

УДК 62-83: 628.12

ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІНТЕРАКТИВНОГО КЕРУВАННЯ В НАСОСНИХ УСТАНОВКАХ

О. Ф. Соколовський

Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова Національного авіаційного університету
просп. Миру, 22, м. Житомир, 10004, Україна. E-mail: of@ukr.net

Інтерактивна електромеханічна система автоматизації багатоагрегатних насосних установок зменшує споживання електричної енергії порівняно з поширеними системами стабілізації напору. Сигнал на виході інтерактивного регулятора формується в результаті порівняння значень технологічних параметрів на поточному та попередньому кроках квантування. Напрямок зміни частоти обертання регульованого електроприводу залежить від гідравлічного опору мережі на попередньому кроці квантування. Досліджено вплив гідравлічного опору на реакцію електромеханічної системи при послідовному та паралельному з'єднанні агрегатів. Одержано аналітичний вираз граничного опору, за якого швидкість регульованого електроприводу залишається сталою.

Ключові слова: інтерактивний регулятор, енергозбереження, математична модель.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СВОЙСТВ ИНТЕРАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В НАСОСНЫХ УСТАНОВКАХ

О. Ф. Соколовский

Житомирский военный институт имени С. П. Королева Национального авиационного университета
просп. Мира, 22, г. Житомир, 10004, Украина. E-mail: of@ukr.net

Интерактивная электромеханическая система автоматизации многоагрегатных насосных установок уменьшает потребление электрической энергии по сравнению с распространенными системами стабилизации напора. Сигнал на выходе интерактивного регулятора формируется в результате сравнения значений технологических параметров на текущем и предыдущем шагах квантования. Направление изменения частоты вращения регулируемого электропривода зависит от гидравлического сопротивления сети на предыдущем шаге квантования. Исследовано влияние гидравлического сопротивления на реакцию электромеханической системы при последовательном и параллельном соединении агрегатов. Получено аналитическое выражение предельного сопротивления, при котором скорость регулируемого электропривода остается постоянной.

Ключевые слова: интерактивный регулятор, энергосбережение, математическая модель.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Розробка енергоефективних технологій є однією із найважливіших умов сучасного технічного розвитку. Електромеханічні системи автоматизації багатоагрегатних насосних установок на основі інтерактивного керування забезпечують зниження енерговитрат при транспортуванні води до споживачів порівняно із системами стабілізації напору [1, 2]. Система реагує на тенденцію водоспоживання і через фіксовані проміжки часу формує сигнал завдання швидкості регульованого електроприводу відповідно до запитів мережі. Аналіз роботи системи показує, що енергозбереження забезпечується при зменшенні частоти обертання регульованого насоса на відповідних кроках квантування інтерактивного регулятора. Зниження швидкості відбувається при збільшенні гідравлічного опору мережі на попередньому кроці квантування або за умови сталого значення опору. Зменшення опору мережі може призвести до зменшення або збільшення швидкості насоса.

Метою роботи є отримання виразу граничного гідравлічного опору мережі, який визначає межу енергозберігаючих властивостей інтерактивного керування в багатоагрегатних насосних установках.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Математична модель інтерактивного регулятора, який реалізує енергозберігаючий алгоритм для двоагрегатної установки при послідовному з'єднанні насосів, побудована на основі виразу [1]:

$$\omega_{g1}((n+1)T_0) = \frac{k\sqrt{H((n-1)T_0)}}{\sqrt{H(nT_0)+c}} \times \frac{(\omega_{g1}(nT_0) + \omega_{g2})^2}{\omega_{g1}((n-1)T_0) + \omega_{g2} + c} - \omega_{g2}, \quad (1)$$

де T_0 – період квантування; $\omega_{g1}((n+1)T_0)$ – швидкість регульованого електроприводу на наступному кроці квантування; k – коефіцієнт затухання, який забезпечує зниження швидкості насоса при відсутності зміни гідравлічного опору мережі ($k < 1$); $H((n-1)T_0)$ – напір насосної установки на попередньому кроці квантування; $H(nT_0)$ – напір насосної установки на поточному кроці квантування; $\omega_{g1}(nT_0)$ – швидкість регульованого електроприводу на поточному кроці квантування; $\omega_{g1}((n-1)T_0)$ – швидкість регульованого електроприводу на попередньому кроці квантування; ω_{g2} – швидкість нерегульованого електроприводу; c – стала величина для уникнення ділення на нуль.

Розглянемо роботу інтерактивної електромеханічної системи автоматизації багатоагрегатної установки при послідовному з'єднанні насосів.

Напірні характеристики (рис. 1) відповідають частотам обертання регульованого насоса $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5$. Початковий режим визначається точкою А, регульований насос працює зі швидкістю ω_1 , нерегульований – з частотою ω_z . Установка створює напір $H=H_A$. У момент часу $2T_0$ формується сигнал керування на виході інтерактивного регулятора $U_f(2T_0)$ з урахуванням: $\omega(nT_0)=\omega_1$; $H(nT_0)=H_A$; $H((n-1)T_0)=H_A$. При цьому швидкість зменшується до значення ω_2 (точка В). Далі система реагує на потреби споживачів. Збільшення витрат води призведе до зростання частоти обертання регульованого насоса у момент часу $3T_0$ (точки С, D).

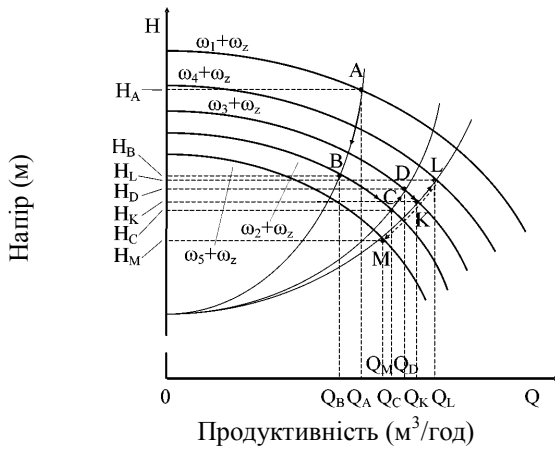


Рисунок 1 – Напірні характеристики насосної установки та характеристики мережі при інтерактивному керуванні

Миттєві значення сигналів на момент $3T_0$: $\omega(nT_0)=\omega_2$; $\omega((n-1)T_0)=\omega_1$; $H(nT_0)=H_C$; $H((n-1)T_0)=H_A$. Із графіків видно, що збільшення швидкості не призвело до значного зростання напору. Тому споживачі далі зменшують гідравлічний опір (точка K), що призводить до зростання швидкості у момент часу $4T_0$. Надалі режим роботи буде визначатися точкою L. Якщо на наступному проміжку часу T_0 водоспоживання не зміниться, регулятор створить сигнал керування $U_f(5T_0)$ на основі даних: $\omega(nT_0)=\omega_4$; $\omega((n-1)T_0)=\omega_3$; $H(nT_0)=H_I$; $H((n-1)T_0)=H_K$.

Діаграми миттєвих значень регульованих параметрів (рис. 2) відображають відповідні величини на певних тактах квантування регулятора (графіки однойменних величин побудовано в різних масштабах).

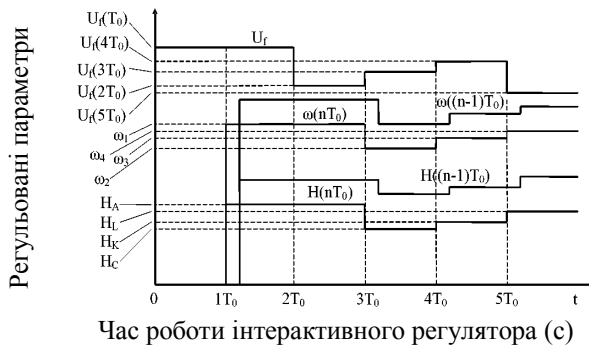


Рисунок 2 – Діаграми регульованих параметрів при інтерактивному керуванні

Швидкість регульованого насоса на наступному кроці не зміниться, якщо реакція споживачів призведе до створення напору:

$$H(nT_0) = \frac{H((n-1)T_0)}{\mu_1}, \quad (2)$$

де μ_1 – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості насоса та напору установки на попередніх кроках квантування.

