності і наявності у електродвигунів обмеженої потужності;
- збільшення гідравлічного опору водопровідної системи в результаті утворення на трубах корозійних відкладень;
- зміна напірної характеристики насосів за рахунок спрацювання робочого колеса насосу;
- зниження напору за рахунок прикриття засувки на напірному трубопроводі.

Перша причина усувається заміною електродвигуна на більш потужний.

Усунення другої причини зниження подачі пов'язано з удосконаленням роботи не насосної станції, а водопровідної мережі.

Третя причина усувається заміною робочого колеса або насоса в цілому.

Основним етапом обстеження насосних станцій є паспортизація насосів, при якій установлюють:

- а) марки насосів;
- б) діаметр коліс;
- в) число обертів;
- г) марки електродвигунів і їх параметри;
- д) фактичні характеристики насосів:
  - подача - напір -  $H(q)$ ;
  - подача - потужність -  $N(q)$ ;
  - подача – припустимий вакуум –  $H_{\text{вак}}(q)$ ;
  - подача - ККД -  $\eta(q)$  (розраховується).

Подача насоса  $Q$ , м<sup>3</sup>/год. або л/с, виражається відношенням об'єму рідини, що подається, до часу роботи (кількість рідини, яку здатний перекачати насос в одиницю часу).

Тиск насоса  $H$ , вимірюваний у метрах стовпця перекачуваної рідини, визначається залежністю:

$$H = \frac{p}{\rho \cdot g}, \quad (1.22)$$

де  $p$  - тиск насоса, кгс/см<sup>2</sup>;  
 $\rho$  - щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Тиск насоса прямо пропорційний тиску, що розвивається ним, і обернено пропорційний щільності рідини. Звідси витікає, що один і той ж насос розвиває різний натиск при перекачуванні різних рідин.

*Потужність насоса*  $N$ , кВт.

*Коефіцієнт корисної дії (ККД)*,  $\eta$  – це відношенням корисної потужності до потужності насоса й виражається в частках одиниці.

*Швидкохідність насоса* . Виражається числом обертів валу за хвилину.

Фактична характеристика насосів може помітно відрізнятися від заводської. Тому відповідно до Правил технічної експлуатації фактичні характеристики насосів повинні визначатися не рідше 1 рази в 2 роки. Перед зняттям характеристик вимірюють діаметри трубопроводів, перевіряють вертикальність положення приладів для виміру тиску. Всі прилади повинні бути попередньо повірені.

Перелік необхідних приладів:

1. Вакуумметри.
2. Манометри.
3. Витратоміри (бажано на кожному насосі).
4. Ватметри або амперметри й вольтметри.

При вимірах варто застосовувати прилади тиску із класом точності не більше 2,5. В процесі випробування шкала приладу повинна використовуватися не менш чим на 2/3. При випробуваннях подачу насосів (відцентрових) змінюють від 0 до  $Q_{\text{макс}}$  з інтервалом не більше 12% номінальної подачі за допомогою засувки на напірному трубопроводі й записують відповідні напори й потужності. Робочих точок повинно бути не менше 10. Показання приладів записують тільки при сталому режимі. Тривалість виміру - не більше 15 с, послідовність при всіх режимах роботи - та сама.

*Налагодити роботу НА із заданою подачею можна зміною діаметру трубопроводу, рециркуляцією рідини, дроселюванням, зменшенням діаметру робочого колеса або зміною числа обертів робочого колеса. У кожному конкретному випадку можливо застосування одного з перерахованих способів або їхньої комбінації.*

Зміна діаметру трубопроводу. При проектуванні насосних установок шляхом розрахунку декількох варіантів підбирають такі діаметри трубопроводів, при яких за рахунок зміни опору мережі досягається необхідна подача насоса, тобто змінюють положення робочої точки насоса по кривій характеристики в потрібному напрямі. При цьому користуються правилом, що в розрахунковому режимі ККД насоса складатиме не менше 0,9 його максимального значення для вибраного насоса.

