УДК 62-83: 628.12

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОСЛІДОВНО З'ЄДНАНИХ НАСОСНИХ УСТАНОВОК В ПАКЕТІ SIMHYDRAULICS

Бур'ян С. О., Печеник М. В., Землянухіна Г. Ю., Бабарова А. І.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Проведено порівняльний аналіз результатів дослідження системи стабілізації тиску послідовно з'єднаних насосів з класичним математичним описом та віртуальної фізичної моделі виконаної в пакеті SimHydraulics.

Постановка проблеми. Системи водопостачання на сьогоднішній день являються невід'ємною частиною агропромислових комплексів. Для задоволення потреб споживачів вони найчастіше виконуються з двома насосними установками однакової потужності, що підключенні послідовно. Проте до теперішнього часу процес проектування таких систем майже повністю базується і опирається на експериментальних даних. Для подальшого підвищення якості проектування, одночасно скорочуючи строки і витрати, необхідно використовувати сучасні технології і техніки, програмне забезпечення та комп'ютерне моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із способів дослідження перехідних процесів в електромеханічних системах водопостачання є метод математичного моделювання. Проте класичний математичний опис роботи системи двох послідовно з'єднаних насосів [1] не відображає в повній мірі складність протікаючих там гідромеханічних процесів. Пакет прикладних програм MATLAB пропонує тулбокс SimHydraulics, в якому в достатньо повному обсязі представлені засоби моделювання гідравлічних мереж. У роботі [2] показано доцільність використання пакету SimHydraulics для підвищення точності досліджень електромеханічної системи з одним керованим насосом.

Мета статті. Проведення порівняльного аналізу результатів дослідження системи віртуальної фізичної моделі двох послідовно з'єднаних насосних установок в пакеті SimHydraulics та електромеханічної системи з класичним математичним описом в умовах стабілізації тиску.

Основні матеріали дослідження. SimHydraulics – це окрема бібліотека пакету Simulink середовища MATLAB, що дозволяє імітувати модель взаємопов'язаної роботи різних компонентів гідромережі.

В процесі дослідження розглянуто двоагрегатну систему стабілізації тиску, потужність кожного насосу якої дорівнює половині загальної потужності, що підключенні послідовно. При цьому один насос є регульованим, інший – нерегульований. Для уникнення високого рівня збурень в гідравлічну мережу для комутації останнього використовується пристрій плавного пуску (ППП).

Досліджувана система має два варіанта представлення моделі послідовно підключених насосів – блоками пакету SimHydraulics та модель, що базується на класичних рівняннях, які описують роботу насосів. Структурна схема системи представлена на рис. 1.

На рис. 1 введені наступні позначення: $U^*_{зн}$ – напруга завдання за тиском; ω^* – сигнал завдання швидкості; $U^*_{ззн}$ – напруга зворотного зв'язку за тиском; u_{1a}, u_{1b}, u_{1c} – компоненти вектора напруги статора; M_{c1}, M_{c2} – моменти навантаження, що формують перший та другий насоси відповідно; $K_{зз}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за тиском; ω_1, ω_2 – кутові швидкості обертання першого та другого двигунів відповідно; H_1, H_2 – напори першого та другого насосів відповідно; H – сумарний напір на виході.

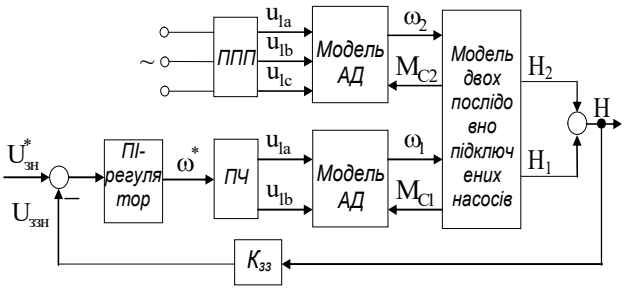

Рисунок 1 – Структурна схема системи керування насосними установками

Розглянута система ділиться на дві основні частини: механічну та гідравлічну. Тиск стабілізується за рахунок використання регулятора напору, налаштований на ПІ закон керування. Механічна частина містить систему керування асинхронними двигунами (АД) та безпосередні двигуни. Блоки перетворювача частоти "*ПЧ*", що реалізує квадратичний закон керування залежності напруги від частоти U/f^2=const [3], та асинхронних двигунів "*Модель АД*" описуються стандартними системами рівнянь [4] і представляють собою підсистеми. Гідравлічна частина, в свою чергу представляє собою два послідовно підключенні насоси, гідравлічні з'єднання та резервуар. Блок "*Модель двох послідовно підключених насосів*" – підсистема насосів, яка реалізовується за допомогою блоків бібліотеки SimHydraulics.

Математична модель двох послідовно працюючих насосів разом з гідравлічною мережею в класичному вигляді описується наступними рівняннями (1)-(5) [1]:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{H_{01н}}{\chi\omega_{н1}^2}\omega_1^2 + \frac{H_{02н}}{\chi\omega_{н1}^2}\omega_2^2 - \frac{H_{ст}}{\chi} - \frac{1}{\chi}\left(a_{н1} + a_{н2} + a\right)Q^2, \quad (1)$$

$$H_1 = \frac{H_{01н}}{\omega_{н1}^2}\omega_1{}^2 - a_{н1}Q^2, \quad (2)$$

$$H_2 = \frac{H_{02н}}{\omega_{н1}^2}\omega_2{}^2 - a_{н2}Q^2, \quad (3)$$

$$M_{c1} = \frac{\rho g Q H_1}{\eta_1 \omega_1}, \quad (4)$$

$$M_{c2} = \frac{\rho g Q H_2}{\eta_2 \omega_2}, \quad (5)$$

$$H = H_1 + H_2, \quad (6)$$

де Q – продуктивність насосів; $H_{01н}$, $H_{02н}$ – номінальні напори при нульових подачах першого та другого насосів при номінальних швидкостях; $\omega_{н1}$, $\omega_{н2}$ – номінальні кутові швидкості обертання першого та другого насосів відповідно; χ – стала інтегрування; η_1, η_2 – коефіцієнти корисної дії (ККД) першого та другого насосів відповідно; $a_{н1}$, $a_{н2}$ – номінальні гідравлічні опори першого та другого насосів відповідно; a – опір гідравлічної мережі; $H_{ст}$ – геодезична висота підйому води; ρ – густина води; g – прискорення вільного падіння; t – час. Підсистеми "*Модель двох послідовно підключених насосів*", що була реалізована в SimHydraulics і зображена на рис. 1, в розгорнутому вигляді показано на рис. 2 [5]. В процесі створення та дослідження моделі обрано розширений метод апроксимації робочих характеристик насосів, тобто метод оцінки параметрів системи за Q-H характеристикою насосів, що наведені в каталогах. Детальний опис елементів та їх функцій наведені у роботі [2]. В класичній моделі апроксимація відбувається лише за номінальними параметрами насосів та може бути використана тільки для квадратичних Q-H характеристик.

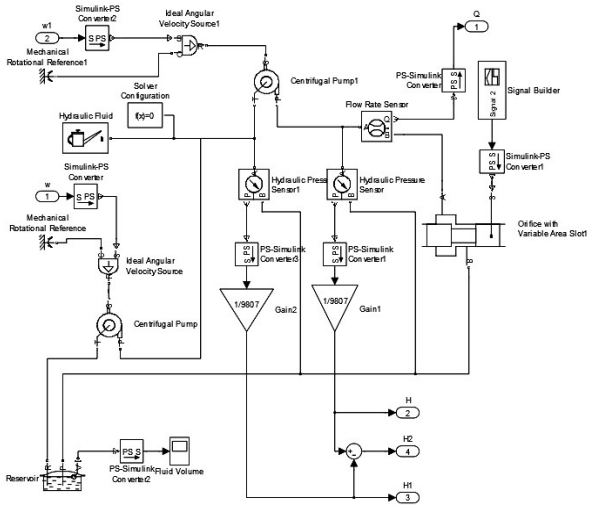

Рисунок 2 – Вигляд підсистеми "*Модель двох послідовно підключених насосів*"

Рисунок 3 – Графіки перехідних процесів кутової швидкості

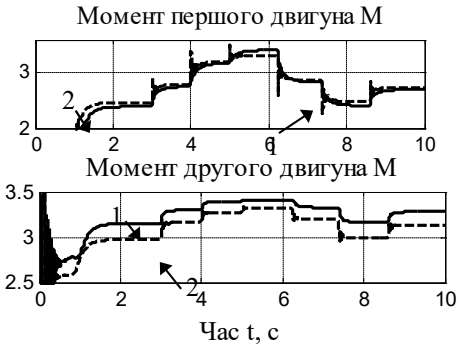

Рисунок 4 – Графіки перехідних процесів моменту

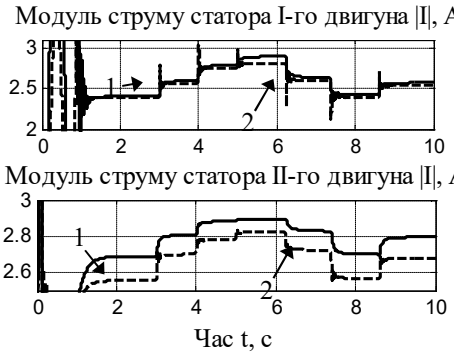

Рисунок 5 – Графіки перехідних процесів модулю струму статора

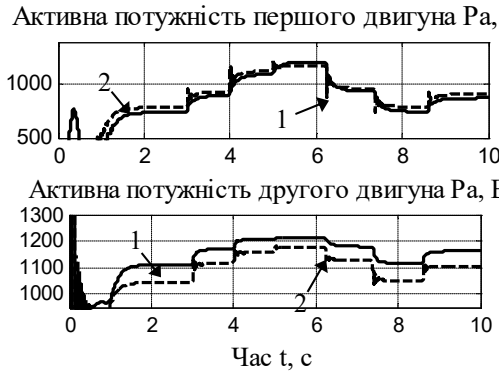

Рисунок 6 – Графіки перехідних процесів активної потужності

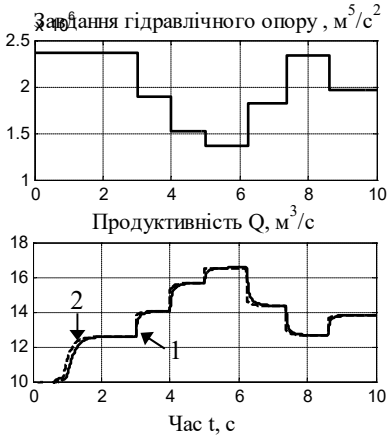

Рисунок 7 – Графіки зміни гідравлічного опору та перехідних процесів продуктивності

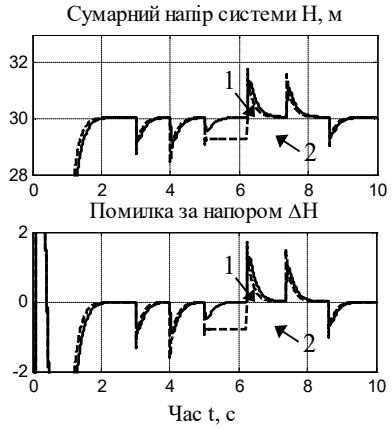

Рисунок 8 – Графіки перехідних процесів тиску на виході системи та помилки його відпрацювання

Для проведення досліджень прийнятий один з найбільш ймовірних графіків споживання води в умовах стабілізації тиску на виході системи на рівні H=30 м, характер зміни гідравлічного опору мережі ступінчатий. Графіки перехідних процесів у двох розглянутих моделях представлені на рис. 3-8 (суцільна лінія 1 – модель з послідовно з'єднаними насосами реалізована на основі класичних рівнянь, пунктирна лінія 2 – система водопостачання, гідравлічна частина якої виконана за допомогою тулбоксу SimHydraulics).

На рис. 3-8 видно, що в початковий момент часу від 0 до 1 с двигуни здійснюють розгін. Основна відмінність роботи моделей полягає у деякому відхиленні величин швидкості, моменту, модулю струму статора та активної потужності у моделі на основі рівнянь. Відхилення за моментом складають 0.11 Н·м для керованого та 0.24 Н·м для некерованого насосів (3.7% та 8.2% від номінального значення) і 20 рад/с та 2 рад/с за швидкістю.

На рис. 8 видно, що динамічні похибки досягають 2 м при дискретній зміні гідравлічного опору в обох розглянутих системах, що стабілізують тиск на заданому рівні. Проте у системі реалізованої SimHydraulics в одному з усталених режимах виникає похибка відпрацювання напору 0,8 м на відмінну від системи з класичною моделлю, в якій у цій робочій точці тиск стабілізується. Це означає, що класична модель може давати помилкові данні про статичні похибки відпрацювання напору, а в реальній системі тиск у цих точках стабілізуватися не буде за рахунок виходу регулятора у зону обмежень.

Висновки. В роботі досліджено доцільність використання пакету SimHydraulics для дослідження систем автоматизації двох послідовно з'єднаних насосних установок. Математична модель побудована на базі блоків тулбоксу SimHydraulics дозволяє підвищити якість і точність досліджень за рахунок використання методу оцінки параметрів системи за реальними Q-H характеристиками.

В статичних режимах роботи різниця основних величин досліджуваних моделей складає 6%, тоді як в динамічних 15,4 %. Подальше використання отриманих результатів при проектуванні та дослідженні нових систем водопостачання, за рахунок більшої точності аналізу процесів у системі, дозволить підвищити їх енергоефективність.

Список використаних джерел

1. Пасечник М. В., Бур'ян С. О. Дослідження енергоефективності електромеханічної системи насосного комплексу з врахуванням плавної зміни параметрів гідромережі. *Електротехнічні та комп'ютерні системи. Науково-технічний журнал. Тематичний випуск: Проблеми автоматизованого електроприводу.* Київ : Техніка. 2014. №15(91). С. 162-164.

2. Бур'ян С. О. Печеник М. В., Бабарова А. І. Дослідження роботи електромеханічної системи автоматизації насосної установки на основі пакету SimHydraulics. Електромеханічні та енергетичні системи. Методи моделювання та оптимізації. *Збірник наукових праць XVII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук.* 11-12 квітня 2019 р. Кременчук, КрНУ, 2019. С. 10-12.

3. Бур'ян С.О., Печеник М. В., Боднар Д. О. Оптимальне керування насосною установкою з варіацією параметрів гідро мережі. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".* Харків : НТУ "ХПІ". 2015. № 12(1121). С. 54-59.

4. Leonhard W. Control of Electrical Drives. Springer. Verlag, Berlin. 1996. 420 p.

5. Matlab Simulink Tutorial URL: https://www.mathworks.com/help/simulink/ug/share-project-on-github.html (дата звернення: 14.11.2018).

Аннотация

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК В ПАКЕТЕ SIMHYDRAULICS

Бурьян С.А., Печеник Н.В., Землянухина А.Ю., Бабарова А.И.

Проведен сравнительный анализ результатов исследования системы стабилизации давления последовательно соединенных насосов с классическим математическим описанием и виртуальной физической модели выполненной в пакете SimHydraulics.

Abstract

INVESTIGATION OF ELECTROMECHANICAL AUTOMATION SYSTEM SERIALLY CONNECTED PUMPING UNITS WORK IN THE PACKAGE SIMHYDRAULICS

S. Burian, M. Pechenik, H. Zemlianukhina, A. Babarova

Comparative analysis of the pressure stabilization system research results of series-connected pumps with classical mathematical description and virtual physical model performed in SimHydraulics package was carried out.