Швидкість регульованого насоса у момент часу nT_0 :

$$\omega(nT_0) = \frac{k\sqrt{H((n-2)T_0)}}{\sqrt{H((n-1)T_0)+c}} \times \frac{(\omega((n-1)T_0)+\omega_z)^2}{\omega((n-2)T_0)+\omega_z+c} - \omega_z, \quad (3)$$

де $H((n-2)T_0)$, $\omega((n-2)T_0)$ – відповідно напір установки та швидкість робочого колеса насоса за два кроки квантування відносно поточного моменту часу.

Оберти насоса на наступному кроці квантування:

$$\omega((n+1)T_0) = \frac{k\sqrt{H((n-1)T_0)}}{\sqrt{H(nT_0)+c}} \times \frac{(\omega(nT_0)+\omega_z)^2}{\omega((n-1)T_0)+\omega_z+c} - \omega_z. \quad (4)$$

Із виразів (3), (4) за умови сталого значення швидкості регульованого електропривода на двох сусідніх кроках квантування отримаємо:

$$\frac{(\sqrt{H((n-1)T_0)+c})^2}{(\sqrt{H(nT_0)+c})^2} = \frac{H((n-2)T_0)}{H((n-1)T_0)} \times \frac{(\omega((n-1)T_0)+\omega_z)^4}{(\omega((n-2)T_0)+\omega_z+c)^2} \frac{(\omega((n-1)T_0)+\omega_z+c)^2}{(\omega(nT_0)+\omega_z)^4}. \quad (5)$$

Нехтуючи сталою c , у лівій частині виразу (5):

$$\mu_1 = \frac{H((n-2)T_0)}{H((n-1)T_0)} \times \frac{(\omega((n-1)T_0)+\omega_z)^4}{(\omega((n-2)T_0)+\omega_z+c)^2} \frac{(\omega((n-1)T_0)+\omega_z+c)^2}{(\omega(nT_0)+\omega_z)^4}. \quad (6)$$

Рівняння напірної характеристики насоса на поточному кроці квантування:

$$H(nT_0) = H_0(nT_0) - a_w(Q(nT_0))^2, \quad (7)$$

де $H_0(nT_0)$ – фіктивний напір насосної установки за нульової продуктивності на поточному кроці квантування; a_w – гідравлічний опір насосної установки; $Q(nT_0)$ – продуктивність установки.

Характеристика гідравлічної мережі на поточному кроці квантування описується залежністю:

$$H(nT_0) = H_s + a_v(Q(nT_0))^2, \quad (8)$$

де H_s – статичний напір; a_v – гідравлічний опір мережі.

З урахуванням (2), (7), (8) отримаємо вираз для граничного опору мережі:

$$a_{v1} = a_w \frac{H((n-1)T_0) - H_s}{H_0(nT_0) - \frac{H((n-1)T_0)}{\mu_1}}. \quad (9)$$

Для визначення граничного опору при послідовній роботі насосів вихідними даними, які змінюються в процесі регулювання, є швидкість робочого колеса регульованого насоса та напір установки на двох попередніх кроках роботи електромеханічної системи, а також значення напору установки та фіктивного напору на поточному кроці.

В інтерактивній електромеханічній системі автоматизації паралельно з'єднаних регульованого та нерегульованого насосів застосовано зворотній зв'язок за продуктивністю установки [2]. Тому умовою сталого значення частоти обертання регульованого електропривода на наступному кроці квантування буде вираз:

$$Q(nT_0) = \frac{Q((n-1)T_0)}{\mu_2}, \quad (10)$$

де μ_2 – коефіцієнт, що враховує зміну частоти обертання робочого колеса насоса та продуктивності установки на попередніх кроках квантування.

