

## АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ГРУПОЮ ПАРАЛЕЛЬНО ПРАЦЮЮЧИХ НАСОСІВ СТАНЦІЇ ВОДОПОСТАЧАННЯ

*М. М. Мошноріз, к.т.н., доц.*

*Вінницький національний технічний університет*

*Хмельницьке шосе, 95, 21021, м. Вінниця, Україна*

*E-mail: moshnoriz@rambler.ru*

Розглядається питання підвищення надійності та економічності роботи системи водопостачання за рахунок вибору оптимальної комбінації увімкнених насосних агрегатів для забезпечення потрібного значення продуктивності та врахування при запуску насосного агрегату особливостей прямого пуску двигунів середньої та великої потужностей.

**Ключові слова:** насосний агрегат, паралельна робота насосів, прямий пуск двигуна, електропривод, допустима кількість пусків, інтервал між пусками.

**Вступ.** Насосна станція (НС) водопостачання потужного об'єкту виконується, зазвичай, у вигляді паралельно увімкнених насосних агрегатів (НА), які працюють на одну мережу водопостачання. Потреби споживача, які повинна забезпечувати станція, змінюються на протязі доби, тижня, місяця, року. Для регулювання продуктивності насосної станції використовуються різні способи, серед яких практично завжди вдаються до увімкнення чи вимкнення певної кількості насосів. Перед інженерами та науковцями завжди постає задача визначення, який же з насосів потрібно увімкнути, а який вимкнути в той чи інший момент часу. Адже насоси, так як і їх приводні двигуни, мають свій ресурс безвідмовної роботи, можливо, різні умови експлуатації та енергоспоживання.

До потужних електричних двигунів заводами-виробниками висуваються жорсткі технологічні обмеження на кількість реалізованих прямих пусків та допустимі інтервали між пусками. Якщо під час прямого запуску насосного агрегату не враховувати цієї особливості, то це може призвести до аварії насосного агрегату і, у разі невчасного введення резерву, до порушення водопостачання об'єкта.

Як задачі комбінаторики, так і питання діагностики двигунів розглядалися у роботах [1–4], але відсутні напрацювання, які б системно підходили до вирішення цих двох особливостей.

**Аналіз попередніх досліджень.** У роботі [1] розглядається питання визначення оптимального режиму роботи НС. Продуктивність станції можна забезпечити комбінаціями увімкнених насосів. При цьому одну й ту ж саму подачу рідини можуть виконувати різні комбінації насосів. Також у [1] розглядається питання забезпечення потрібного значення продуктивності насосної станції при можливості регулювання продуктивності насосного агрегату. При цьому відхилення подачі від номінального значення враховується додатковими затратами енергії. При виборі оптимальної кількості працюючих агрегатів запропоновано також враховувати тривалість напрацьованого ресурсу. Обмеженням цього підходу є неврахування сумісної роботи насосів, при якій подача кожного з них визначається режимом роботи сумісно працюючих машин. Крім того, важко застосувати запропоновані підходи до частотно-регульованих приводів, оскільки зменшення проду-

ктивності насоса у такий спосіб призводить до економії енергії, а не до її додаткових затрат.

