

Тема 6. Використання сучасних технологій в роботі насосного обладнання

1. Насосні станції систем водопостачання вітчизняних і закордонних міст.
2. Оптимізація роботи насосних станцій.
3. Забезпечення надійності насосних станцій.

1. Як відзначалося раніше, системи водопостачання є великими енергоспоживачами. Це викликається необхідністю забезпечення роботи насосних станцій і окремих насосів на очисних спорудах.

Насосні станції систем водопостачання в наших містах будуються по класичних схемах: насосні станції I підйому – круглі в плані, заглиблені з вертикальними насосами; насосні станції II підйому – прямокутні в плані напівзаглиблені з горизонтальними насосами.

Одними з найважливіших характеристик насосних агрегатів є ККД і $\cos\phi$. Підвищення цих показників зв'язано з потужністю двигунів (чим вище потужність, тим вище показники). Для їхнього поліпшення доцільно використовувати синхронні двигуни. У цьому плані становить інтерес рішення, прийняте на насосній станції I підйому Московського водопроводу. Щоб можна було використовувати синхронні електродвигуни потужністю 1500 квт, на вал кожного двигуна насаджено по двох насоса. Це стало можливим через те, що насоси I підйому працюють у рівномірному режимі.

У системі водопостачання м.Запоріжжя працює 8 основних насосних станцій:

- насосна станція III підйому Павло – Кічкас,
- насосна станція III підйому Леваневського,
- насосна станція III підйому Шевченко,
- насосна станція III підйому Хортицька,
- насосна станція II підйому ДВС – 1,
- насосна станція I підйому ДВС – 1,
- насосна станція II підйому ДВС – 2,
- насосна станція I підйому ДВС – 2.

Ці станції в основному стандартні, крім насосної станції II підйому в блоці контактних освітлювачів на ДВС – 2. Останнє рішення не можна визнати задовільним. Коефіцієнти потужності агрегатів у межах 0,97...0,99. Компенсація реактивної потужності на насосних станціях при напрузі 6 (10кв) здійснюється за рахунок збудження синхронних електродвигунів, а при

низьковольтних двигунах – за рахунок установки компенсаційних батарей. Насосні станції в системах водопостачання промислових підприємств у принципі аналогічні насосним станціям господарсько-питних водопроводів, відрізняючись в основному кількістю, компонованням і облаштуванням допоміжних приміщень і резервуарів. Істотно відрізняються плавучі насосні станції в оборотних системах водопостачання. У таких насосних станціях кожен насосний агрегат монтується на понтоні з захистом від зовнішнього середовища легкими огороженнями. На кожній якірній стоянці напірна лінія такого агрегату підключається за допомогою кулястого шарнірного з'єднання до патрубку стаціонарного сполучного трубопроводу.

Насосні станції в системах водопостачання закордонних міст подібні, але відрізняються кількістю насосних агрегатів. Так, наприклад, на насосній станції I підйому в Ньюегейне в м.Амстердамі (Нідерланди) при продуктивності 600 тис. м³/доб встановлено 10 вертикальних насосів. На насосній станції Лейдуін – I при загальній продуктивності 200 тис. м³/доб усього встановлено 12 агрегатів, розбитих на 5 груп із продуктивністю окремих груп від 600 – 800 м³/г до 1700 – 2100 м³/г. В якості резервного приводу використовуються чотири дизелі потужністю по 880 кВт кожний.

На площадці очисних споруд Нотмеір-Валем у м.Антверпен (Бельгія) розташовані три насосні станції II підйому, у яких встановлено чотири групи відцентрових насосів, що подають воду в різні ділянки районної мережі й у резервуари головної насосної станції підкачування Лютхаген. У двох групах резервні насоси мають привід від дизельних двигунів. На водоочисній станції в Олегемі насосна станція II підйому складається з двох груп відцентрових насосів: перша включає чотири насоси з подачею по 1100 м³/г, друга – два по 2200 м³/г. Приводом усіх насосів служать електродвигуни з перемінною частотою обертання, що дозволяє регулювати подачу води в місто в залежності від інтенсивності водорозбору. Насосні станції повністю автоматизовані. Включення і вимикання насосів здійснюється в залежності від заданого інтервалу тисків у контрольних точках мережі.

На станції Таілфер (м.Брюссель, Бельгія) у насосній станції I підйому встановлені шість насосів продуктивністю по 2,8 тис. м³/г, з яких два насоси резервні.

Велика насосна станція I підйому побудована на водоочисній станції Датчет (м.Лондон). Станція кругла в плані Д=23м глибиною 8м. Вона обладнана п'ятьма вертикальними насосами продуктивністю по 450 тис. м³/доб при напорі 22м із синхронними двигунами напругою живлення 6кВ

потужністю по 1570кВт. Насосна станція цілком автоматизована і керується з диспетчерського пункту на станції Стейнс.

У головній насосній станції водопостачання м.Лондона встановлено 11 насосів, що розділені на 6 груп. Подача насосів змінюється від 2,8 до 8,5 тис. м³/г. Усі насоси – відцентрові з вертикальним валом. Насоси обладнані електродвигунами. Як резервне джерело використовують дизель-генератори, встановлені в звукоізолюючих закслених кабінах.

Основна відмінність вітчизняних насосних станцій від закордонних полягає в тому, що на насосних станціях встановлюється багато насосів, що дозволяють краще враховувати нерівномірність водоспоживання.

У ряді міст Індії насосні станції подають воду в зрівняльні ємності обсягом до 250 тис. м³.

Крім того, у Західній Європі як резервні двигуни використовуються також дизелі, а в системі м.Чикаго (США) на п'ятьох насосних станціях у якості резервних використовуються парові двигуни (парові турбіни), для чого на станціях побудовані котельні, у яких встановлені 4 – 6 котлів з робочим тиском 1,4–2,8МПа. Котельні обладнані газомазутними пальниками.

Конденсаційні турбіни, що служать приводом до відцентрових насосів, мають частоту обертання 3400 – 5800 об/хв і з'єднані з тихохідними насосами зубчастими передачами.

Основною проблемою, що зв'язана з удосконалюванням роботи насосних станцій, є проблема підвищення ККД використовуваної енергії і вибір економічного двигуна для насосного агрегату. Насосні агрегати в системах водопостачання другого і наступного підйомів працюють в умовах подачі перемінної 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:

$$N_2 = N_1 * \frac{H_2}{H_1} ,$$

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. Методика такого порівняння не залежить від типів порівнюваних двигунів.

Нехай, наприклад, треба вибирати з двох синхронних двигунів з однаковим числом обертів, але різної потужності.

Порівняння виконується в наступній послідовності.

- По довідниках вибирається сумарний коефіцієнт відрахувань з урахуванням амортизації й інших експлуатаційних витрат для конденсаторів, що компенсують реактивну потужність, $P(P=0,23)$, питому вартість втрат активної потужності на 1 кВАр потужності $K_{y.n.}$ і питомі втрати активної потужності $\Delta P_{y.n.}$ (0,003кВт/кВАр);

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

$$K_{e.k.} = \frac{P * K_{y.n.}}{\sigma} + \Delta P_{y.n.},$$

де σ – вартість 1 кВт-року для електродвигунів.

- Для кожного двигуна визначаються втрати активної потужності по формулі:

$$\Delta P_{Hi} = \frac{P_i * (1 - \eta_{Hi})}{\eta_{Hi}},$$

де P_i - номінальна потужність i -го двигуна.

η_{Hi} – ККД i – го двигуна

- Для кожного двигуна обчислюється реактивне навантаження за формулою:

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

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

φ_{Hi} – кут зсування фаз між струмом і напругою.

- Обчислюються приведені втрати активної потужності для кожного двигуна:

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

- Обчислюються приведені витрати для кожного двигуна

$$\Pi_i = p * K_i + \Delta P'_{Hi} * \sigma,$$

де K_i – капітальні витрати на i – ий двигун.

- Річний економічний ефект дорівнює:

$$\Delta \Pi = \Pi_1 - \Pi_2,$$

де Π_1, Π_2 – приведені витрати для першого і другого двигуна відповідно.

Безперебійність роботи насосних станцій досягається:

- правильним вибором насосного устаткування, що відповідає умовам експлуатації по напорах, витратам і конструктивному виконанню;
- високою якістю монтажу й устаткування.

Однак, це не виключає можливості появи відмов насосів і запірної арматури, встановлених на станції, які варто враховувати при проектуванні насосних станцій.

Для забезпечення подачі насосними станціями витрат, напорів із заданою імовірністю $P (q \geq q_a; h \geq h_a; t > t_1)$ використовується резервування, коректування схем комунікацій, типу насосів, зміна режимів обслуговування й інших рішень, які спрямовані на підвищення надійності. По методу створення надмірності використовують такі методи резервування: структурний, навантажувальний, функціональний, часовий.

Структурний метод резервування передбачає використання на станціях надлишкових елементів. Основною характеристикою структурного резерву є його кратність:

$$m = \frac{k - n}{n},$$

де K – загальне число насосів чи інших елементів того самого призначення на станції.

Ціла кратність резерву характерна для схем при $n = 1$, а дробова – при $n > 1$.

Структурне резервування може бути загальним і роздільним.

Загальне структурне резервування характерне для станцій з малим числом насосів, коли кожен з них обладнується самостійним всмоктувальним і напірним трубопроводами з запірно-регулюючою арматурою (рис.45).

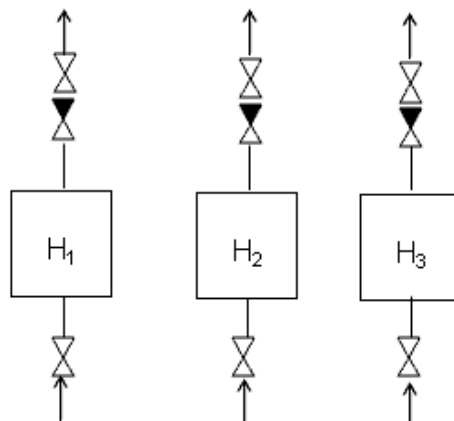


Рисунок 6.1 – Загальне структурне резервування

Роздільне структурне резервування застосовується при складних схемах компонування станцій, коли число робочих насосів більше двох, а використання більше двох всмоктувальних чи напірних трубопроводів нерациональне (рис.46).

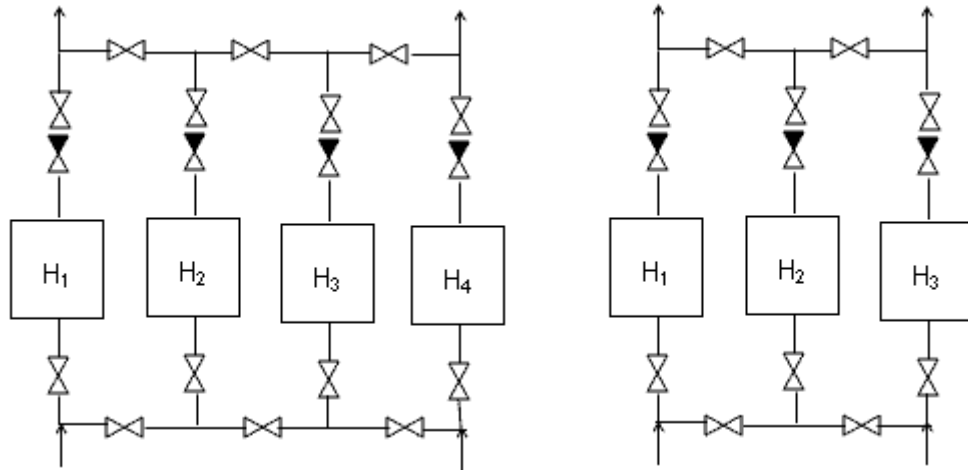


Рисунок 6.2 – Роздільне структурне резервування

За способом участі резервних елементів у роботі станції виділяється три види структурного резерву:

- навантажений (постійний);
- ненавантажений (заміняючий);
- полегшений резерв.

Навантажений резерв характерний для запірно-регулюючої арматури, для всмоктуючих і напірних трубопроводів, тобто він використовується в тих випадках, коли резервні елементи беруть участь у забезпеченні витрати станціями нарівні з основними.

Ненавантажений резерв – це резерв, при якому резервні елементи не працюють до відмовлення основних агрегатів.

Полегшений резерв використовується тоді, коли резервні агрегати працюють у більш легкому в порівнянні з основними режимі (наприклад, при ступеневій роботі насосів).

Навантажувальний метод резервування передбачає використання здатності насосів і інших елементів станції при відключенні частини з них збільшувати продуктивність(пропускну здатність) до допустимих меж

$$q_a = \alpha_{ав} * q_p ,$$

де $\alpha_{ав}$ – коефіцієнт зниження подачі при аварії.

q_p – розрахункова подача при нормальній роботі.

Функціональний метод резервування передбачає можливість взаємозамінності устаткування різного призначення. Наприклад, протипожежні насоси за певних умов можуть використовуватися як господарсько-питні. Рівень функціонального резерву також оцінюється кратністю. Для функціонального методу резервування, на відміну від структурного, найбільш характерні такі види резерву, як роздільний при ненавантаженому чи полегшеному режимі експлуатації.

Часовий метод резервування передбачає використання резерву по тривалості роботи станції протягом доби. Він може створюватися, наприклад, шляхом застосування насосів із продуктивністю, що перевищує добову, а також з використанням регулюючих ємностей.

