

## ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В НАСОСНИХ УСТАНОВКАХ

Павленко В.І., магістрант, Пушкар М.В., к.т.н., доцент

*КПІ імені Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу*

**Вступ.** На сьогоднішній день одним з актуальних питань є заощадження питомої енергії за рахунок конструювання та впровадження енергозберігаючих та енергоефективних насосних установок [1, 2]. З врахуванням великих потужностей та великої кількості насосних установок, обмеженість запасів прісної води, розробка електромеханічних систем автоматичного керування водопостачанням з енерго- та ресурсозберігаючими алгоритмами стала однією із пріоритетних задач суспільства [3].

**Мета досліджень.** Провести огляд основних принципів енергозбереження в насосних установках з відцентровими насосами.

**Матеріали досліджень.** Технологічна схема насосної установки зображена на рис.1. Умовні графічні позначення: 1 – насос; 2 – антивібраційна вставка; 3 – засувка. В схемі за (або перед) засувкою ще використовують зворотний клапан, який пропускає рідину тільки в одному напрямку та запобігає виникненню гідроударів. Антивібраційна вставка призначена для компенсації деформацій від теплового розширення або стиснення трубопроводу в результаті коливань температури рідини, що перекачується, та зниження механічних навантажень, викликаних різким підйомом тиску в трубопроводі. При необхідності в систему можна додатково поставити два манометри, які будуть показувати тиск на вході та виході насосу.

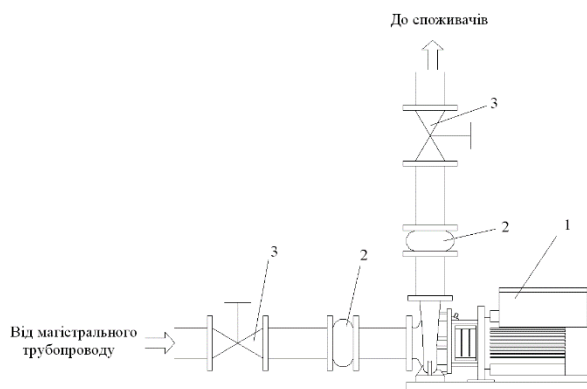


Рисунок 1 – Технологічна схема насосної установки

Статорна обмотка привідного асинхронного двигуна насосу живиться від ПЧ. Система керування виконується одноконтурною та включає контур регулювання напору в найвищій точці водогону. Зворотний зв'язок за напором реалізується на основі датчика тиску. Регулювання напору здійснюється на основі вбудованого у ПЧ ПІ-регулятора з аперіодичним фільтром. Контур стабілізації напору підвищує швидкість обертання насоса, якщо в будинку збільшується водовідбір, і зменшує швидкість, якщо водовідбір зменшується.

Розглянемо приклад роботи схеми. Нехай споживачі відкрили сильніше крани. При цьому збільшуються витрати води й продуктивність насосу. Відповідно зменшується тиск в найвищій точці водогону. Тоді на вході РН виникає додатний сигнал. Враховуючи інтегральну складову РН, його вихідний сигнал збільшується, тобто збільшується завдання контуру швидкості. Це викликає збільшення частоти і амплітуди напруги на виході перетворювача частоти (які зв'язані між собою насосною залежністю). В результаті швидкість насосу зростає, це викликає зростання напору, яке буде відбуватися до того часу, поки напір не стане рівним заданому. При зменшенні водовідбору, процеси протікають аналогічно. При цьому швидкість насосу зменшується. В результаті цього забезпечується енергозбереження.

Розглянемо принципи енергозбереження, які мають системи стабілізації напору в порівнянні з розімкненим керуванням. Нехай початкова робоча точка насосу водопостачання буде точкою А (Рис.2). Початкова характеристика насосу з номінальною швидкістю  $\omega_1$  зображена кривою 2; характеристика початкового гідравлічного опору мережі кривою 6 (з гідравлічним опором  $a_1$ ). Прямая 1  $H_{ref} = const$  (завдання напору насосу у системі стабілізації напору) визначає геометричні місця розміщення можливих робочих точок насосу у системі.

Потужність, яку споживає насос у цьому випадку пропорційна площі прямокутника  $H_{ref}AQ_AO$ :

$$P_A = \rho g \frac{Q_A H_{ref}}{\eta_A}, \quad (4.1)$$

де  $\eta_A$  – коефіцієнт корисної дії насосу для робочої точки А;  $\rho$  – густина води;  $g$  – прискорення вільного падіння.