Визначаючи число регульованих насосів, слід врахувати, що зменшення швидкості обертання одного з насосів може спричинити перевантаження нерегульованих насосів, вивести робочі точки нерегульованих насосів за межі робочої зони, зменшити ККД і в особливо несприятливих умовах викликати кавітацію. У такому разі регульований електропривод повинен бути встановлений на всіх НА, а зміна частоти обертання паралельно працюючих насосів повинна відбуватися однаково для усіх двигунів. Синхронна зміна частоти обертання забезпечується керуванням всіх насосів від загальної системи автоматичного керування [2]. У випадку, коли на НС встановлені регульовані й нерегульовані електроприводи, при керуванні ними необхідно передбачати зміну частоти обертання не лише регульованих НА, а й зміну кількості працюючих нерегульованих агрегатів. При цьому увімкнення чи вимкнення нерегульованих двигунів повинно відбуватися завчасно, до того, як подача регульованого НА зменшиться до нульового значення, щоб виключити роботу насоса в зоні низьких коефіцієнтів корисної дії [2]. При виборі насоса або групи насосів, які вмикаються в роботу, необхідно враховувати значення та характер зміни продуктивностей, тривалість роботи установки з тою чи іншою продуктивністю, забезпечуючи при цьому мінімальне число ввімкнень чи вимкнень [2]. Відповідно до [2], для регульованих НА, які працюють у групі паралельно і мають різні характеристики, необхідно розподілити навантаження між ними та визначити області їх використання при ефективній роботі. Всі названі особливості роботи насосних агрегатів лягли в основу алгоритму роботи системи керування, який пропонується у статті.

У роботі [3] запропоновано методи визначення оптимальних параметрів насосних агрегатів при мінімізації енергозатрат. Запропоновані методи апробовані на розроблених математичних моделях і підтверджені експериментальними даними. При визначенні законів керування насосними агрегатами враховувалися їх характеристики, мережа водопостачання, можливість виникнення кавітації та помпажу. Але у роботі не розглядається питання обмеженої кількості пусків насосних агрегатів середньої і великої потужностей.

У роботі [4] подано теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового питання щодо зменшення споживання електричної енергії двигунами паралельно працюючих насосів станції водопостачання при забезпеченні змінних протягом доби потреб споживача у воді та врахуванні обмежень на прямий пуск двигунів середньої й великої потужностей. У роботі відсутні підходи до узагальнення отриманих результатів у одній математичній моделі, одному пристрої.

**Мета роботи.** Підвищення надійності роботи системи керування групою паралельно працюючих насосних агрегатів за рахунок врахування наявного ресурсу двигунів насосів та особливостей їх пуску.

**Матеріал і результати дослідження.** Відомий метод оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання [4]. "Він об'єднує кілька підходів, а саме: вибір в якості способу регулювання продуктивності групи паралельно працюючих насосів зміну їх кількості з регулюванням швидкості обертання одного з них; підхід до визначення комбінацій увімкнених насосних агрегатів з точки зору мінімального споживання двигунами електричної енергії, тривалості безперервної роботи та кількості реалізованих двигунами прямих пусків; підхід до забезпечення плавного регулювання продуктивності групи насосів шляхом зміни швидкості обертання двигуна регульованого насосного агрегату за певним законом; підхід до визначення моментів зміни кількості працюючих насосів" [1].

Суть методу оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання полягає у послідовному виконанні таких етапів:

1. В якості регульованого обирається один насосний агрегат меншої потужності [4]. Регулювання відбувається зміною частоти та напруги живлення двигуна за квадратичним законом.

2. З мінімізації цільової функції, що представлена нижче, визначається кількість працюючих насосів, яка забезпечує не менше ніж потрібне значення продуктивності насосної станції:

$$c = \sum_{i=1}^n (c_i + c'_i |Q_i^{\text{ном}} - Q_i| + Z_{\text{ел}} t_i + Z_{\text{ел}} N_{\text{п}i}) x_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $c_i$  – енергоспоживання  $i$ -го насосного агрегату;  $t_i$  – час безперервної роботи  $i$ -го насоса;  $Z_{\text{мех},i}$  – механічний знос  $i$ -го насоса при роботі протягом одиничного проміжку часу (1 год.);  $Z_{\text{ел},i}$  – електричний знос ізоляції обмоток, контактних з'єднань  $i$ -го двигуна за один пуск;  $N_{\text{п}}$  – кількість реалізованих двигуном пусків за період експлуатації;  $c'_i$  – додаткові витрати потужності, пов'язані відхиленням подачі насоса від її номінального значення  $Q_i^{\text{ном}}$ ;  $i=1, n$  – кількість паралельно працюючих насосів. У результаті оптимізації цільової функції знаходять комбінації змінних  $x$ . Якщо  $x_i$  дорівнює одиниці, то  $i$ -тий насосний агрегат у даний момент увімкнений, якщо ж дорівнює нулю, то вимкнений.