Швидкість регульованого насоса на наступному кроці квантування при паралельному з'єднанні [2]:

$$\omega((n+1)T_0) = \omega((n-1)T_0) \frac{kQ(nT_0)}{Q((n-1)T_0) + c} + \omega_z \left(\frac{kQ(nT_0)}{Q((n-1)T_0) + c} - 1 \right). \quad (11)$$

На поточному моменті часу частота обертання визначатиметься рівнянням:

$$\omega(nT_0) = \omega((n-2)T_0) \frac{kQ((n-1)T_0)}{Q((n-2)T_0) + c} + \omega_z \left(\frac{kQ((n-1)T_0)}{Q((n-2)T_0) + c} - 1 \right). \quad (12)$$

З урахуванням (10)–(12), при незмінній частоті робочого колеса регульованого насоса на моменти часу $nT_0, (n+1)T_0$:

$$\mu_2 = \frac{\omega((n-1)T_0) + \omega_z \frac{Q((n-2)T_0) + c}{Q((n-1)T_0) + c}}{\omega((n-2)T_0) + \omega_z \frac{Q((n-1)T_0) + c}{Q((n-1)T_0) + c}}. \quad (13)$$

Значення граничного опору для паралельно працюючих насосів визначаємо із спільного розв'язку рівнянь напірної характеристики насосної установки та характеристики гідравлічної мережі:

$$a_{v2} = \frac{H_0(nT_0) - H_s - a_w \left(\frac{Q((n-1)T_0)}{\mu_2} \right)^2}{\left(\frac{Q((n-1)T_0)}{\mu_2} \right)^2}. \quad (14)$$

В умовах роботи паралельно з'єднаних насосів граничний опір залежить від швидкості регульованого насоса, продуктивності установки на двох по-

передніх кроках квантування та від фіктивного напору на поточному кроці.

ВИСНОВКИ. Тенденція зміни швидкості регульованого електроприводу при паралельній та послідовній роботі насосів формується протягом двох попередніх кроків квантування в результаті взаємовпливу споживачів і насосної установки. Рівень енергоспоживання інтерактивної електромеханічної системи залежить від гідравлічного опору мережі на кожному кроці квантування і визначається співвідношенням декількох параметрів, зафіксованих у різні моменти часу. Зростання статичного напору зменшує величину граничного опору мережі. Суттєвий вплив на зміну швидкості регульованого електроприводу створює величина коефіцієнта затухання. Подальші дослідження рекомендуються направити на вивчення впливу попиту споживачів щодо рівня витрат електроенергії з урахуванням добової нерівномірності споживання води.

ЛІТЕРАТУРА

1. Попович М.Г., Кіселичник О.І., Соколовський О.Ф. Особливості інтерактивного керування в насосних установках // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – Житомир, 2008. – № 4 (47). – С. 174–179.
2. Соколовський О.Ф. Контроль режимів насосів в інтерактивній електромеханічній системі автоматичного керування паралельно працюючими агрегатами // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – Житомир, 2012. – № 1 (60). – С. 64–68.

THE DETERMINATION OF ENERGY-SAVING PROPERTIES OF INTERACTIVE CONTROL IN PUMPS INSTALLATIONS

O. Sokolovskiy

Zhytomyr Military Institute named after S. P. Korolev of National Aviation University
prosp. Myru, 22, Zhytomyr, 10004, Ukraine. E-mail: of@ukr.net

Interactive electromechanical automation multyaggregate pumping installations system reduces power consumption compared to common stabilize pressure systems. An interactive regulator output signal is formed as a result of comparing the values of technical parameters on the current and previous quantization steps. The direction of torque frequency change of controlled electric drive depends on the hydraulic resistance network at the previous quantization step. It was investigated the influence of hydraulic resistance of the system on the reaction of electromechanical system on the parallel and series connected units. The analytical expression of boundary resistance, by which the speed of controllable electrical drive remains constant has been obtained.

Key words: the interactive controller, energy-saving, mathematical model.

REFERENCES

1. Popovich M.G., Kiselychnyk O.I., Sokolovskiy O.F. Features of interactive control of pump installations // *Journal Zhytomyr State Technological University*. – Zhytomyr, 2008. – № 4 (47). – PP. 174–179. [in Ukrainian]
2. Sokolovskiy O.F. Supervision mode pump for interactive electromechanical system of automatic control of parallel acting pump aggregates // *Journal Zhytomyr State Technological University*. – Zhytomyr, 2012. – № 1 (60). – PP. 64–68. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 9.07.2012.
Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Родькіним Д.Й.