

УДК 621.313

В. В. Грабко, д. т. н., проф.;

М. М. Мошноріз, асп.

ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Розглянуто задачу економії енергоресурсів. Метою роботи є вибір найбільш оптимального режиму роботи насосної станції водопостачання. Завдання роботи полягає у знаходженні робочих характеристик кожного насосного агрегату при оптимальному споживанні станцією електроенергії та забезпеченні потреб міста у воді. Оптимізація виконується з використанням методів математичного програмування лінійного та нелінійного типів.

Останнім часом, у зв'язку зі збільшенням вартості енергоресурсів все помітнішою стає тенденція до зростання вартості електроенергії (ЕЕ). Ця обставина, а також висока енергоємність насосного обладнання (близько 60 % споживаної електроприводом ЕЕ) визначає необхідність застосування до нього «найбільш технічно і економічно доцільних систем електроприводу, що дозволяють не тільки підвищити якість технологічного процесу, але і зменшити споживання електричної енергії» [1].

Обладнання більшості насосних станцій (НС) розраховане на максимальні значення їх продуктивностей, а тому у випадках зменшення споживання працює з низькими значеннями коефіцієнта корисної дії (ККД); значна кількість НС неоснащені регульованим електроприводом, а тому єдиними способами регулювання їх продуктивності є регулювання засувками та ввімкненням або вимкненням насосів, що є економічно не вигідним, оскільки призводить до втрат близько 30 % спожитої енергії [2]. Крім того такі способи регулювання призводять до завчасного виходу з ладу насосного обладнання. Таким чином, вибір продуктивностей насосних агрегатів (НА) станції, при яких забезпечується потрібне значення її подачі та мінімальне споживання ЕЕ, є перспективним енергозберігаючим заходом з урахуванням цін, що постійно зростають на ЕЕ і воду, та дозволяє досягти економії ЕЕ — 30 % і води — 20 % [2].

У роботі, виходячи з вимог економії ЕЕ та забезпечення потреб міста у воді, обирається найоптимальніший режим роботи станції. При цьому розглядаються 3 задачі:

Задача визначення оптимального співвідношення числа НА для забезпечення заданих витрат НС, яка має n насосів із сталими продуктивностями.

Задача оптимізації режиму роботи НС із змінними продуктивностями всіх насосів.

Задача оптимізації режиму роботи НС з регулюванням продуктивності певної кількості НА при сталій продуктивності інших.

Відомий підхід [3] до розв'язання подібних задач, коли за критерій оптимізації обирають кількість ЕЕ, яка споживається НС. При цьому розглядається векторна задача оптимізації, цільова функція якої враховує кількість спожитої ЕЕ кожним НА при номінальній подачі, величину втрат на забезпечення подачі меншої за номінальну та втрати потужності, зумовлені тривалим терміном експлуатації обладнання. Із недоліків вказаного методу слід назвати такі: не завжди можливо забезпечити точне значення потрібної подачі, не враховуються втрати, зумовлені електричним старінням обмоток приводних двигунів при виконанні чергового пуску, неможливість застосування запропонованого підходу до НА станції з плавним регулюванням продуктивності останніх.

Позначимо продуктивності насосів q_1, q_2, \dots, q_n , м³/год, а ЕЕ, що споживається кожним насосом, відповідно c_1, c_2, \dots, c_n . Введемо змінні x_1, x_2, \dots, x_n , які визначають продуктивність кожного НА у відносних одиницях від його номінальної продуктивності. Нехай t_i — відпрацьований час безперервної роботи i -го НА і $Z_{\text{мех}}$ — механічний знос i -го НА при роботі протягом одиничного проміжку часу [3].

Враховуючи введені позначення витрати ЕЕ на роботу i -го НА за одиницю часу становитимуть

$$C_i = c_i x_i, \quad (1)$$

а його подача за цей час

$$Q_{i_{\text{реал}}} = q_i x_i. \quad (2)$$

Втрати ЕЕ, зумовлені механічним зношенням i -ї насосної установки

$$C_{i_{\text{мех}}} = Z_{\text{мех}} t_i. \quad (3)$$

В більшості систем забезпечення водою використовують потужні НА, які мають рекомендований термін експлуатації та на які накладаються технологічні обмеження на частоту зміни режимів. Тому цільову функцію оптимізації, в якій враховується кількість спожитої ЕЕ кожним НА при номінальній подачі, величина втрат на забезпечення подачі меншої за номінальну та втрати потужності, зумовлені тривалим терміном експлуатації обладнання [3], доповнимо складовою, яка дозволяє врахувати кількість реалізованих кожним приводним двигуном пусків.

Позначимо $N_{n,i}$ — кількість реалізованих i -м двигуном пусків, а $Z_{\text{ел}}$ — електричне зношення ізоляції обмоток, контактних з'єднань i -го двигуна за один пуск. Тоді втрати ЕЕ, зумовлені старінням обмоток електричного двигуна насосної установки,

$$C_{i_{\text{ел}}} = Z_{\text{ел}} N_{n,i}. \quad (4)$$

Перша задача зводиться до пошуку таких послідовностей чисел x_i , $i = \overline{1, n}$, щоб загальні затрати енергії НС за одиницю часу були мінімальними:

$$C = \sum_{i=1}^n (c_i q_i + Z_{\text{мех}} t_i + Z_{\text{ел}} N_{n,i}) x_i \rightarrow \min \quad (5)$$

і задовольнялись обмеження:

1) на забезпечення витрат НС, обумовлених графіком водоспоживання

$$\sum_{i=1}^n q_i x_i \geq Q_{\text{потр}}, \quad (6)$$

2) на змінні x_i

$$x_i = 0 \vee 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

де при $x_i = 1$ НА працює на повну потужність, а при $x_i = 0$ — вимкнений.

В результаті розв'язання задачі, яка описується формулами (5), (6), (7), визначаються номери вимкнених в роботу насосів, які забезпечують потрібну подачу $Q_{\text{потр}}$.

Оскільки продуктивності насосів постійні, то, розв'язавши вказану задачу, не завжди можливо забезпечити точне значення витрат $Q_{\text{потр}}$. Реальне значення подачі може бути як більшим (недовантаження НА) так і меншим за потрібне (перевантаження НА). Відомо, що недовантаження двигуна насоса зменшує його $\cos \varphi$ та ККД, а перевантаження — ККД станції. Все це призводить до витрат енергії та скорочення терміну служби обладнання. Тому розробляються регулятори, які дозволяють змінювати подачу насосів.

Розглянемо задачу оптимізації режиму роботи НС при можливості регулювання продуктивності кожного НА.

Позначимо c'_i — додаткові витрати ЕЕ, пов'язані з відхиленням подачі насоса від її номінального значення $q_i^{\text{НОМ}}$, $i = \overline{1, n}$. З урахуванням цих позначень задачу оптимізації режиму роботи НС можна сформулювати таким чином: потрібно знайти такі подачі насосів q_i , $i = \overline{1, n}$, щоб загальні витрати ЕЕ зводились до мінімуму,

$$C = \sum_{i=1}^n (c_i q_i + c'_i |q_i^{\text{НОМ}} - q_i| + Z_{\text{мех}} t_i + Z_{\text{ел}} N_{n,i}) x_i \rightarrow \min \quad (8)$$

і виконувались обмеження:

1) на забезпечення витрат НС, обумовлених графіком водоспоживання

$$\sum_{i=1}^n q_i x_i = Q_{\text{потр}}, \tag{9}$$

2) на змінні x_i

$$0 \leq x_i \leq 1, \quad i = \overline{1, n}. \tag{10}$$

В результаті розв’язання задачі, яка описується формулами (8), (9), (10), визначаються продуктивності ввімкнених в роботу насосів, які забезпечують потрібну подачу $Q_{\text{потр}}$.

Можливість регулювання подачі кожного з НА передбачає установа на кожному з них перетворювального пристрою. Останні можуть мати досить високу вартість для великих потужностей перетворення і, крім того, в деяких випадках (наприклад, регулювання продуктивності засуваюкою в напірному трубопроводі) призводити до додаткових затрат енергії та завчасних поломок насосного устаткування. Тому розглядається задача оптимізації режиму роботи НС, в якій регулюється продуктивність певної кількості НА при сталій продуктивності інших. При цьому цільова функція

$$C = \sum_{i=1}^k \left(c_i q_i + c'_i \left| q_i^{\text{НОМ}} - q_i \right| + Z_{\text{мех}} t_i + Z_{\text{ел}} N_{\Pi_i} \right) x_i + \sum_{i=k}^{n-k} \left(c_i q_i + Z_{\text{мех}} t_i + Z_{\text{ел}} N_{\Pi_i} \right) x_i \rightarrow \min, \tag{11}$$

де k — кількість НА зі змінною продуктивністю.

Задача зводиться до пошуку таких послідовностей чисел $x_i, i = \overline{1, n}$ та k , щоб виконувалась умова (11) і задовольнялись обмеження:

на забезпечення витрат НС, обумовлених графіком водоспоживання

$$\sum_{i=1}^k q_i x_i + \sum_{i=k}^{n-k} q_i x_i = Q_{\text{потр}}; \tag{12}$$

на змінні $x_i, i = \overline{1, k}$

$$0 \leq x_k \leq 1; \tag{13}$$

на змінні $x_i, i = \overline{k, n}$

$$x_i = 0 \vee 1. \tag{14}$$

В результаті розв’язання задачі, яка описується формулами (12), (13), (14), визначаються номери та продуктивності ввімкнених в роботу насосів, які забезпечують потрібну подачу $Q_{\text{потр}}$.

На рис. 1 показано сумарне добове споживання ЕЕ НС при різних режимах роботи.

З врахуванням вартості перетворювальних пристроїв, необхідних для кожного режиму роботи,

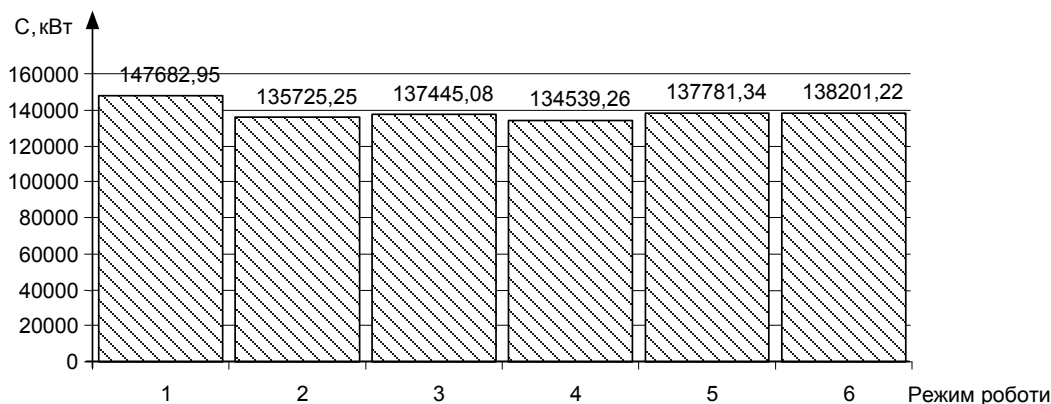


Рис. 1. Сумарне добове споживання станцією ЕЕ при номінальній продуктивності всіх НА (1); змінній продуктивності всіх НА (2); змінній продуктивності одного НА (3); змінній продуктивності двох НА (4); змінній продуктивності трьох НА (5); змінній продуктивності чотирьох НА (6)

сумарні річні затрати для аналогічних режимів роботи показано на рис. 2.

Таким чином, з точки зору затрат ЕЕ при різних режимах роботи вигіднішим є регулювання продуктивності двох НА (див. рис. 1). Однак, це призводить до збільшення капітальних затрат на забезпечення регулювання та, в деяких випадках, до завчасного виходу з ладу насосного устаткування. З урахуванням вартості додаткового обладнання (з розрахунку 100 у. од/1кВт потужності) вигіднішим стає регулювання продуктивності одного НА (див. рис. 2).

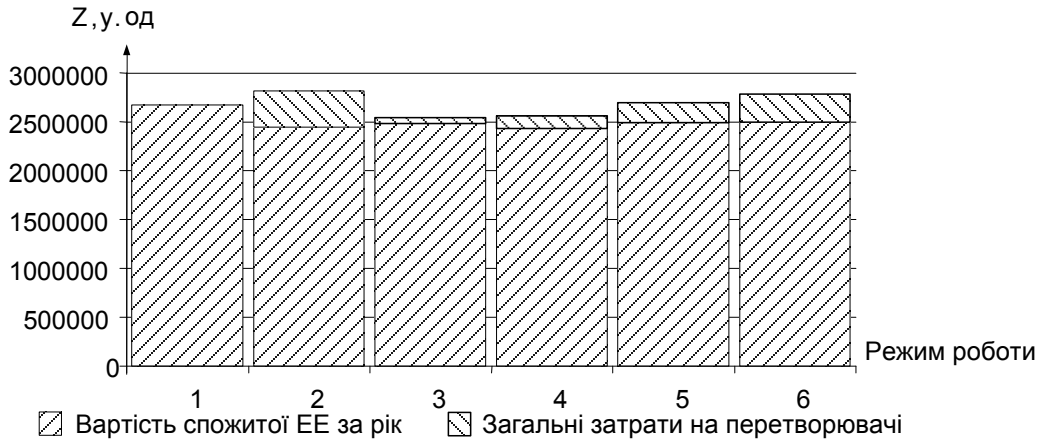


Рис. 2. Сумарні річні затрати

Розрахунки показали, що термін окупності обладнання для розглянутих режимів роботи НС змінюється в межах від 4 до 20 місяців.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коренькова Т. В. Рациональный электропривод насосных станций городского водоснабжения: Дис...канд. техн. наук: 05.09.03 К., 2001.
2. Гриценко К. Г. Способ решения задачи реконструкции электроприводов насосов насосной станции с использованием имитационной модели // Проблемы створення нових машин і технологій: Зб. наук. пр. КДПІ. Вип. 2. — Кременчук: КДПІ. — 2000. — С. 10—16.
3. Искендеров А. А. Задачи выбора оптимальных режимов работы НС // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2004. — № 5. — С. 62—64.

Грабо Володимир Віталійович — завідувач кафедри; **Мошноріз Микола Миколайович** — аспірант.

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