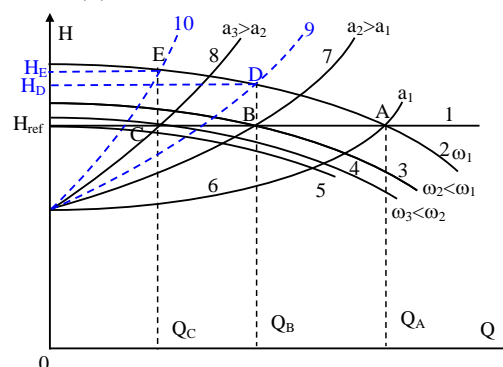


Рисунок 2 – Характеристики насосу у системі стабілізації напору

Якщо споживання води споживачами менше, вони закривуть свої крани на стільки, щоб отримати бажану величину продуктивності, наприклад  $Q_B$ . При відсутності стабілізації напору необхідно було б закривати крани доти, поки характеристика гідравлічного опору мережі не стане 9. У такому випадку енергія, що споживається, пропорційна площі прямокутника  $H_D DQ_B O$ :

$$P_D = \rho g \frac{Q_B H_D}{\eta_D}. \quad (4.2)$$

У випадку системи стабілізації тиску достатньо підвищити гідравлічний опір до величини  $a_2$  (крива 7). Система стабілізації знизить швидкість насосу до величини  $\omega_2$  (насосна характеристика 3), щоб забезпечити перехід в робочу точку насосу В. Тоді енергія, що споживається, буде пропорційна площі прямокутника  $H_{ref} B Q_B O$ :

$$P_B = \rho g \frac{Q_B H_{ref}}{\eta_B}. \quad (4.3)$$

Приймаючи, що  $\eta_B \approx \eta_D$ , величина збереженої енергії буде:

$$\Delta P_B = P_D - P_B = \rho g \left( \frac{Q_B H_D}{\eta_D} - \frac{Q_B H_{ref}}{\eta_B} \right) = \frac{\rho g Q_B}{\eta_B} (H_D - H_{ref}). \quad (4.4)$$

Вона пропорційна площі прямокутника  $H_D D B H_{ref}$ .

У випадку, якщо робоча точка насосу знаходиться в точці С, величина збереженої енергії буде пропорційна площі прямокутника  $H_E E C H_{ref}$ :

$$\Delta P_C = P_E - P_C = \rho g \left( \frac{Q_C H_E}{\eta_E} - \frac{Q_C H_{ref}}{\eta_C} \right) = \frac{\rho g Q_C}{\eta_C} (H_E - H_{ref}). \quad (4.5)$$

Таким чином, чим більша різниця між  $H_{ref}$  та тиском, що відповідає бажаній величині продуктивності на характеристиці насосу при номінальних обертах, тим більше енергії буде збережено. Іншими словами, чим менша швидкість насосу, тим більше енергозбереження. Мінімально можлива швидкість насосу (крива 5) обмежена величиною  $H_{ref}$ . Досвід використання систем стабілізації напору дає приблизно 40% енергозбереження у порівнянні з системами водопостачання без керованого електропривода та стабілізації напору.

**Висновки.** В статті розглянуто основні принципи енергозбереження. Та за допомогою напірних характеристик насосу та гідромережі пояснено їх суть. Отримані аналітичні вирази для збереженої енергії буде використано для аналізу енергоефективності насосної установки в процесі подальших досліджень.

#### Перелік посилань

1. Попович М.Г., Кіселичник О.І., „Задачі автоматизації установок водопостачання на основі електромеханічних систем керування”// Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. -№3/2008 (50).- Ч.2.- С. 8-12.
2. M. Pechenik, S. Burian, H. Zemlianukhina and M. Pushkar, "Investigation of the Hydraulic Pressure Stabilization Accuracy in the Conditions of Water Supply Cascade Pump System Operation," 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 97-100, doi: 10.1109/ESS50319.2020.9160340.
3. M. Pechenik, S. Burian, M. Pushkar and H. Zemlianukhina, "Analysis of the Energy Efficiency of Pressure Stabilization Cascade Pump System," 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2019, pp. 490-493, doi: 10.1109/MEES.2019.8896588.