3. Перевіряється умова, чи не вмикається двигун кожного насосного агрегату на короткий проміжок часу (1 година) і потім вмикається. Якщо умова не виконується, то потрібно ще раз виконати оптимізацію цільової функції з накладенням на неї обмеження про те, що конкретний двигун у цю годину буде вимкнутим ( $x_i = 0$ ).

4. Розв'язавши систему рівнянь, що описує сумісну роботу насосних агрегатів, знаходимо функ-

цію зміни продуктивності  $Q_3$  та швидкості обертання  $v$  регульованого насосного агрегату від загального значення продуктивності  $Q$  та кількості працюючих насосів одного типу  $m$  та іншого типу  $n$ :

$$\begin{cases} H = k_{y1}^2 A_1 + B_1 k_{y1} Q_1 + C_1 Q_1^2; \\ H = k_{y2}^2 A_2 + B_2 k_{y2} Q_2 + C_2 Q_2^2; \\ H = A_2 v^2 + B_2 v Q_3 + C_2 Q_3^2; \\ H = H_c + R_c Q^2; \\ Q = m Q_1 + n Q_2 + Q_3. \end{cases} \quad (2)$$

При цьому враховується сумісна робота двох типів насосів, один з яких регульований. Коефіцієнти  $k_{y1}$  та  $k_{y2}$  враховують розбіжності в номінальних швидкостях насоса та приводного двигуна.

5. З умови рівності продуктивності регульованого НА нулю визначаються порогові значення сумарної продуктивності станції  $Q_{\text{step}}$ , при яких доцільно переходити на іншу кількість працюючих насосів.

6. У результаті можна отримати функції керування швидкістю обертання регульованого насосного агрегату в залежності від сумарного значення продуктивності станції.

$$v(Q, m, n) =$$

$$= \begin{cases} v(Q, 0, 0) \text{ при } Q_{\text{step}}(Q, 0, 0) \leq Q < Q_{\text{step}}(Q, 1, 0); \\ v(Q, 1, 0) \text{ при } Q_{\text{step}}(Q, 1, 0) \leq Q < Q_{\text{step}}(Q, 2, 0); \\ v(Q, 2, 0) \text{ при } Q_{\text{step}}(Q, 2, 0) \leq Q < Q_{\text{step}}(Q, 3, 0); \\ v(Q, 3, 0) \text{ при } Q_{\text{step}}(Q, 3, 0) \leq Q. \end{cases}$$

7. Перед запуском кожного нерегульованого насосного агрегату потрібно перевірити, чи не вичерпав він свій ресурс безвідмовної роботи та чи дозволяє температура його обмоток запуск [5]. У роботі [4] запропоновано математичну модель, за якою може виконуватися перевірка ресурсу двигуна по кількості та умовах прямого пуску. Названа математична модель представлена виразом (3) і містить такі позначення:  $T_h$  – інтервал між пусками з холодного стану;  $t_{n-1}$  – час попереднього запуску;  $t_n$  – поточне значення часу;  $t_{n+1}$  – час наступного запуску;  $T_g$  – інтервал між пусками з гарячого стану;  $T_g$  – астрономічний час;  $N_g$  – допустима кількість пусків з гарячого стану;  $N_h$  – допустима кількість пусків з холодного стану. Для підрахунку кількості пусків з гарячого та холодного станів також використано проміжні змінні відповідно  $g$  та  $h$ .

