

УДК 62-83: 628.12

С. О. Бур'ян, М. В. Печеник, кандидати техн. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ НАСОСНОГО КОМПЛЕКСУ З ВРАХУВАННЯМ ПЛАВНОЇ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОМЕРЕЖІ

Анотація. Для підвищення енергоефективності насосного комплексу з двома послідовно з'єднаними насосами представлено структурну схему системи з енергоефективним регулятором коефіцієнта корисної дії одного з насосів. На основі апроксимації каталожних характеристик насоса запропоновано вираз для визначення його ККД. Представлені результати дослідження системи при плавній зміні параметрів гідравлічної мережі.

Ключові слова: насосний комплекс, енергоефективність, стабілізація, регулятор, послідовне з'єднання, апроксимація, каталожні характеристики, електромеханічна система, гідравлічна мережа, частотне керування, асинхронний двигун

S. Buryan, PhD., N. Pechenyk, PhD.

ENERGY EFFICIENCY RESEARCH OF ELECTROMECHANICAL PUMPING COMPLEX SYSTEM WITH SMOOTH SETTINGS OF HYDRAULIC NETWORK

Abstract. To improve the efficiency of the pump set with two pumps connected in series the block diagram of the system with energy efficient regulator of the efficiency of a pump are presented. Based on the approximation of catalog characteristics of pump the expression to determine its efficiency is proposed. The results of the research by a smooth change of parameters of the hydraulic network are shown.

Keywords: pumping complex, energy efficiency, stabilization, controller, serial connection, approximation, catalog characteristics, electromechanical system, hydraulic network, frequency control, induction motor

C. A. Бурьян, Н. В. Печеник, кандидаты техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НАСОСНОГО КОМПЛЕКСА С УЧЕТОМ ПЛАВНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОСЕТИ

Аннотация. Для повышения энергоэффективности насосного комплекса с двумя последовательно соединенными насосами представлена структурная схема системы с энергоэффективным регулятором коэффициента полезного действия одного из насосов. На основе аппроксимации каталожных характеристик насоса предложено выражение для определения его КПД. Представлены результаты исследования системы при плавном изменении параметров гидравлической сети.

Ключевые слова: насосный комплекс, энергоэффективность, стабилизация, регулятор, последовательное соединение, аппроксимация, каталожные характеристики, электромеханическая система, гидравлическая сеть, частотное управление, асинхронный двигатель

Вступ. Насосні установки є найпотужнішими споживачами електричної енергії [1]. Щорічно великий відсоток цієї енергії переходить у втрати. Особливо це стосується високопотужних багатоагрегатних насосних комплексів, які працюють у режимі перекачування рідини у великі ємності, наповнюють резервуари, тобто працюють зі сталим напором та продуктивністю. При цьому енергоефективність таких систем може значно знижуватися, так як вони зазвичай не розраховуються на максимум ККД насосу, а якщо і розраховуються, то робоча точка може зміщуватися в процесі роботи за рахунок варіацій параметрів гідравлічної мережі.

Для систем, що працюють у житлових будинках, розроблено інтерактивну ігрову систему автоматичного керування, що базується на взаємодії споживачів та регулятора [2, 3, 4], але вона не враховує зміну ККД насосу під час його роботи. Таку зміну враховує екстремальна система регулювання ККД для різних типів з'єднань насосів [5, 6, 7]. Але у реальних умовах такі системи працюють з гідравлічним опором та гідростатичним напором що змінюється плавно впродовж

© Бур'ян С.О., Печеник М.В., 2014

всієї роботи системи. Варіація одночасно двох параметрів може змістити робочу точку насосу з оптимальної зони, у якій ККД близький до максимуму, у зону значних втрат у насосі.

Таким чином, дослідження енергоефективності таких систем при плавній зміні параметрів гідравлічної мережі є актуальним завданням.

Мета роботи. Проведення дослідження системи автоматичного керування насосами водопостачання з регулятором ККД одного з насосів при плавній зміні одночасно двох параметрів гідравлічної мережі.

Матеріал і результати дослідження

Структурна схема системи автоматичного керування двома послідовно з'єднаними насосами представлено на рис. 1.

