

УДК 621.313

М. М. Мошноріз, асп.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТЕЙ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ СТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ

Досліджено спільну роботу насосних агрегатів станції з мережею водопостачання, що забезпечує подачу потрібного об'єму води. Розроблено методуку визначення співвідношення продуктивності певної кількості насосів для забезпечення подачі потрібного об'єму рідини. Отримано залежності продуктивності та відносної швидкості обертання одного насоса, з якими забезпечується паралельна робота насосних агрегатів на мережу водопостачання за заданого значення продуктивності станції.

Вступ

Насосна станція (НС) призначена для перекачування рідини з джерела водозабору, резервуара чистої води в мережу водопостачання (МВ). Вода, яка забирається з джерела водозабору, насосами станції першого підйому подається в очисні споруди [1]. Після очистки вода подається до резервуару чистої води, з якого забирається другою групою насосів, встановлених на НС другого підйому, і водоводами подається до МВ, а далі — до споживачів. Якщо МВ має значну протяжність, то систему водопостачання оснащують НС третього підйому, насоси яких підвищують тиск води у трубопроводах до потрібного значення.

Подача НС другого підйому великих міст забезпечується паралельною роботою певної кількості насосних агрегатів (НА). Необхідність у паралельній роботі декількох однакових або різних насосів виникає у тих випадках, коли неможливо забезпечити необхідні витрати води подачею одного насоса [2].

Відцентрові насоси можуть працювати паралельно за умови рівності тиску на їх виході [2]. При цьому сумарна подача НС дорівнює сумі подач увімкнених НА.

Однією з основних задач водопостачання є забезпечення нерівномірних протягом доби і за сезонами року потреб споживача у воді за умови паралельної роботи НА. Під потребами споживача слід розуміти витрату споживаної води та тиск, необхідний для підняття води на задану висоту.

Відомі підходи до вирішення вказаної проблеми шляхом зміни кількості НА, що працюють паралельно [3, 4]. Недоліком такого способу є складність забезпечення точного значення об'єму подачі води та ступінчастий характер зміни продуктивності. Враховуючи обмежену кількість можливих пусків потужних НА, до зміни кількості працюючих НА вдаються за нечастих змін навантаження [4].

Точне значення величини подачі води НА можна забезпечити введенням додаткового гідродинамічного опору шляхом прикриття засувки у нагнітальному трубопроводі насоса [4]. До недоліків такого способу регулювання відносять неекономічність та можливість регулювання тільки у напрямі зменшення подачі [2].

Найекономічнішим є регулювання режиму роботи насоса зміною частоти обертання робочого колеса насоса [2, 3]. Вказаний спосіб регулювання суттєво підвищує економічні показники НС, дозволяє зменшити кількість насосів на НС на групу з трьох-чотирьох насосів, використовувати один регульований за частотою обертання робочого колеса [2]. До недоліків частотного керування відносять значні капітальні витрати на додаткове обладнання, призначеного для зміни частоти обертання насоса.

Вказані недоліки доповнюються і тим, що в усіх перелічених випадках важко забезпечити спільну роботу насосів.

Метою роботи є поліпшення умов подачі води у МВ шляхом регулювання подачі увімкнених НА.

Розв'язання задачі

Поставлена мета досягається поєднанням регулювання подачі води зміною кількості НА, що працюють паралельно, з регулюванням зміною частоти обертання робочого колеса насоса; вибором оптимального за споживанням електричної енергії (ЕЕ) співвідношення увімкнених НА; забезпеченням

потрібного значення продуктивності НС за заданого значення тиску рідини. Регулювання частоти обертання робочого колеса насоса досягається застосуванням частотно регульованого електропривода [3]. Перетворювачем частоти обладнується лише один НА, всі інші при цьому працюють у номінальному режимі роботи.