Для аналізу надійності роботи насосних станцій треба мати якісь об'єктивні критерії, у якості яких можна прийняти імовірності показники. Це можуть бути одиничні показники, такі, як імовірність безвідмовної роботи насосних станцій, імовірність наробітку до відмови й ін. Як комплексні показники, що характеризують одночасно безвідмовність і ремонтпридатність станцій, використовується коефіцієнт готовності K_r і коефіцієнт оперативної готовності $K_{ог}$ і т.п. Для спрощення інженерного рішення задач на надійність насосних станцій можна замінити багатопараметричну задачу рядом задач з меншою кількістю параметрів (і навіть однопараметричних). У цьому випадку на першому етапі визначаються можливості насосної станції при різних варіантах її роботи, коли ще немає відмови, тобто коли q_a є допустимим. За розрахункові критерії в цьому випадку можуть прийматися коефіцієнти забезпечення витрат:

$$\alpha_a = q_a / q_p$$

чи напорів

$$\beta_a = h_a / h_p,$$

які визначаються на основі рішення системи рівнянь, що відбивають умови спільної роботи насосів, всмоктуючись і напірних трубопроводів.

На другому етапі розрахунків визначаються імовірності збереження співвідношення $q > q_a$. Для цього відповідно до результатів гідравлічного розрахунку складаються розрахункові моделі станцій у вигляді комбінацій елементів (рис.47). Нехай на станції встановлено 4 робочих і один резервний агрегат з характеристикою $\lambda_{1,6} = 10^{-7}$ 1/Г – для трубопроводів у межах станції, інтенсивність відмови засувки $\lambda_{2,5} = 4 \cdot 10^{-5}$ 1/Г, зворотного клапана $\lambda_3 = 10^{-5}$ 1/Г, інтенсивність відмови насоса $\lambda_4 = 2 \cdot 10^{-4}$ 1/Г.

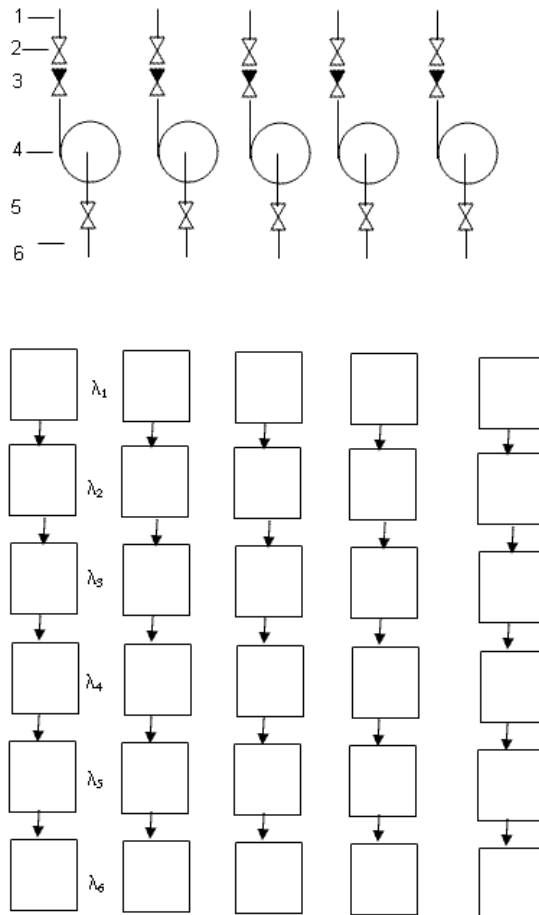


Рисунок 6.3 – Розрахункова схема насосної станції

Якщо устаткування резервується способом заміщення, то імовірність безвідмовної подачі розрахункової витрати води станцією протягом місяця визначається за формулою:

$$P = (1+4\lambda t) e^{-4\lambda t},$$

де $\lambda = \sum \lambda_i = 2,9 \cdot 10^{-4}$.

Підставивши вихідні дані, одержимо:

$$P = (1+4 \cdot 2,9 \cdot 10^{-4} \cdot 720) \cdot e^{-0,835} \approx 0,81.$$

Величина P свідчить про те, що протягом місяця можливі аварійні стани.

Слід зазначити, що питання чисельної оцінки надійності насосних станцій ще вимагає вивчення.

Питання для повторювання

1. Яке обладнання встановлюється на сучасних насосних станціях?
2. Чим відрізняються закордонні насосні станції від вітчизняних?
3. Як змінюються робочі параметри при регулюванні подачі та напору шляхом зміни частоти оберту робочого колеса насоса?
4. Які критерії використовують для аналізу надійності роботи насосних станцій?
5. Які види структурного резерву насосного обладнання існують?