На рис. 1 прийняті наступні позначення: ПЧ – перетворювач частоти; f_n – номінальна частота мережі; Δf – сигнал на зміну частоти від регулятора; f – частота завдання; u_{mn} – номінальна амплітуда напруги живлення статора; u_{1a} , u_{1b} – компоненти векторів напруги статора; ω_1 , ω_2 – кутові швидкості обертання двигунів; M_{c1} , M_{c2} – моменти навантаження; H_1 , H_2 – напори

на виході насосів; Q – продуктивність насосів; $\eta_{кн}$ – ККД керованого насосу; $\eta_{нкн}$ – ККД некерованого насосу.

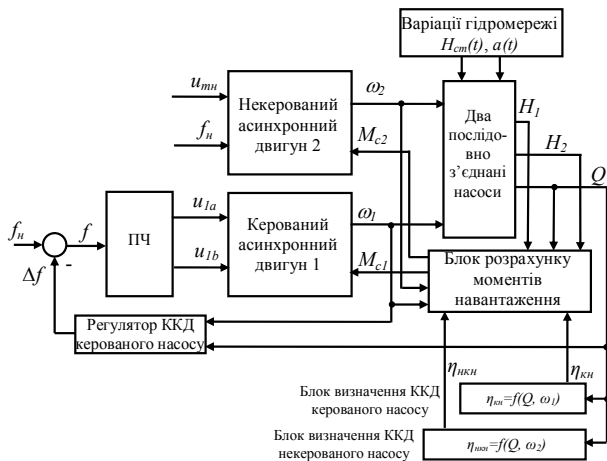


Рис. 1. Структурна схема системи керування

Математичні моделі перетворювача частоти та привідних асинхронних двигунів к координатах статора а-в отримані відомими методами [8].

Математична модель двох послідовно з'єднаних насосів

$$dQ/dt = H_{01n} \omega_1^2 / \chi \omega_{n1}^2 + H_{02n} \omega_2^2 / \chi \omega_{n2}^2 - H_{cm} / \chi - (a_{n1} + a_{n2} + a) Q^2 / \chi, \quad (1)$$

$$H = H_1 + H_2 = H_{01n} \omega_1^2 / \omega_{n1}^2 + H_{02n} \omega_2^2 / \omega_{n2}^2 - (a_{n2} + a_{n1}) Q^2, \quad (2)$$

де a_{n1} , a_{n2} – номінальні гідравлічні опори керованого та некерованого насосів відповідно; a – гідравлічний опір мережі; H_{01n} та H_{02n} – номінальні напори насосів при нульових подачах; ω_{n1} , ω_{n2} – номінальні кутові швидкості обертання насосів; χ – стала інтегрування; H_{cm} – гідростатичний напір.

Розрахунок моментів навантаження здійснюється наступним чином

$$M_{c1} = \rho g Q H_1 / \eta_{кн} \omega_1, \quad (5)$$

$$M_{c2} = \rho g Q H_2 / \eta_{нкн} \omega_2. \quad (6)$$

Регулятор, що представлений на структурній схемі, складається із звичайного ПІ-регулятора, що реалізує умову $\omega - \omega^* = 0$, за якої відбудеться вихід робочої точки на лінію максимального ККД, та блоку обчислення заданої швидкості ω^* [6]

$$\Delta f = (\omega - \omega^*) (K_p + 1/T_i p), \quad (7)$$

$$\omega^* = k_1 Q^2 + k_2 Q + k_3, \quad (8)$$

де K_p – пропорційна складова регулятора; T_i – стала часу інтегральної частини регулятора; k_1 , k_2 , k_3 – коефіцієнти апроксимації кривої максимального ККД

ККД насосів визначаються на основі апроксимації статичних характеристик насосів поліномами 4-го порядку [9]

Для дослідження вибрано два однакові насоси фірми Vogel Pumpen CNX-100 [10] потужністю 156,1 кВт та ККД 62,9 %. Результати математичного моделювання представлені на рис. 2.