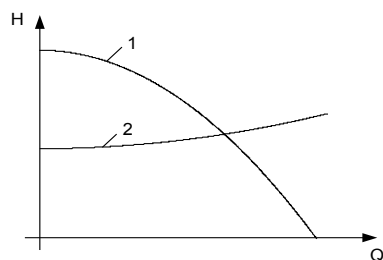


Рис. 1. Напірно-витратні характеристики відцентрового насоса та МВ

Залежність тиску, який розвиває НА, від його подачі називається напірно-витратною характеристикою, яка для відцентрових насосів з пологими характеристиками має вигляд кривої 1, показаної на рис. 1.

Спільна робота НА з МВ визначається точкою перетину напірно-витратної характеристики НА 1 з характеристикою мережі 2 (див. рис. 1) [5]. Важливо, щоб ця точка була в робочій області характеристики агрегату. В іншому випадку двигун насоса буде працювати з низьким коефіцієнтом корисної дії в режимі недовантаження чи перевантаження.

У разі паралельного увімкнення НА подача води на їх виходах додається і спільна робота з МВ визначається точкою перетину сумарної напірно-витратної характеристики з характеристикою мережі. Продуктивність насосів при цьому може відрізнятись від номінальної, а, відповідно, і НА буде працювати з відхиленням від номінального режиму роботи. У разі суттєвих коливань споживання води точка спільної роботи НС з МВ може виходити за межі робочої частини характеристики НА, внаслідок чого останні будуть працювати з надлишковими затратами потужності.

Розглянемо випадок, коли подача НС другого підйому визначається, наприклад, графіком водопостачання, показаним на рис. 2.

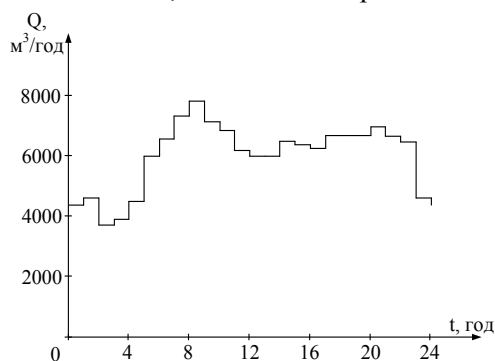


Рис. 2. Графік водопостачання НС другого підйому

Потрібна величина подачі води забезпечується паралельною роботою НА. Таким чином, в кожен годину доби сумарна продуктивність насосів повинна бути рівною або більшою потрібного значення продуктивності, взятого з графіка водопостачання. Нехай ця продуктивність забезпечується k однаковими НА. Тоді у відповідності з методикою [6, 7], можна знайти оптимальні за споживанням ЕЕ співвідношення увімкнених агрегатів. Оптимізація виконується з урахуванням механічного [6] та електричного [7] зносу насосного обладнання. Таким чином, можна отримати такі комбінації увімкнених НА, за яких подача НС більша або рівна потрібній величині подачі з графіка водопостачання; споживається мінімальна кількість ЕЕ для даного способу забезпечення витрат та забезпечується рівномір-

ний знос насосного обладнання.

За відомої кількості увімкнених НА потрібно забезпечити їх паралельну роботу у досягненні конкретного значення сумарної продуктивності. Припустимо, що НС обладнана відцентровими насосами з пологими характеристиками (див. рис. 1). Ця характеристика досить точно апроксимується залежністю [8]

$$H = A - CQ^2,$$

де Q — подача насоса, $\text{м}^3/\text{год}$; H — тиск насоса, м ; A — вакуумметрична висота підйому рідини, м ; C — гідродинамічний опір насоса, $\text{год}^2/\text{м}^5$.

Напірно-витратна характеристика МВ згідно з [9] описується залежністю

$$H = H_c + R_c Q^2,$$

де H_c — статичний напір, необхідний для підйому рідини на визначену висоту (геодезичний напір), м ; R_c — гідродинамічний опір МВ, $\text{год}^2/\text{м}^5$.