$$\begin{cases} n \leq N; \\ U_1 \geq 0,8 U_n; \\ c \leq C_{\text{пр}}; \\ \text{Якщо } c \leq 1,03 C_0 \text{ та } \begin{cases} \text{Якщо } t_n - t_{n-1} \geq T_g, \text{ то } \begin{cases} t_{n+1} = t; \\ h = 0; \\ g = 0; \end{cases} \\ \text{Якщо } \begin{cases} T_h \leq t_n - t_{n-1} < T_g, \\ h \leq N_h, \end{cases} \text{ то } \begin{cases} t_{n+1} = t; \\ h = h + 1; \end{cases} \end{cases} \\ \text{Якщо } t_n - t_{n-1} \leq T_h, \text{ то } t_{n+1} = t + T_h; \\ \text{Якщо } \begin{cases} c > 1,03 C_0, \\ g \leq N_g, \end{cases} \text{ то } \begin{cases} t_{n+1} = t; \\ g = g + 1. \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

Перша нерівність системи враховує обмеження на загальну допустиму кількість прямих пусків двигуна чи то за день, чи за рік, чи за термін експлуатації. Друга та третя нерівності – обмеження на напругу живлення двигуна та температуру його статорної обмотки. При виконанні умови четвертої нерівності, коли двигун знаходиться в холодному стані, перевіряється час між поточним станом та попереднім пуском. Якщо він більший за  $T_g$ , то в якості часу наступного запуску назначається поточний час і в цей момент видається команда на запуск двигуна. Якщо ж знаходиться в межах між  $T_h$  та  $T_g$ , то двигун також запускається, але цей запуск вже рахується як перший з холодного стану. Якщо час між поточним станом та попереднім пуском менший за  $T_h$ , то команда на запуск двигуна подається після проходження часу  $T_h$ . Останньою умовою системи (4.1) забезпечується подання команди на запуск двигуна з гарячого стану допустиму кількість разів.

8. Якщо ресурс та температура двигуна дозволяють запуск, то визначається температурний стан двигуна. Якщо температурний стан двигуна визнано як "холодний", то подається команда на запуск двигуна. Якщо ж названий стан "гарячий", то здійснюється витримка часу між пусками з гарячого стану і лише тоді подається команда на запуск двигуна. При зриві повторного пуску двигуна з гарячого стану він вимикається від мережі і блокується можливість подальшого пуску, поки він не охолоне до температури навколишнього середовища.

9. Під час запуску виконується контроль температури обмоток двигуна та його напруги живлення. Якщо один з цих параметрів не відповідає допустимому значенню, то дається команда "Відбій" і двигун вимикається з мережі.

Спрощена версія всієї системи керування насосними агрегатами зображена на рис. 1.

На рис. 1 пронумеровано:

1, 2, 4, 20, 14, 23, 25, 28, 30, 33, 35, 42 – службові операції ініціалізації, початку-закінчення алгоритму та процедури введення-виведення інформації;

3–6 – частина алгоритму, яка відповідає за знаходження залежності продуктивності та швидкості обертання регульованого насосного агрегату від потрібного значення продуктивності та кількості увімкнених насосів;

7–8 – частина алгоритму, яка розраховує можливі комбінації увімкнених насосних агрегатів для забезпечення всіх можливих значень продуктивності з графіка водопостачання;

9–13 – частина алгоритму, яка формує закони керування регульованим агрегатом та визначає порогові значення продуктивності насосної станції, при яких потрібно змінювати комбінацію увімкнених насосів;

14–22 – частина алгоритму, яка забезпечує поєднання законів керування регульованим агрегатом при зміні комбінації увімкнених насосів;

23–27 – частина алгоритму, яка забезпечує контроль температури, напруги та кількості реалізованих прямих пусків двигуна одного насоса;

28–29 – частина алгоритму, яка визначає температурний стан двигуна ("холодний" чи "гарячий");

30–41 – частина алгоритму, яка забезпечує видачу команди на запуск двигуна з холодного чи гарячого стану.

Побудований алгоритм придатний для управління лише одним двигуном. Для контролю кількості та умов прямого пуску всіх двигунів насосної станції до запропонованого алгоритму необхідно додати частини 23–41 для кожного двигуна окремо. При цьому з виходу блоку 20 використовуватимуться всі сигнали  $x_1$ – $x_5$  як вихідні сигнали дозволу пуску відповідної частини алгоритму.

Для випадку зриву прямого пуску двигуна та неможливості його швидкого запуску виконується перерахунок оптимальної комбінації увімкнених насосних агрегатів з урахуванням того, що певний двигун не працює (блоки 34–36).

**Висновки.** Розроблений алгоритм роботи системи керування групою паралельно працюючих насосних агрегатів дозволяє отримати закони керування ними при врахуванні можливості сумісної роботи насосів з мережею водопостачання та наявного ресурсу двигунів по кількості та умовах прямого пуску; він може бути закладений в основу роботи мікропроцесорного пристрою. Це все дозволить виявити або попередити виникнення аварійної ситуації та відразу відреагувати на неї, запропонувавши нову комбінацію та закони керування увімкненими насосними агрегатами.

Серед обмежень запропонованого алгоритму слід назвати наступне: передбачена можливість роботи у групі лише трьох типів насосів, один з яких оснащується регульованим електроприводом; під час виведення законів керування регульованим насосним агрегатом необхідно виконувати складні математичні розрахунки, які потребують потужної мікропроцесорної бази та складних програм для її роботи.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Искендеров А.А. Задачи выбора оптимальных режимов работы НС // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 5. – С. 62–64.
2. Лезнов Б. С. Экономия электроэнергии в насосных установках. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
3. Николаев В.Г. Энергосберегающие способы выбора параметров и оптимизации управления группой лопастных нагнетателей в нестационарных технологических процессах: автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук: спец. 03.00.23 "Биотехнология". – ОАО "Российский научно-исследовательский и проектный институт агропромышленного комплекса". – Щелково, 2008. – 49 с.
4. Мошнориз М.М. Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання: Дис. канд. техн. наук: 05.09.03. – Вінниця: ВНТУ, 2001. – 139 с.
5. Асинхронные двигатели серии 4А: [Справочник] / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.

Стаття надійшла 06.06.2011 р.  
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.  
Кореньковою Т.В.

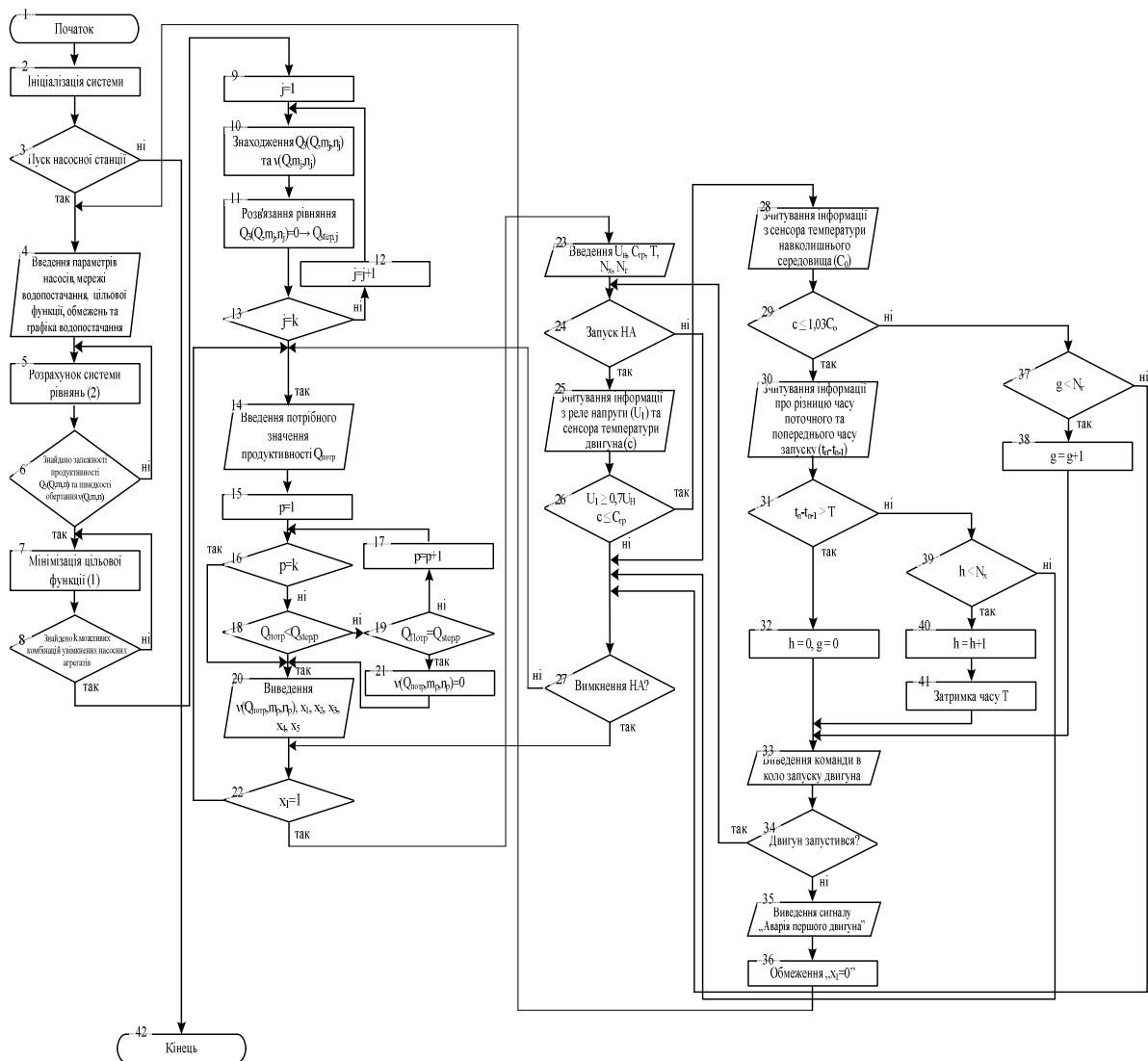


Рисунок 1 – Алгоритм роботи системи керування групою паралельно працюючих насосів

## АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУПОЙ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ НАСОСОВ СТАНЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**Н. Н. Мошнориз, к.т.н., доц.**  
**Вінницький національний технічний університет**  
 Хмельницькое шосе, 95, 21021, г. Винница, Украина  
 E-mail: moshnoriz@rambler.ru

Рассматривается вопрос повышения надежности и экономичности работы системы водоснабжения за счет выбора оптимальной комбинации включенных насосных агрегатов для обеспечения нужного значения производительности и учета особенностей прямого пуска двигателей средней и большой мощности при запуске насосного агрегата.

**Ключевые слова:** насосный агрегат, параллельная работа насосов, прямой пуск двигателя, электропривод, допустимое количество пусков, интервал между пусками.

## ALGORITHM OF WORK OF SYSTEM MANAGEMENT BY GROUP PUMPS OF THE STATION OF WATER-SUPPLY

**M. Moshnoriz, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof.**  
**Vinnitsa National Technical University**  
 Khmelnytske Shose, 95, 21021, Vinnitsa, Ukraine  
 E-mail: moshnoriz@rambler.ru

The question of increase of reliability and economy of work of the water system is examined due to the choice of optimal combination of the included pumping aggregates for providing of necessary value of the productivity and account at the start of pumping aggregate features of the direct starting of engines of middle and large powers.

**Key words:** pumping aggregate, parallel work of pumps, direct starting of engine, electromechanic, possible amount of starting, interval between starting.