Цей спосіб можна застосувати також у процесі експлуатації насоса при необхідності зміни його параметрів. Так, для збільшення подачі насоса в окремих випадках буває досить збільшити діаметр трубопроводу на магістральній ділянці, де швидкість рідини, а отже, втрати натиску, максимальні. Рішення про це слід приймати на підставі розрахунку. При

гідрравлічному розрахунку системи трубопроводів слід мати на увазі, що витрата електроенергії на перекачування рідини, а отже, і вартість перекачування, зростатимуть зі збільшенням швидкості її транспортування, тобто зі зменшенням діаметру.

У той же час для зменшення швидкості руху рідини необхідно збільшити діаметр трубопроводу, що веде до збільшення капітальних витрат на будівництво, хоч і знижує експлуатаційні витрати. Таким чином, доводиться вибирати оптимальний варіант, при якому капітальні і експлуатаційні витрати відповідали б прийнятим нормам. Для цього проводиться техніко-економічний аналіз варіантів насосних установок.

Рециркуляція. Рециркуляцією зменшують подачу насоса за рахунок повернення частини перекачуваної рідини з напірного трубопроводу у всмоктувальний. Для цієї мети в насосній установці передбачають рециркуляційний трубопровід із регулюючим органом. Рециркуляція зменшує ККД насосної установки, що приводить до додаткового використання електроенергії в процесі подальшої експлуатації.

Дроселювання. Представляє собою гасіння тиску за рахунок проходження рідини (газу) через зменшений перетин. Зміна характеристики мережі при дроселюванні відображено на рисунку. Дроселюючим пристроєм може служити засувка (кран, вентиль). Для дроселювання використовують засувку тільки на напірному трубопроводі насоса, але не на всмоктувальному. Дроселювання всмоктувальною засувкою збільшить опір лінії всмоктування і може вивести насос на режим кавітації.

Регулювання подачі засувкою зручно тим, що з її допомогою можна швидко змінити режим роботи насоса залежно від обставин, тобто якщо насос працює в змінному режимі. У той же час, якщо потрібна якась певна подача, то після зупинки насос необхідно знову відрегулювати, виводячи його на заданий режим роботи. У цьому випадку слід застосовувати дросельну шайбу, яка забезпечить постійний перепад тиску (при постійній витраті).

При дроселюванні перекачуваної рідини знижується ККД насоса, бо частина потужності двигуна витрачається марно. Потужність, витрачена на дроселювання, тим більша, чим більше різниця тиску до й після пристрою, що дроселює.

Втрати електроенергії при дроселюванні складають від 5 до 13%.

Зниження напору за рахунок прикриття засувок на напірному трубопроводі усувається обточкою робочого колеса або зменшенням частоти обертання робочого колеса за рахунок заміни електродвигуна на електродвигун з меншим числом обертів або використання привода з частотою обертів, яку можна регулювати.

Величина обточки визначається за формулами

$$D_0 = D \sqrt{\frac{Q_0}{Q}} \quad \text{і} \quad D_0 = D \sqrt{\frac{H_0}{H}} \quad (1.23)$$

де  $D_0$  і  $D$  – діаметр колеса, яке обточене, і ні відповідно;  
 $H$  і  $H_0$  – напори відповідно до і після обточки;

$Q$  і  $Q_0$  – подача до і після обточки відповідно.  
 Якщо коефіцієнт швидкохідності  $n_s < 150$ , тоді

$$D_0 = D \sqrt{\frac{H_0}{H}} \quad \text{і} \quad D_0 = D \frac{Q_0}{Q}$$

(1.24)

З двох  $D_0$  обирається більший діаметр. При цьому перевіряється відсоток обточки колеса, який в залежності від коефіцієнта швидкохідності повинен бути в межах:

- $60 < n_s < 120$                                         - 15 - 20 % ,
- $120 < n_s < 200$                                       - 11 - 15 % ,
- $200 < n_s < 300$                                       - 7 - 11 % .

Якщо напір регулюється зміною числа обертів робочого колеса, необхідне число обертів визначається за формулою:

$$n_1 = n \sqrt{\frac{H}{H_1}} \quad \text{і} \quad n_1 = n \frac{Q_1}{Q} , \quad (1.25)$$

де  $n$  і  $n_1$  – число обертів колеса в вихідному і необхідному стані відповідно,

$H$  і  $H_1$  – напір насоса при числі обертів  $n$  і  $n_1$  і відповідно,

$Q$  і  $Q_1$  – подача насоса при числі обертів  $n$  і  $n_1$  відповідно.