Точка спільної роботи k НА на МВ знаходиться з розв'язку системи рівнянь

$$\begin{cases} H = H_c + R_c Q^2; \\ H = A - C Q_1^2; \\ Q = k Q_1, \end{cases}$$

де Q — потрібне значення об'єму подачі води всієї НС, м³/год; Q_1 — об'єм подачі води одного НА, м³/год; k — кількість паралельно працюючих НА.

Розв'язавши систему рівнянь, отримаємо такі значення об'ємів подачі води всіх НА, з якими забезпечуються їх спільна робота та потреби споживача:

$$Q_1 = \frac{1}{C + R_c k^2} \sqrt{\left(-\left(C + R_c k^2\right)\right)\left((-A) + H_c\right)}. \quad (1)$$

Отримане значення величини подачі води НА за спільної роботи з МВ дозволяє точно встановити коефіцієнт корисної дії системи та оцінити затрати енергії на забезпечення вказаного режиму роботи.

Таким чином, для забезпечення потрібного значення величини подачі води необхідно увімкнути паралельно k НА. При цьому НА працюватимуть узгоджено з МВ, а продуктивність НС буде більшою або рівною потрібного значення подачі. Перевищення величини подачі насосною станцією призводить до збільшення втрат у трубопроводі та підвищення тиску в МВ, що проявляється у надлишковому споживанні ЕЕ та зменшенні надійності роботи системи водопостачання [3]. Тому вдаються до регулювання продуктивності НА станції. Оскільки у виразі (1) величини A , C , H_c та R_c постійні, то подача Q_1 регулюється лише зміною кількості паралельно працюючих насосів k . Такий спосіб регулювання дає стрибкоподібну зміну продуктивності НА станції, чого часто недостатньо для точного підтримання продуктивності і забезпечення графіка водопостачання. Для підтримання на виході НА певного значення подачі води вдаються до дроселювання потоку рідини засувкою, встановленою на напірній лінії насоса. При цьому не потребується установка додаткового обладнання (що є основною перевагою даного способу регулювання) [2]. До його недоліків, як уже зазначалося, відносять підвищені затрати ЕЕ на подолання додаткового гідравлічного опору, який штучно створюється засувкою [2, 6]. Рішенням вказаних проблем є регулювання продуктивності насосної установки зміною частоти обертання робочого колеса за рахунок застосування регульованого електропривода [10].

Розглянемо випадок, коли подача води НС забезпечується зміною частоти обертання одного НА при номінальному режимі роботи n інших. Його напірно-витратна характеристика апроксимується залежністю [8]

$$H = A v^2 - C Q_2^2,$$

де v — відносна швидкість обертання робочого колеса насоса, в. од.; Q_2 — подача регульованого НА, м³/год.

Точку спільної роботи n НА з одним регульованим НА та МВ знаходимо з розв'язку системи рівнянь

$$\begin{cases} H = H_c + R_c Q^2; \\ H = A - C Q_1^2; \\ H = A v^2 - C Q_2^2; \\ Q = n Q_1 + Q_2. \end{cases}$$

Розв'язавши систему рівнянь, отримаємо такі значення продуктивності всіх НА, з якими забезпечуються потреби споживача у воді та спільна робота:

— для n нерегульованих НА

$$Q_1(Q) = \sqrt{\frac{1}{C} \left(A - H_c - R_c Q^2 \right)}; \quad (2)$$

— для регульованого НА

$$Q_2(n, Q) = Q - n \sqrt{\frac{1}{C} \left(A - H_c - R_c Q^2 \right)}. \quad (3)$$

Значення відносної швидкості обертання регульованого НА при цьому становитиме

$$v(n, Q) = \sqrt{\frac{1}{A} \left(H_c + R_c Q^2 + n^2 A + C Q^2 - 2Qn\sqrt{C(A - H_c - R_c Q^2)} - n^2 H_c - n^2 R_c Q^2 \right)} \quad (4)$$

Отримане значення відносної частоти обертання дозволяє забезпечити потрібну подачу станції Q для певної кількості увімкнених НА, а отримані значення продуктивності НА дозволяють оцінити затрати енергії на забезпечення вказаного режиму роботи.