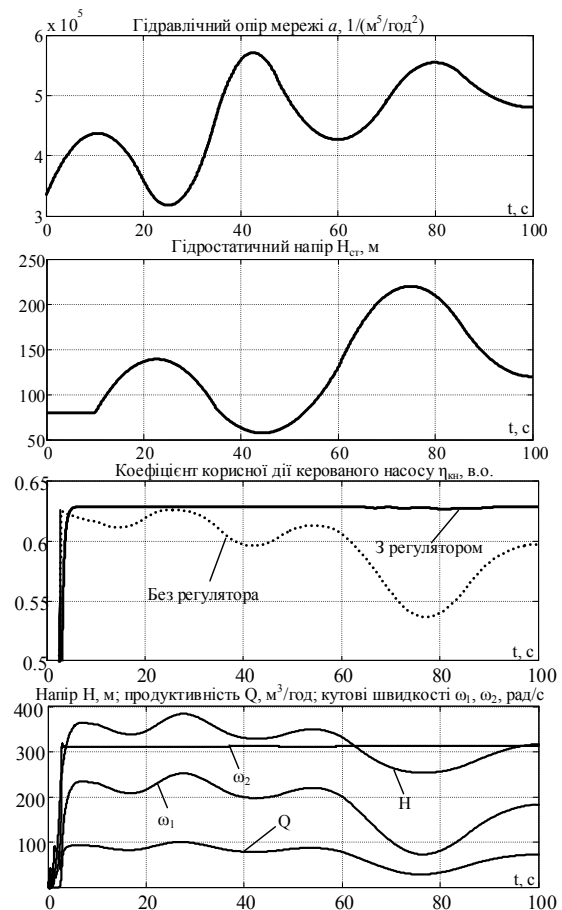


Рис. 2. Графіки перехідних процесів

Як видно з рис. 2, при одночасній зміні гідравлічного опору мережі та гідростатичного напору у системі за довільним законом регулятор відпрацьовує задане максимальне значення ККД, що складає 0,629. У порівнянні із системою без регулятора, ККД керованого насосу збільшується від 0,017 у 15 секунд до 0,089 у 76 секунд, що складає 2,7 % та 14,2 % відповідно від максимального значення.

Висновки. Запропонована електромеханічна система забезпечує підвищення коефіцієнта корисної дії керованого насосу до максимально можливого значення при зміні гідравлічного опору мережі та геодезичного напору за довільними законами. Результати доцільно впроваджувати у системах, де відбувається перекачування рідин, наповнювання великих ємностей або резервуарів.

Список використаної літератури

1. Лезнов Б. С. Экономия электроэнергии в насосных установках / Б. С. Лезнов. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
2. Pechenik M., Kiselychnyk O., and Buryan S., (2010), Experimental Rresearch of Interactive Energy Saving Controller of Water Supply Pump Based on Flow rate Measurement, *Transactions of NTU "KPI". Theory and Practice*, Kharkiv, Ukraine, No. 28, pp. 272 – 274.
3. Попович М. Г. Експериментальні дослідження роботи інтерактивного енергозберігаючого контролера на гібридній моделі насосної установки / М. Г. Попович,

О. І. Кіселичник, С. О. Бур'ян, О. Ф. Соколовський // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2007. – Вип. 3/2007 (44). – Частина 1. – С. 72 – 75.

4. Kiselychnyk O., Buryan S., Bodson M., and Werner H. (2009), Improved Interactive Energy Saving Control Algorithms of Water Supply Pump Based on head Measurement, *Scientific and Technical Journal "Electroinform"*, Lviv, Ukraine, pp. 349 – 354.

5. Popovich M., Kiselychnyk O., and Buryan S., (2010), Extremely Electromechanical Control System of water Supply Pumps Connected in Series, *Transactions of KSU. Kremenichuk, Ukraine, KSU, No. 3/2010 (62), [part 2]*, pp. 37 – 41.

6. Бур'ян С. О. Підвищення енергоефективності електромеханічної системи автоматичного керування послідовно з'єднаними насосами водопостачання / С. О. Бур'ян // Наукові праці ДНТУ. Серія «Електротехніка і енергетика». – Донецьк : ДНТУ, 2013. – № 1(14)'2013. – С. 47 – 52.

7. Бур'ян С. О. Екстремальна електромеханічна система керування паралельно з'єднаними насосами водопостачання / С. О. Бур'ян, Т. В. Гришук // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – Запоріжжя : – 2011. – ЗНТУ – № 2. – С. 153 – 162.

8. Leonhard W., (1996), Control of Electrical Drives. Springer, Verlag, Berlin, 420 p.

9. Бур'ян С. О. До питання визначення коефіцієнта корисної дії насосу / С. О. Бур'ян, Д. О. Боднар // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XII Міжнародної НТК молодих учених і спеціалістів. – Кременчук : КрНУ. – 2014. – С. 134 – 135.

10. ITT Industries. Vogel Select CD, (2009), *Selection Program*, Jan.

Отримано 04.07.2014

References

1. Leznov B.S. *Ekonomiya elektroenergii v nasosnykh ustanovkakh* [Energy Savings in Pump Applications], (1991), Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat*, 144 p. (In Russian).

2. Pechenik M., Kiselychnyk O., and Buryan S. (2010), Experimental Research of Interactive Energy Saving Controller of Water Supply Pump Based on flow rate Measurement, *Transactions of NTU "KPI" Theory and Practice*, Kharkiv, Ukraine, NTU "KPI", No. 28, pp. 272 – 274 (In English), url: <http://archive.kpi.kharkov.ua/View/27208/>.

3. Popovich M.G., Kiselichnik O.I., Bur'yan S.O., Sokolovskii O.F. Eksperimental'ni doslidzhennya roboti interaktivnogo energozberigayuchogo kontrolera na gibridnii modeli nasosnoi ustanovki [Experimental Investigation of Interactive Energy-Saving Controller for Hybrid Models of the Pumping unit], (2007), *Visnik KDPU imeni Mikhaïla Ostrogradsk'kogo*, Kremenichuk, Ukraine, Vol. 3/2007 (44), Part 1, pp. 72 – 75 p. (In Ukrainian), url: [http://www.kdu.edu.ua/statti/2007-3\(44\)/72.pdf](http://www.kdu.edu.ua/statti/2007-3(44)/72.pdf).

4. Kiselychnyk O., Buryan S., Bodson M., Werner H., (2009), Improved Interactive Energy Saving Control Algorithms of Water Supply Pump Based on head Measurement, *Scientific and Technical Journal "Electroinform"*, Lviv,

Ukraine, pp. 349 – 354 (In English).

5. Popovich M., Kiselychnyk O., and Buryan S., (2010), Extremal Electromechanical Control System of Water Supply Pumps Connected in Series, *Transactions of KSU, Kremenichuk, Ukraine, KSU, No. 3/2010(62), [part 2]*, pp. 37 – 41 (In English). url: [http://www.kdu.edu.ua/statti/2010-3-2\(62\)/PDF_3_2010_ch2/37.PDF](http://www.kdu.edu.ua/statti/2010-3-2(62)/PDF_3_2010_ch2/37.PDF).

6. Бур'ян С.О. Підвищення енергоефективності електромеханічної системи автоматичного керування послідовно з'єднаними насосами водопостачання [Improving Energy Efficiency of Electromechanical Automatic Control of Water Supply Pump Connected in Series], (2013), *Naukovi Pratsi DNTU. Seriya "Elektrotekhnika i Energetika"*, Donetsk, Ukraine, Vol. 1(14), pp. 47 – 52 (In Ukrainian).

url: <http://ea.donntu.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/23139/1/047.pdf>.

7. Bur'yan S.O. Ekstremal'na elektromekhanichna sistema keruvannya paralel'no z'ednanimi nasosami vodopostachannya [Extreme Electro-Mechanical Control System of Water Supply Pumps Connected in Parallel], *Radioelektronika, Informatika, Upravlinnya*, (2012), Zaporizhzhya, Ukraine, Vol.2, pp. 153 – 162 (In Ukrainian), url: <http://ric.zntu.edu.ua/article/view/14389/12204>.

8. Leonhard W., (1996). Control of Electrical Drives. Springer, Verlag, Berlin, 420 p.

9. Bur'yan S.O., Bodnar D.O. Do pitannya viznachennya koefitsienta korisnoi dii nasosu [On the Question of Determining the Efficiency of the Pump], (2014), *Elektromekhanichni ta Energetichni Sistemi, Metodi Modelyuvannya ta Optimizatsii. Zbirnik Naukovikh Prats' XII Mizhnarodnoi NTK Molodikh Uchenikh i Spetsialistiv*, Kremenichuk, Ukraine, pp. 134 – 135 (In Ukrainian), url: http://saue.kdu.edu.ua/files/ESMO_2014/ESMO2014.pdf.

10. ITT Industries. Vogel Select CD, (2009), *Selection Program*, Jan. (In English).



Бур'ян
Сергій Олександрович,
канд. техн. наук, ст. викл. каф.
автоматизації електромеханічних систем та електроприводу
нац. технічного ун-ту України
«Київський політехн. ін-т»
(03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37), 097-639-92-79,
E-mail: sburyan@rambler.ru



Печеник
Микола Валентинович,
канд. техн. наук, доц. каф. авто-
матизації електромеханічних систем та електроприводу нац.
технічного ун-ту України «Київський політехн. ін-т» (03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37), 067-783-10-11,
E-mail: pechenikMV@ukr.net