З двох визначених чисел обертів приймається більше.

Оптимізація роботи насосних станції зводиться до відновлення оптимальних умов насосів та електрообладнання, які змінюються в процесі експлуатації. Ця робота для насосних станцій I підйому пов'язана з своєчасною заміною окремих частин насосних агрегатів.

Складніше розв'язуються питання для насосних станцій II і наступних підйомів. Режим роботи таких насосних станцій тісно пов'язується з режимом роботи водопровідних мереж. Звичайно на стадії проектування розрахунок ведеться на прогнозний режим водоспоживання, який потім повинен корегуватися. Тому в процесі експлуатації може виникнути необхідність установки додаткових насосів меншої продуктивності, які працюють в нічний час або в години різкого зниження водорозбору. Ступеневе регулювання подачі води знижує непродуктивні витрати електроенергії, але все ж вони можуть залишатися достатньо великими з огляду на значні коливання на протязі доби втрат напору в мережах і коливань рівнів води в резервуарах. Більш ефективним являється використання регулювання частоти обертання колеса.

Особливістю насосного агрегату як елемента системи водопостачання являється те, що його технологічні параметри  $Q$  і  $H$  автоматично встановлюються поточними параметрами водопровідної мережі. Тому гідравлічні і техніко-економічні розрахунки насосних станцій необхідно виконувати з врахуванням сумісної роботи всього гідравлічного комплексу.

Розглянемо характеристику сумісної роботи насосної станції і мережі (рис. 1.7)

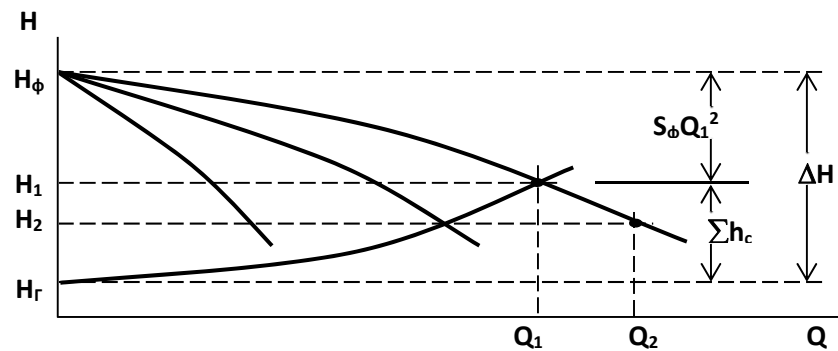


Рисунок 1.7 – Сумісна робота насосної станції і мережі

Напір в робочій точці визначається двома залежностями

$$H_1 = H_\phi - S_\phi Q_1^2,$$

$$H_1 = H_\Gamma + \sum h_c = H_\Gamma + \sum S_i$$

Збільшити подачу насосної станції можна або за рахунок збільшення пропускної можливості мережі, або за рахунок збільшення напору і подачі насосів, або за рахунок комбінації цих способів.

Максимальні межі зміни напору насосної станції дорівнюють

$$\Delta H = H_\phi - H_\Gamma.$$

Для встановлених насосів ці зміни залишаються постійними, тобто,  $\Delta H = const.$  До модернізації залежність  $\Delta H$  можна представити у вигляді

$$\Delta H = S_\phi Q_1^2 + \sum S_i Q_1^2, \quad (1.26)$$

де  $S_\phi Q_1^2$  – спад напору насосів при витраті  $Q_1$ ,

$\sum S_i Q_1^2$  – сумарні втрати напору в мережі.

Після удосконалення мережі для  $\Delta H$  справедлива рівність

$$\Delta H = S_\phi \varphi^2 Q_1^2 + \sum S_i Q_{1i}^2, \quad (1.27)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт збільшення витрати

$$\varphi = Q_2 / Q_1, \quad (1.28)$$

$Q_2$  – витрата після реконструкції,

$\sum S_i Q_{1i}^2$  – сумарні втрати напору в мережі після реконструкції.

Сумарні втрати напору в мережі до модернізації можна представити у вигляді

$$h_1 = \sum S_i Q_1^2 = S_{екв} Q_1^2, \quad (1.29)$$

а після модернізації

$$h_2 = \sum S_i Q_{1i}^2 = S_{екв1} \varphi^2 Q_1^2.$$

Тоді, якщо умови роботи насосної станції зберігаються і після модернізації, будуть справедливими рівності

$$S_\phi Q_1^2 + S_{екв} Q_1^2 = \varphi^2 S_\phi Q_1^2 + \varphi^2 S_{екв1} Q_1^2$$

$$S_{\phi} + S_{екв} = \varphi^2 S_{\phi} + \varphi^2 S_{екв1}.$$

Звідси

$$S_{екв1} = (S_{екв} - (\varphi^2 - 1) S_{\phi}) / \varphi^2, \quad (1.30)$$

де  $S_{екв}$  і  $S_{екв1}$  – еквівалентні опори мережі до і після модернізації (еквівалентний опір – це опір мережі, який повинен бути, щоб при подачі розрахункової витрати витрати напору в ній були б такими ж, як і при реальних опорах окремих ділянок).

Еквівалентний опір мережі можна визначити за формулою

$$S_{екв} = (\Pi_1 - \Pi_k) / Q_1^2, \quad (1.31)$$

де  $\Pi_1$  і  $\Pi_k$  – п'єзометричні позначки в точці підключення водоводів до мережі і в кінцевій точці сходу потоків.

На основі визначеної величини  $S_{екв1}$  виконується аналіз доцільності зниження загального опору мережі за рахунок прокладки додаткових ліній і уточнюється положення робочої точки насоса.

Другий спосіб передбачає *установку паралельних насосів додатково до тих*, які уже мають у машинній залі. Характеристика сумісної роботи насосів в цьому випадку буде описуватися залежністю

$$H = H_{\phi} - n^2 S_{\phi} Q^2 \quad (1.32)$$

Напір насосів при витраті  $Q_2 = \varphi Q_1$  буде рівним

$$H = H_{\phi} - n^2 S_{\phi} Q_1^2.$$

Для забезпечення такого напору необхідно мати  $n$  насосів

$$n = \varphi Q_1 \sqrt{\frac{H_{\phi} - H}{S_{\phi}}},$$

де  $H$  - напір, який визначається за формулою

$$H = H_{\Gamma} - S_{екв} Q_1^2.$$

Додаткова кількість насосів, яку слід встановити на станції, буде

$$n_{\partial} = n - n_y, \quad (1.33)$$

де  $n_y$  – кількість насосів, які вже встановлені.

Якщо кількість додаткових насосів буде значною, використовується комбінований метод або при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні проводиться заміна тих насосів, які знаходяться в діючій насосній станції, на насоси більшою продуктивністю.

Насосні агрегати в системах водопостачання другого і наступного підйомів працюють в умовах подачі змінної витрати води. Щоб привести у відповідність споживану і подавану витрати, крім ступеневого режиму роботи насосів, часто використовують метод дроселювання, коли необхідну подачу регулюють засувкою на напірному трубопроводі. При цьому споживана

потужність агрегатом знижується в залежності від того, з якою метою виконується дроселювання.

При необхідності зниження надлишкового напору при  $Q = \text{const}$  споживана потужність знизиться до величини  $N_2$ :

$$N_2 = N_1 * \frac{H_2}{H_1}, \quad (1.34)$$

де  $N_1$  – споживана потужність до дроселювання.

$H_1, H_2$  – напір до дроселювання і після нього відповідно.

При зниженні подачі і напору споживана потужність стане рівною:

$$N_2 = N_1 * \left( \frac{Q_2 * H_2}{Q_1 * H_1} \right),$$

де  $Q_1, Q_2$  – подача до дроселювання і після нього відповідно.

Фактична споживана потужність буде більше розрахованої по зазначеним вище формулах через зниження ККД насоса і двигуна. Уникнути цього можна, якщо регулювати подачу і напір за допомогою зміни частоти обертання робочого колеса насоса. При такому регулюванні потужність знижується значно сильніше в порівнянні зі зміною витрати і напору:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2; \quad \frac{N_1}{N_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^3.$$

З цих залежностей видно, що при зменшенні подачі в два рази, потужність споживана теоретично знижується в 8 разів.

Двигуни насосів доцільно вибирати на основі техніко-економічного порівняння.

Визначається економічний еквівалент реактивної потужності пристрою, що компенсує реактивну потужність по формулі:

$$K_{e.k.} = \frac{P_{y.n.}}{\sigma} + \Delta P_{y.n.}, \quad (1.35)$$

де  $\sigma$  – вартість 1 кВт-року для електродвигунів.

Для кожного двигуна визначаються втрати реактивної потужності по формулі:

$$\Delta P_{Hi} = \frac{P_i * \text{tg} \varphi_{Hi}}{\eta_{Hi}}, \quad (1.36)$$

де  $P_i$  - номінальна потужність і-го двигуна.

$\eta_{Hi}$  – ККД і – го двигуна

Для кожного двигуна обчислюється реактивне навантаження за формулою:

$$N_{Hip} = P_{Hi} * \text{tg} \varphi_{Hi} / \eta_{Hi}, \quad (1.37)$$

$\text{tg} \varphi_{Hi}$  – відповідають значенню коефіцієнта потужності ЕД  $\cos \varphi$  при номінальному режимі роботи,



$\varphi_{\text{ні}}$  – кут зсування фаз між струмом і напругою.

Обчислюються приведені втрати активної потужності для кожного двигуна:

$$\Delta P'_{\text{Hi}} = \Delta P_{\text{Hi}} - K_{\text{эк}} * N_{\text{Hip}}$$

Обчислюються приведені витрати для кожного двигуна

$$\Pi_i = p * K_i + \Delta P_{\text{ні}} * \sigma, \quad (1.38)$$

де  $K_i$  – капітальні витрати на  $i$  – ий двигун.

Річний економічний ефект дорівнює:

$$\Delta \Pi = \Pi_1 - \Pi_2, \quad (1.39)$$

де  $\Pi_1, \Pi_2$  – приведені витрати для першого і другого двигуна відповідно.

У наш час найбільш широке застосування отримали електронні пристрої, використання яких дає можливість змінити (зменшувати /збільшувати) частоту обертів ротора асинхронних приводних електродвигунів насосних агрегатів. Швидкість (частоту обертів) ротора електродвигуна можна регулювати зміною частоти напруги живлення, амплітуди напруги живлення, числом пар полюсів статора. Найбільш розповсюдженим методом є зміна частоти напруги живлення в межах від 0 до 25 - 33 Гц. [5].

Згідно з нормативними документами регульованим електроприводом обладнують, як правило, один насос в групі з 2-3 робочих агрегатів. Керування регульованим електроприводом здійснюється автоматично в залежності від тиску в диктуючих точках водопровідної мережі, витрати води, яка подається в мережу, рівня води в резервуарах. Частотні перетворювачі які випускає виробництво має можливість підключення до них почергово працюючих насосів, що забезпечує рівномірне використання насосних агрегатів. Одним із головних недоліків цих пристроїв є значна ватрість обладнання, але обсяги економії по електроенергії досягають 15-20%.

Принцип регулювання плавною перебудовою частоти (ППЧ).

На напірному трубопроводі встановлюється датчик тиску з “інтелектуальним” виходом, з його виходу отримують стандартний електричний сигнал 4 - 20 мА, величина якого залежить від тиску в напірному трубопроводі. У цей же датчик уводиться установка (завдання), що обмежує верхній рівень необхідного тиску в мережі. При зменшенні витрат води на виході насосного агрегату тиск у напірному трубопроводі підвищується. Датчик тиску вимірює нове значення  $H$ , порівнює його зі значенням максимального обмеження (установкою) і видає управляючу команду на перетворювач частоти. Відповідно до отриманого ДН, перетворювач знижує частоту обертів ротора приводного електродвигуна  $i$ , відповідно, робочого колеса насоса. При подальшому зниженню витрат процедура повторюється.

### **Контрольні питання:**

1. Наведіть склад обладнання насосних станцій та послідовність наладки.

2. Приведіть основні залежності між подачею, тиском і потужністю насосного агрегату.
3. Яким чином змінюються характеристики насосного агрегату й мережі при дроселюванні?
4. Надайте характеристику основному обладнанню насосної станції.
5. Яким чином виконується оптимізація роботи насосної станції?