Розглянемо, наприклад, НС, яка складається з трьох паралельно увімкнених НА ($n = 3$) з параметрами $H_c = 80$ м, $R_c = 3,26 \cdot 10^{-7}$ год²/м⁵, $A = 114,86$ м, $C = 3,79 \cdot 10^{-6}$ год²/м⁵ та одного такого ж регульованого НА. Підставивши ці значення в (2), (3) та (4), отримаємо залежності продуктивності нерегульованих НА

$$Q_1(Q) = \sqrt{9,1972 \cdot 10^6 - 0,0861Q^2},$$

регульованого НА

$$Q_2(n, Q) = Q - n\sqrt{9,1972 \cdot 10^6 - 0,0861Q^2}$$

та відносної швидкості обертання регульованого НА від потрібного значення продуктивності НС

$$v(n, Q) = \left(0,696 - 433,55 \cdot 10^{-12} Qn\sqrt{0,2132 \cdot 10^{12} - 1995Q^2} + 3,58 \cdot 10^{-8} Q^2 + 0,304n^2 - 2,84 \cdot 10^{-9} n^2 Q^2 \right)^{1/2}.$$

На рис. 3 показані графіки залежностей продуктивності нерегульованих НА від продуктивності НС.

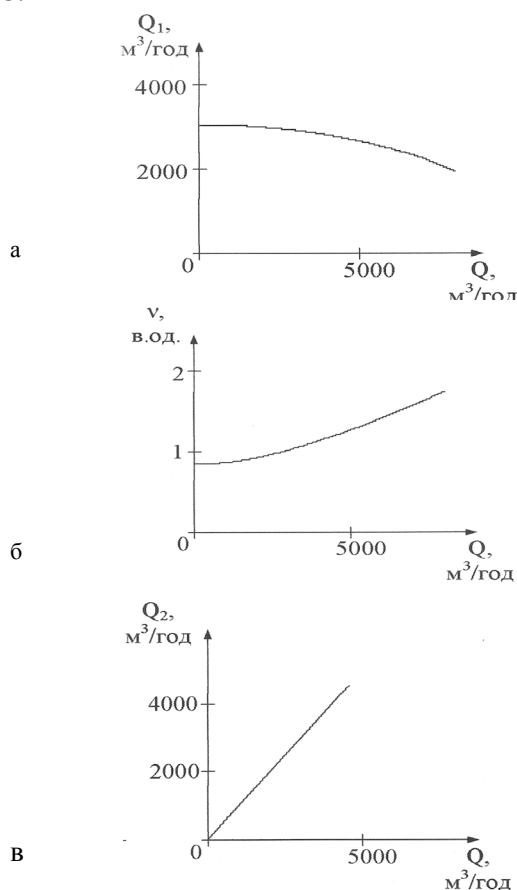


Рис. 3. Графіки залежностей: а — продуктивності нерегульованих НА від продуктивності НС; б — продуктивності регульованого НА від продуктивності НС; в — відносної швидкості обертання регульованого НА від продуктивності НС

