

УДК 621.313

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ НАСОСНИМИ АГРЕГАТАМИ
СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ

*Грабо В.В., д.т.н. проф., Мошноріз М.М., асп.
Вінницький національний технічний університет
21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95
E-mail: moshnoriz@meta.ua*

В статті пропонується спосіб підвищення ефективності управління насосними агрегатами станції водоснабження, який базується на поєднанні двох способів регулювання продуктивності насоса і розробки законів управління регульованим по частоті обертання насосним агрегатом. При цьому потрібне значення продуктивності станції забезпечується при достатньому для підняття на задану висоту тиску в трубопроводі.

Ключевые слова: насосный агрегат, станция водоснабжения, эффективная работа, производительность, совместная работа, принцип управления.

The method of increase of management efficiency of water-supply pumping aggregates is offered in the article. It is based on combination of two methods of the pump productivity adjustment and of management laws development due to frequency of pumping aggregate rotation. The station productivity required is provided at sufficient liquid pressure for raising on the decision height in a pipeline.

Keywords: pumping aggregate, station of water-supply, effective work, productivity, compatible work, management principle.

Вступ. Щоб отримати потрібне значення об'єму подачі води насосної станції (НС) її обладнують кількома паралельно ввімкненими насосними агрегатами (НА). Для забезпечення нормального режиму роботи всієї системи водопостачання продуктивність станції потрібно регулювати в певному діапазоні. До найбільш вживаних способів регулювання відносять зміну кількості паралельно працюючих насосів, дроселювання води на напірному патрубку насоса, зміну частоти обертання його робочого органу [1, 2]. Найбільш часто вдаються до поєднання кількох способів регулювання, а саме зміну кількості паралельно працюючих НА з дроселюванням, чи зміною частоти обертання робочого органу насоса (частотний спосіб регулювання). Дроселювання як найбільш простий у реалізації спосіб регулювання застосовується часто, але поступається частотному способу регулювання, виходячи з вимог економії електричної енергії, яка затрачується на перекачування рідини та умов експлуатації насосного устаткування. Крім того, частотний спосіб регулювання дозволяє зменшити продуктивність НА при зменшенні споживаної ним потужності і, тим самим, покращити умови роботи як самого насоса, так і запірно-регулюючої арматури.

За допомогою частотного способу регулювання продуктивність НА можна змінювати в межах від нуля до номінального значення. Зміна ж кількості паралельно працюючих НА дозволяє змінювати продуктивність станції в широких межах з інтервалом в номінальне значення продуктивності встановлених насосів. Тому, для забезпечення потрібного значення об'єму рідини при достатньому для підняття на задану висоту тиску в трубопроводі потрібно

кожен раз вмикати чи вимикати той чи інший НА і частотним способом регулювання забезпечувати точне значення об'єму рідини. Для цього потрібно встановити, який з НА потрібно ввімкнути чи вимкнути, і на яку потужність (швидкість обертання при частотному способі регулювання) ввімкнути регульований НА. Названі питання частково вирішуються в роботах [3-5], де запропоновано підходи до визначення комбінацій ввімкнених НА, при яких забезпечуються потреби споживача у воді. В роботі [5] порівнюються такі варіанти регулювання, коли змінюється частота обертання одного, двох чи всіх НА. Регульовані НА при цьому працюють паралельно з ввімкненими на номінальне значення продуктивності іншими НА. Запропонований підхід дозволяє встановити такі комбінації ввімкнених насосів, при яких забезпечуються потреби споживача у воді та рівномірне вичерпування ресурсу насосного обладнання; але не дозволяє забезпечити ефективну сумісну роботу НА. Під ефективною сумісною роботою НА слід розуміти таку роботу, при якій останні розвивають однаковий тиск, забезпечуючи при цьому потрібне значення продуктивності. Тиск рідини повинен бути достатнім для підняття на задану висоту. Названі умови враховуються системою рівнянь характеристики НА та мережі водопостачання (МВ), яка для k НА матиме вигляд:

$$\begin{cases} H = H_c + R_c Q^2; \\ H = A - C Q_1^2; \\ Q = k \cdot Q_1, \end{cases} \quad (1)$$

де H – тиск в напірному патрубку насоса, м; H_c – статичний напір, необхідний для підйому рідини на

визначену висоту (геодезичний напір), м; R_c – гідродинамічний опір мережі водопостачання, $\text{год}^2/\text{м}^5$; Q – об’єм подачі води всією станцією, $\text{м}^3/\text{год}$; A – вакууметрична висота підйому рідини, м; C – гідродинамічний опір насоса, $\text{год}^2/\text{м}^5$; Q_1 – об’єм подачі води одного насоса, $\text{м}^3/\text{год}$.

Розв’язавши систему рівнянь (1), знаходимо залежність продуктивності НА станції водопостачання Q_1 від потрібного значення продуктивності Q при різних кількостях ввімкнених НА k .

Керуючись роботами [4, 5], потрібно поєднувати звичайне ввімкнення чи вимкнення НА зі зміною частоти обертання одного з них. При використанні частотного способу керування система (1) доповниться рівнянням характеристики частотно-регульованого НА:

$$\begin{cases} H = H_c + R_c Q^2; \\ H = A - C Q_1^2; \\ H = A \cdot v^2 - C Q_2^2; \\ Q = n \cdot Q_1 + Q_2, \end{cases} \quad (2)$$

де Q_1 – подача нерегульованого НА, $\text{м}^3/\text{год}$; v – відносна швидкість обертання робочого колеса насоса регульованого НА, в. од.; Q_2 – подача регульованого НА, $\text{м}^3/\text{год}$; n – кількість нерегульованих НА.

Розв’язавши цю системи отримаємо закон зміни відносної швидкості обертання та продуктивності регульованого НА, при яких забезпечується ефективна сумісна робота НА станції.

Як в першій, так і в другій системах рівнянь присутні величини k та n , які вказують на кількість працюючих НА. Для забезпечення потрібного значення об’єму подачі рідини ці величини будуть змінюватися на протязі доби. Невирішеним залишається питання, як вони повинні змінюватися при зміні потрібного значення продуктивності станції.

Мета роботи - підвищення ефективності керування НА станції водопостачання.

Матеріал і результати дослідження. Вказана мета досягається розробкою принципу керування групою паралельно працюючих НА.

НС водопостачання обладнується відцентровими насосами, до основних параметрів яких відносять тиск, продуктивність, потужність, коефіцієнт корисної дії (ККД) та частоту обертання валу робочого колеса насоса [6]. Залежність тиску, який розвиває НА від його продуктивності називається напірно-витратною характеристикою, яка, наприклад, для відцентрового насоса Д 1250-125 має вигляд кривої $H-Q$, зображеної на рис. 1. Також на рис. 1 представлено криві залежності ККД $\eta-Q$ та необхідної для підйому рідини на задану висоту потужності $P-Q$.

Паспортні дані відцентрових насосів отримуються експериментальним шляхом для кількох точок робочої частини характеристики.

Крім об’єму подачі рідини насосом, тиску рідини на його виході та відносної швидкості обертання його робочого колеса розглянемо ще дуже важливий параметр – гідравлічний ККД насоса. Оскільки в паспортних даних наводять три точки робочої частини характеристики насоса, зняті експериментальним

шляхом, то його ККД інтерполюємо поліномом

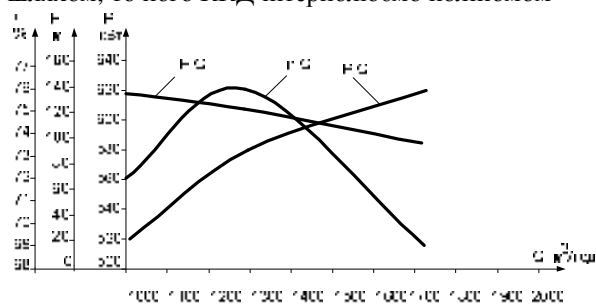


Рисунок 1 – Характеристики відцентрового насоса типу Д 1250-125

третього порядку в функції від об’єму подачі рідини:

$$\eta(Q) = EQ + FQ^2 + GQ^3, \quad (3)$$

де E, F, G – коефіцієнти інтерполяції.

При трьох відомих значеннях Q та ККД можна скласти систему трьох рівнянь, розв’язавши яку, знайти коефіцієнти E, F, G .

Розв’язавши систему рівнянь (2), отримаємо продуктивність регульованого НА Q_2 в функції кількості працюючих нерегульованих НА n та загального значення продуктивності станції Q

$$Q_2(n, Q) = Q - n \sqrt{\frac{1}{C} \cdot (A - H_c - R_c \cdot Q^2)}, \quad (4)$$

та відносну швидкість обертання регульованого НА v в функції тих же аргументів

$$v(n, Q) = \left(\frac{1}{A} \cdot (H_c + R_c \cdot Q^2 + C \cdot Q^2 + \sqrt{A - H_c - R_c \cdot Q^2} \times (n^2 \cdot \sqrt{A - H_c - R_c \cdot Q^2} + 2 \cdot Q \cdot n \cdot \sqrt{C})) \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

Підставивши (4) в (3), отримаємо ККД регульованого НА в функції кількості нерегульованих НА та загального значення продуктивності станції:

$$\eta(n, Q) = \frac{1}{C} \left(\left(Q - n \sqrt{\frac{A - H_c - R_c Q^2}{C}} \right) \times \left(CE + CGQ^2 + AGn^2 - GH_c n^2 + CFQ - GQ^2 R_c n^2 - C F n \sqrt{\frac{A - H_c - R_c Q^2}{C}} - 2CGQn \sqrt{\frac{A - H_c - R_c Q^2}{C}} \right) \right).$$

Для відцентрового насоса типу Д2000-100 та МВ з параметрами $H_c = 80$ м, $R_c = 0,326 \cdot 10^{-6} \text{ год}^2/\text{м}^5$ отримані залежності набудуть вигляду кривих, представлених на рис. 2.

На рис. 2 позначення Q_2-Q , $v-Q$ та $\eta-Q$ при $n=0$ вказують відповідно на залежності продуктивності, відносної швидкості обертання та ККД регульованого НА від потрібного значення продуктивності станції при тому, що він один працює на МВ.

Від’ємні значення ККД представлені для оцінки ефективності роботи регульованого НА. При роботі насоса в області від’ємного ККД рідина рухається в протилежному до нагнітання напрямі, і сам насос при цьому працює як споживач. У системі електропривода НА, обладнаного зворотним клапаном, ро-

бота насоса з від'ємним ККД вказує на те, що приводний двигун споживає з електричної мережі потужність, але не віддає її у МВ.

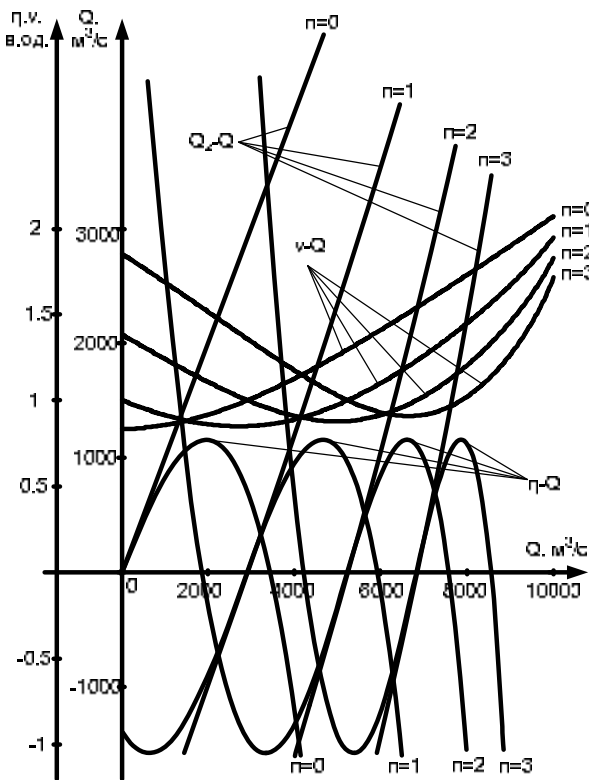


Рисунок 2 – Характеристики регульованого по частоті обертання НА при сумісній роботі з іншими нерегульованими та МВ

З графіка характеристики регульованого по частоті обертання НА при сумісній роботі з іншими нерегульованими та МВ можна сказати про три принципи керування, відповідно до першого з яких зміна кількості працюючих НА відбувається при рівності ККД. Характер зміни продуктивності $Q_2(n, Q)$ та відносної швидкості обертання $v(n, Q)$ при цьому представлено на рис. 3, а). З рисунку видно, що фактично в усіх варіантах кількості нерегульованих НА пода-

ча регульованого в момент перемикання становить вище 3000 м³/год, що в 1,5 рази більше за номінальну величину. Відносна швидкість обертання при цьому змінюється в межах 0,82±1.

За другим принципом керування зміна кількості працюючих НА відбувається при досягненні НА номінального значення швидкості. Характер зміни продуктивності та ККД $\eta(n, Q)$ при цьому представлено на рис. 3, б). З рисунку видно, що в усіх варіантах кількості нерегульованих НА подача регульованого менша за 3000 м³/год, а при кількості нерегульованих НА рівній трьом – становить номінальне значення продуктивності. Відносна швидкість обертання при цьому змінюється в межах 0,82±1.

Відповідно до третього принципу керування зміна кількості працюючих НА відбувається при досягненні НА номінального значення продуктивності. Характер зміни відносної швидкості обертання та ККД при цьому представлено на рис. 3, в). Відносна швидкість обертання змінюється як і в попередньому випадку в межах 0,82±1, але ККД в моменти перемикання набуває негативного значення.

Підсумовуючи наведені принципи керування, слід сказати, що усіх перелічених варіантах забезпечується сумісна робота НА, але з точки зору області допустимих відхилень найбільш прийнятним буде випадок регулювання НА по продуктивності. При цьому об'єм подачі НА рідини та його швидкість обертання не перевищують номінальне значення, але в роботі НА присутні ділянки, на яких він працює як навантаження, протидіючи подачі рідини в МВ, зменшуючи тим самим ефективність сумісної роботи.

З точки зору економічності роботи групи НА слід виділити варіант, коли регулювання відбувається по ККД. В цьому випадку НА працює з найбільшим значенням гідравлічного ККД, незначним перевищенням по швидкості обертання та суттєвим перевищенням по продуктивності. Такий режим роботи вкрай несприятливий в плані завчасного вичерпання ресурсу насоса та завчасного виходу його з ладу.

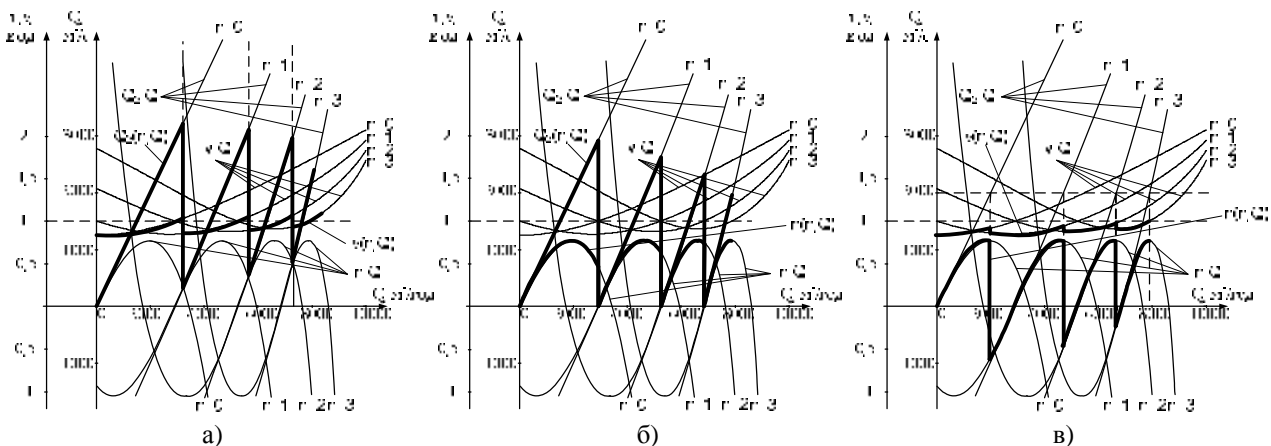


Рисунок 3 – Характеристики регульованого НА при керуванні по ККД (а), відносній швидкості обертання (б) та продуктивності (в)

Проміжне місце між двома переліченими випадками займає принцип керування по швидкості обертання. Подача тут в моменти перемикання також перевищує номінальне значення, але не на стільки як у варіанті регулювання по ККД. ККД НА змінюється в межах від 0 до номінального значення, насос постійно працює як нагнітач, збільшуючи продуктивність станції.

Таким чином, при формуванні законів ефективного керування НА моментами для переходу до іншої кількості паралельно працюючих насосів будуть моменти рівності швидкості обертання робочого органу регульованого НА номінальному значенню. Для забезпечення ефективної сумісної роботи насосів потрібно мати можливість введення в роботу або виведення з роботи в будь-який момент часу того чи іншого НА, один перетворювач частоти та сенсор швидкості обертання робочого органу регульованого НА.

Ввімкнення або вимкнення з роботи того чи іншого НА, зумовлене відповідно збільшенням чи зменшенням потрібного значення продуктивності, може відбуватися при забезпеченні рівномірного вичерпання ресурсу насосного обладнання (див. [5]).

Висновки. В роботі запропоновано спосіб підвищення ефективності керування НА станції водопостачання, який базується на забезпеченні ефективної роботи насосів при використанні певного принципу керування. Ефективність роботи насосів забезпечується певним характером зміни відносної швидкості обертання регульованого НА. Кількість нерегульованих НА змінюється залежно від потрібного значення продуктивності станції та ресурсу обладнання.

Отримано аналітичну залежність ККД НА від його продуктивності, яка точно відповідає паспортним даним насоса і з певним наближенням дозволяє спрогнозувати значення ККД насоса поза робочою частиною його характеристики.

Розглянуто три принципи керування, відповідно до яких кількість нерегульованих НА може змінюватися залежно від ККД, відносної швидкості обертання чи продуктивності регульованого НА. Отримані результати показують, що при зміні кількості нерегульованих НА в моменти досягнення регульованим номінального значення продуктивності, останній працює в області від'ємного ККД, що зменшує ККД всієї системи водопостачання, а відповідно і ефективність роботи станції. При зміні кількості нерегульованих НА в моменти рівності ККД

зменшується надійність роботи регульованого НА та скорочується гарантований термін експлуатації. Як найбільш прийнятний запропоновано принцип керування нерегульованими НА, відповідно до якого їх кількість змінюється залежно від відносної швидкості обертання регульованого. Його сприятливість з поміж інших можна пояснити меншим перевищенням продуктивності агрегату порівняно з запропонованим першим варіантом (див. рис. 3а)) та кращу ефективність (ККД) порівняно з третім (див. рис. 3в)). Крім того вказаний принцип регулювання порівняно простий у реалізації, оскільки потребує установку лише сенсора швидкості на регульований НА і придатний для реалізації в якості надбудови на старі системи подачі рідини в МВ.

Отримані результати можуть бути застосовані до НС, яка складається з будь-яких НА на відцентрових насосах з пологими характеристиками та працює на довільну МВ. Запропонований підхід дозволяє отримати подібні результати для НС з довільною кількістю НА.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
2. Поляков В. В., Скворцов Л. С. Насосы и вентиляторы: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1990. – 336 с.
3. Искендеров А. А. Задачи выбора оптимальных режимов работы НС // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – №5. – С. 62-64.
4. Мошноріз М. М., Горячев Г. В. Оптимізація режимів роботи насосної станції водопостачання // Тези доповідей "Всеукраїнської конференції молодих вчених". Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації. – Кременчук.– 2006. – С.35.
5. Грабко В. В., Мошноріз М. М. Вдосконалення роботи насосної станції водопостачання // Вісник ВПІ. – Вінниця: ВНТУ, 2006.– №6.– С. 138-141.
6. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1986.– 320 с.
7. 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.

Стаття надійшла 9.04.2008 р.