

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ НА ОСНОВІ ПАКЕТУ SIMHYDRAULICS

Бур'ян С.О., к.т.н., доц., Печеник М.В., к.т.н., доц., Бабарова А.І., студентка
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Насосні установки (НУ) країни щорічно споживають біля 60 млрд. кВт·год електроенергії, тобто приблизно 20% всієї електроенергії, яка виробляється енергосистемами країни. Проте, їх велика кількість є нерегульованими або працюють не з максимальною енергоефективністю. Так, наприклад, в результаті застосування неекономічних способів регулювання в системах водопостачання та водовідводу втрачається 5-15% споживаної електроенергії, а в деяких з них втрати досягають 20-30% [1].

Одним із способів дослідження режимів роботи НУ є метод математичного моделювання, але класичний математичний опис роботи насосної установки [2] не повністю відображає складні гідро-механічні процеси, що там протікають. В свою чергу пакет прикладних програм MATLAB пропонує тулбокс SimHydraulics, в якому в достатньо повному обсязі представлені засоби моделювання гідро мереж.

Мета роботи. Порівняльний аналіз результатів дослідження системи стабілізації тиску віртуальної фізичної моделі насосної установки у пакеті SimHydraulics та порівняння її з класичним математичним описом.

Матеріали досліджень. SimHydraulics – це окрема бібліотека пакету Simulink середовища MATLAB. Вона поєднує в собі функціональні можливості бібліотек SimPowerSystems, SimMechanics и SimDrivline, дозволяючи розробникам систем імітувати взаємопов'язану роботу механізмів.

Розглянемо системи стабілізації тиску, яка представлена на рис. 1, та має дві моделі насоса. Перша – представлена блоками пакету SimHydraulics, а друга – моделлю, яка базується на класичних рівняннях, що описують насос.

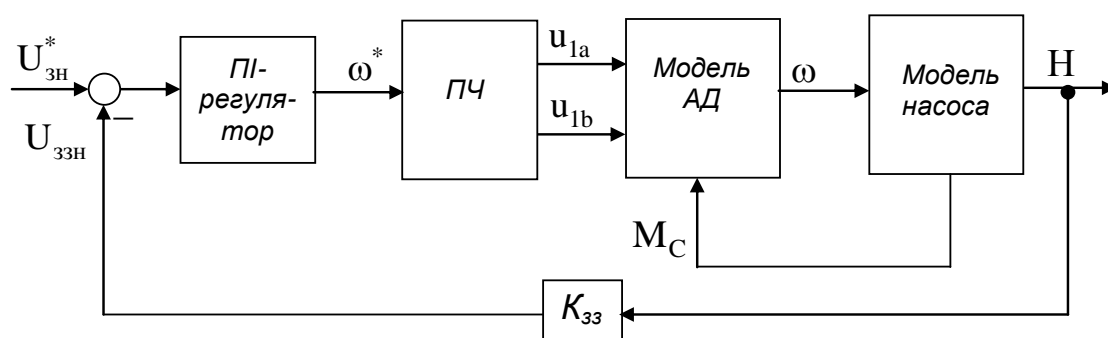


Рисунок 1 – Структурна схема системи керування насосною установкою

На рис. 1 прийняті наступні позначення: U_{zn}^* – напруга завдання за тиском; ω^* – сигнал завдання швидкості; U_{zz}^* – напруга зворотного зв'язку за тиском; u_{1a} , u_{1b} – компоненти вектора напруги статора; M_c – момент навантаження, що формує насос; K_{zz} – коефіцієнт зворотного зв'язку за тиском; ω – кутова швидкість обертання двигуна; H – тиск на виході насоса.

Дану систему можна розділити на дві основні частини: механічну, яка містить систему керування асинхронним двигуном та власне двигун, та гідравлічну, яка включає в себе насос, резервуар та гідравлічні з'єднання.

Блоки «ПЧ» та «Модель АД» представляють собою підсистеми, які поєднують в собі модель перетворювача частоти та асинхронного двигуна [3]. Блок «Модель насоса» – це підсистема моделі насоса, тобто гідравлічна частина, яка реалізована за допомогою блоків бібліотеки SimHydraulics. Також модель містить підсистему ПІ-регулятора тиску.

Перехідні процеси в одинарній насосній установці описуються нелінійним диференціальним рівнянням першого порядку:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{H_{0H}}{\chi\omega_H^2} \omega^2 - \frac{H_{ст}}{\chi} - \frac{1}{\chi} (a_H + a) Q^2, \quad (1)$$

а також рівнянням для визначення тиску, що формує насос

$$H = \frac{H_{0H}}{\chi\omega_H^2} \omega^2 - a_H Q^2, \quad (2)$$

та моменту навантаження приводного двигуна:

$$M_c = \frac{\rho g Q H}{\eta_{нас} \omega}, \quad (3)$$

де H_{0H} – номінальний напір при нульовій подачі насосу на номінальній швидкості; Q – продуктивність насосу; ω_H – номінальна швидкість обертання насосу; a – опір гідромережі; a_H – номінальний гідравлічний опір насосу; χ – стала інтегрування; $H_{ст}$ – геодезична висота підйому води; ρ – густина води; g – прискорення вільного падіння; $\eta_{нас}$ – ККД насосу.

Розглянемо детальніше елементи та їх функції підсистеми «Модель насоса», яка зображена на рис. 1 в розгорнутому вигляді і була реалізована в SimHydraulics, як показано на рис. 2 [4].

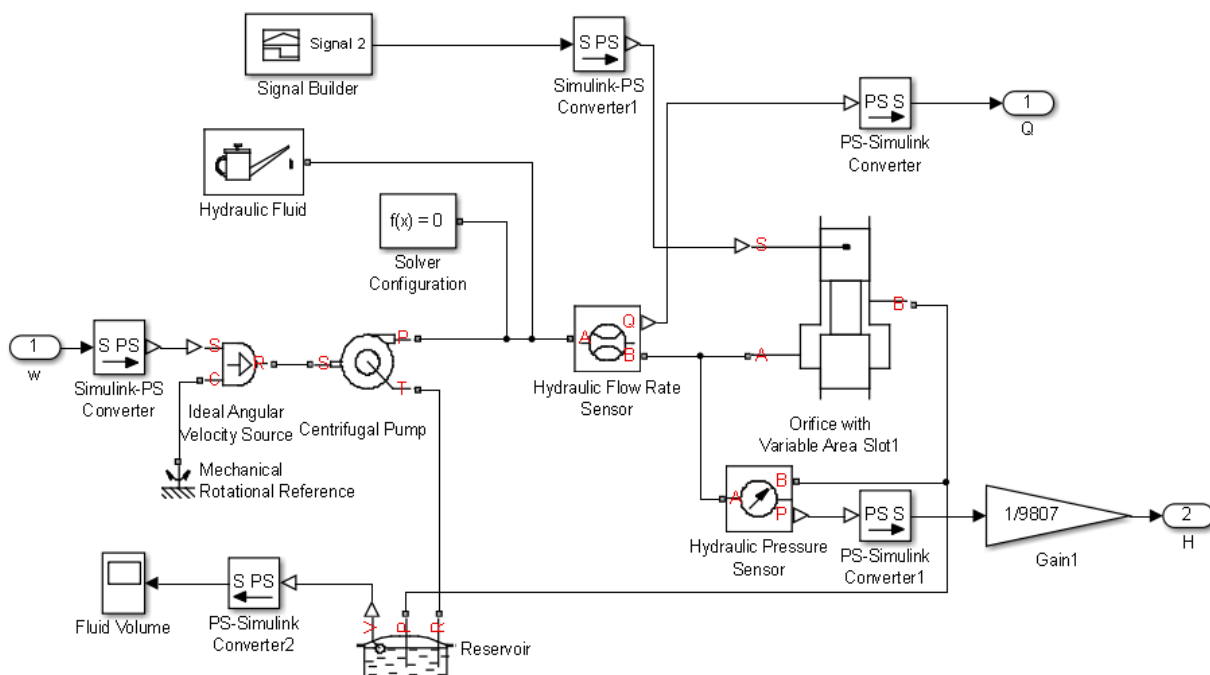


Рисунок 2 – Вигляд підсистеми «Модель насоса»

Швидкість ω , що надходить з виходу двигуна, тобто підсистеми *Модель АД* подається на блок відцентрового насосу *Centrifugal Pump* через блоки *Ideal Angular Velocity* та *Source Simulink-PS Converter*, який спочатку конвертує вхідний сигнал Simulink в фізичний сигнал. Блок *Ideal Angular Velocity* імітує ідеальне джерело кутової швидкості в механічних обертових системах і має 3 порти. S – це вхід, на який подається швидкість, R – вихід, а до порту C підключається блок *Mechanical Rotation Reference*, який використовується для підключення механічних обертових портів, які жорстко з'єднані з землею. Цей блок являє собою механічну точку відхилення, тобто землю, за допомогою якого здійснюється зв'язок з атмосферним тиском.

Блок *Centrifugal Pump* має кілька методів параметризації даних, вибір яких залежить від даних, перелічених у каталогах виробника або таблицях даних для конкретного насоса.

Перший метод за апроксимуючими поліномами полягає у встановленні значень коефіцієнтів для них. Ці значення можна визначити аналітично або експериментально, залежно від наявних даних. Другий метод за характеристиками 1D: P-Q та N-Q. Задаються табличні дані залежності потужності та напору від продуктивності характеристики насоса у векторному вигляді. Третій метод аналогічний другому, тільки використовується двовимірна характеристика залежностей від швидкості обертання: P-Q-W та N-Q-W.

У ході створення та дослідження моделі був обраний метод оцінки параметрів за Q-H характеристикою насоса.

Як видно з рисунку, робоча рідина перекачується по колу з резервуару, вибір якої здійснюється блоком *Hydraulic Fluid*. Блок *Centrifugal Pump* має два гідравлічних порти, зв'язаних з трубопроводами всмоктування T і нагнітання P насоса та механічний порт S. Послідовно з гідропроводом підключається блок *Hydraulic Flow Rate Sensor*, який являє собою датчик продуктивності. Паралельно до трубопровода під'єднується блок датчика тиску *Hydraulic Pressure Sensor*, за допомогою якого вимірюється величина напору.

Зміна гідравлічного опору відбувається за допомогою блоку *Orifice with Variable Area Slot*, який підключається до трубопроводу, де входом є порт A, а виходом порт B. На вхід S подається зміна величини перекриття або відкриття імітованого вентиля *Orifice with Variable Area Slot* у метрах за допомогою блоку *Signal Builder*, який реалізує можливість завдання сигналів різних форм графічно.

Сигнал завдання, який подається у першому випадку на блок *Orifice with Variable Area Slot* у вигляді перекриття дроселя в міліметрах, а у випадку з математичною моделлю насоса гідравлічним опором a в $\text{м}^5/\text{с}^2$, представляється блоком *Signal Builder* (бібліотека *Sources*).

Розглянемо роботу цих двох моделей при ступінчатій зміні гідравлічного опору в умовах стабілізації тиску на виході насоса. Графіки перехідних процесів у системі представлені на рис. 3 (лінія 1 – модель з насосом на основі рівнянь, лінія 2 – гідравлічна частина виконана в SimHydraulics).



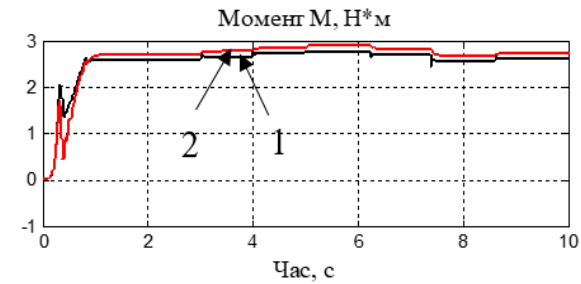
а)



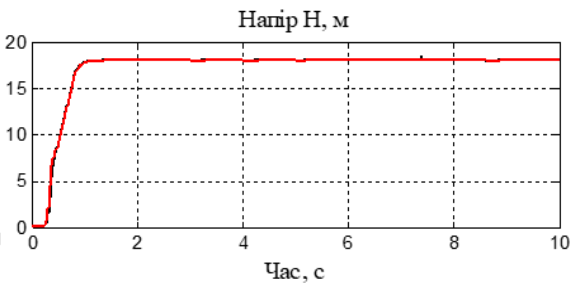
б)



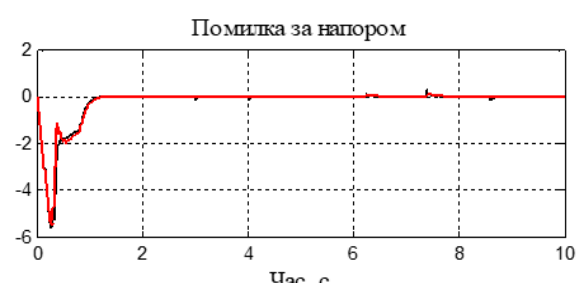
в)



г)



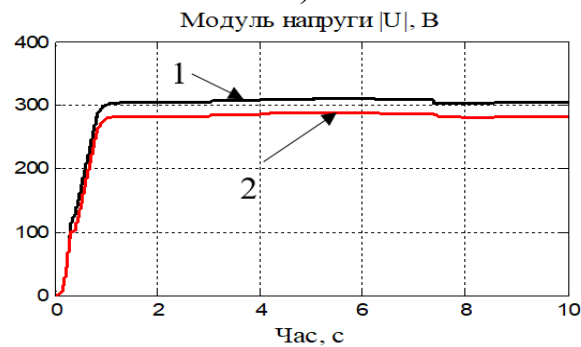
д)



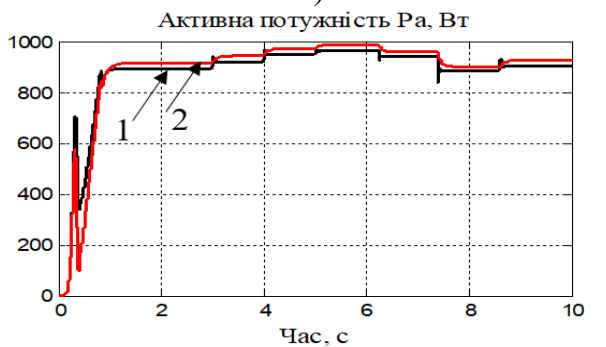
е)



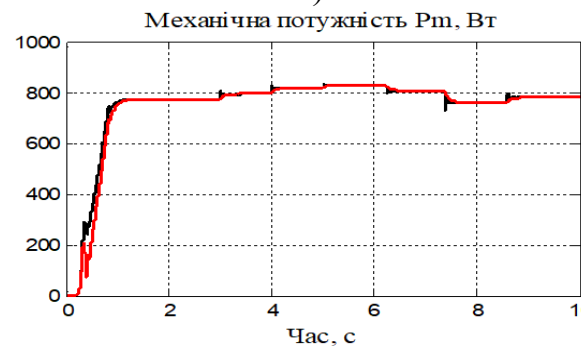
ж)



з)



и)



о)

Рисунок 3 – Графіки перехідних процесів при моделюванні двох моделей насосів при ступінчатій зміні гідравлічного опору a

Як видно з графіків на рис. 3, завдання гідравлічного опору ступінчасто зменшується на проміжку часу від 0 до 6.25с з різними інтервалами часу та величинами, після чого збільшується на проміжку від 6.25с до 8.6с, а потім знову зменшується до певного значення (а). В початковий момент часу від 0 до 1с двигун здійснює розгін і виходить на задану швидкість (в). Основна відмінність роботи моделей полягає у деякому відхиленні величин швидкості, моменту, струму, напруги та активної потужності у моделі на основі рівнянь. В обох системах тиск стабілізується на заданому рівні (18 м), відхилення у класичній моделі складають 0.12 Н·м за моментом (4% від номінального значення) та 10 рад/с за швидкістю.

Графік похибки стабілізації напору представлений на рис. 4, з якого видно, що динамічна похибка при ступінчатій зміні опору гідромережі у системі з класичною моделлю у 2,5 рази більші за похибку у системі, що побудована на основі блоків SimHydraulics.

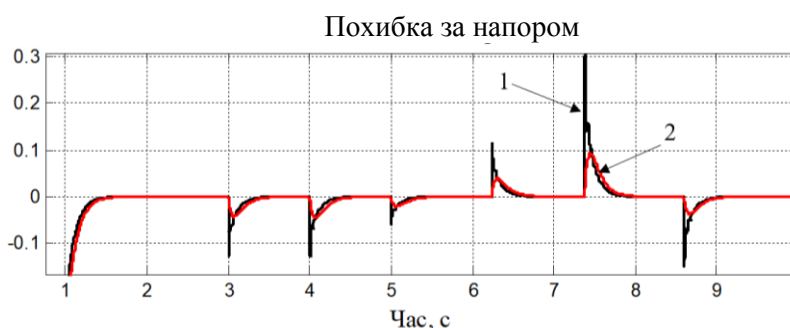


Рисунок 4 – Графік перехідного процесу похибки напору

Висновки. В роботі показана доцільність використання пакету SimHydraulics для дослідження систем автоматизації насосних установок. Математична модель розроблена в SimHydraulics дозволяє підвищити точність досліджень за рахунок використання розширеного методу апроксимації робочих характеристик насоса, а саме за реальною Q-H характеристикою, тоді як в класичній моделі апроксимація відбувається лише виходячи з номінальних параметрів насоса та може бути використана тільки для квадратичних Q-H характеристик. Різниця в статичних режимах досліджуваних моделей складає 4%, а в динамічних може перевищувати 150%. Отримані результати можна використовувати при проектуванні та дослідженні нових систем автоматизації насосних установок з метою підвищення їх енергоефективності за рахунок більш точного аналізу процесів, що протікають у системі.

Перелік посилань

1. Перекрест А. Л. Системы активного регулирования параметров насосных комплексов. Итоги и направления развития //Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2011. – №. 1. – С. 15-20.
2. Pechenik N. Sensorless control of water supply pump based on neural network estimation / N. Pechenik, O. Kiselychnyk, S. Buryan, D. Petukhova // Electrotechnic and Computer Systems. Scientific and technical journal. – Odesa, 2011. – №03 (79). – pp. 462-466.
3. Leonhard W. Control of Electrical Drives. Springer – Verlag, Berlin: 1996. – 420 p.
4. Matlab Simulink Tutorial URL: <https://www.mathworks.com/help/simulink/ug/share-project-on-github.html> (дата звернення: 14.11.2018).