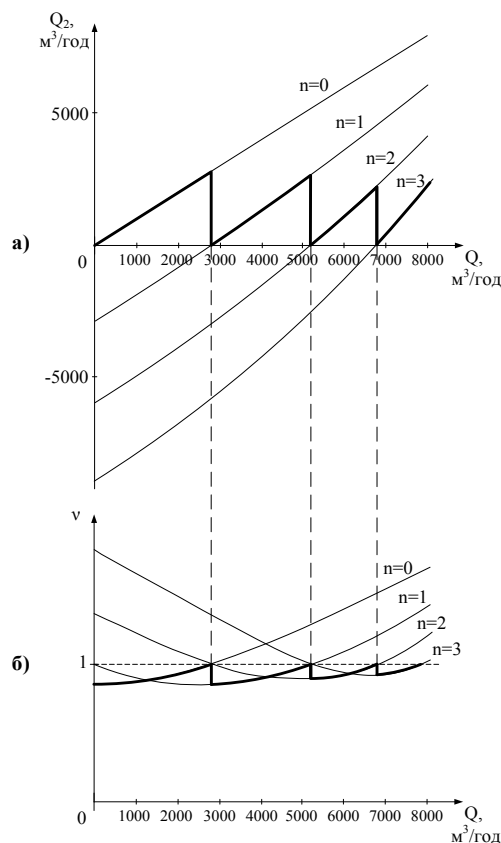


Рис. 4. Графік залежності величини подачі води регульованого НА від продуктивності НС (а) та відносної швидкості обертання регульованого НА від продуктивності НС (б)

Таким чином, потрібне значення величини подачі води забезпечується певною кількістю увімкнених НА, з яких n нерегульованих та один регульований за швидкістю обертання. Діапазон регулювання, як випливає з рис. 3б, в, обмежений параметрами можливої подачі води НА Q_2 та його значенням відносно швидкості обертання v , яке в нормальному режимі роботи не повинно перевищувати 1. Враховуючи це, на рис. 4 показані залежності подачі води та швидкості обертання регульованого НА від потрібного значення продуктивності НС при зміні кількості НА, що працюють паралельно.

З рисунку 4 випливає, що використання одного регульованого НА дає можливість регулювати продуктивність станції в діапазоні від 0 до 8000 м³/год. Крім того, зі збільшенням кількості насосів, що працюють паралельно, зменшується діапазон зміни частоти обертання регульованого НА.

Висновки

В результаті теоретичних досліджень системи подачі води в мережу водопостачання, яка містить декілька НА, один з яких регульований за частотою обертання, отримано закони зміни продуктивності та частоти обертання робочого колеса регульованого агрегату, які забезпечують потрібну величину подачі води. НА при цьому працюють узгоджено, підтримуючи на виходах однакове значення тиску. Отримані залежності для визначення подачі НА дозволяють оцінити затрати енергії на забезпечення такого режиму роботи станції.

Запропонований підхід можна застосувати до НС, яка має різні за характеристиками НА.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Залуцкий Э. В., Петрухно Д. И. Насосные станции. Курсовое проектирование. — К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. — 167 с.
2. Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции: Учеб. для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1986. — 320 с.
3. Лезнов Б. С. Экономия электроэнергии в насосных установках. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 144 с.
4. Поляков В. В., Скворцов Л. С. Насосы и вентиляторы: Учеб. для вузов. — М.: Стройиздат, 1990. — 336 с.
5. Кривченко Г. И. Гидравлические машины: турбины и насосы. Учебник для вузов. — М.: Энергия, 1978. — 320 с.
6. Искендеров А. А. Задачи выбора оптимальных режимов работы НС // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2004. — № 5. — С. 62—64.
7. Грабко В. В., Мошноріз М. М. Вдосконалення роботи насосної станції водопостачання // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — Вінниця: ВНТУ. — 2006. — № 6. — С. 138—141.
8. Коренькова Т. В. Описание характеристик насосных агрегатов при переменной скорости вращения // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. — Вип. 1(12). — Кременчук: КДПУ, 2002. — С. 184—189.
9. Коренькова Т. В. Определение степени загрузки двигателей параллельно работающих насосов при регулировании скорости изменением питающего напряжения // Проблеми створення нових машин і технологій: Зб. наук. пр. КДПІ. — Вип. 2. — Кременчук: КДПІ, 1999.
10. Коренькова Т. В. Технично-економічна оцінка ефективності використання системи ТРН-АД в електроприводі насосних установок // Проблеми створення нових машин і технологій: Зб. наук. пр. КДПІ. — Вип. 2. — Кременчук: КДПІ, 2001. — С. 98—101.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Надійшла до редакції 23.01.08
Рекомендована до друку 19.02.08

Мошноріз Микола Миколайович — аспірант.

Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет