

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОЦІНЮВАЧА ККД НАСОСУ В ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМАХ

Герашенко І.М., магістрант, Титаренко А.С., студентка, Бур'ян С.О., к.т.н.,
доц., Печеник М.В., к.т.н., доц.

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем
та електроприводу*

Вступ. Пристрої вимірювання координат та параметрів технологічних об'єктів є невід'ємною складовою структури електромеханічних систем автоматичного керування турбомеханізмами. В свою чергу давачі, що надають інформацію про технологічні координати насосних установок, є досить дорогими та у багатьох випадках їх неможливо змонтувати або замінити без втручання в гідравлічну мережу. Для зменшення давачів у системі широко застосовується теорія оцінювачів. Одним із шляхів технічної реалізації останніх є застосування штучних нейронних мереж, які на основі вже відомих вимірюваних координат дозволяють оцінити значення інших координат, наприклад напору, продуктивності насосу, його механічну потужність, коефіцієнт корисної дії (ККД) [1] та інші. Такий підхід дозволяє реалізувати бездавачеві алгоритми керування з метою підвищення енергоефективності системи автоматичного керування турбомеханізмами. Тому актуальним завданням є побудова оцінювача ККД насосу на основі нейронної мережі та експериментальна перевірка його працездатності.

Мета роботи. Розробка та перевірка працездатності оцінювача ККД насосу на основі нейронної мережі на базі плати розробника DE1-SoC з програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛІС) в динамічних режимах.

Матеріали і результати досліджень. Для створення штучної нейронної мережі (ШНМ) необхідною і достатньою є інформація про масиви робочих точок ККД η насосу, напору H , продуктивності Q або іншої координати, наприклад потужності P , на різних швидкостях обертання двигуна. Точність датчика ККД, який оцінює його значення для необхідної робочої точки, залежить від кількості робочих точок, які закладені у ШНМ.

Для отримання необхідних робочих точок зручно використати каталожні характеристики насосів, їх можна отримати з електронних каталогів виробників або зняти експериментально. У якості прикладу було знято 10 каталожних характеристик: $Q-H$, $Q-P$ та $Q-KKД$ для насосу потужністю 330 Вт.

Для тренування оцінювача ККД насосу використано пакет прикладних програм MatLab з редактором нейронних мереж (Network Data Manager).

Загальне рівняння, що описує роботу нейронної мережі, записується наступним чином [2]:

$$\hat{\eta} = c(\text{th}((Hw_{11} + Pw_{12} + b_1) / a_1)w_1 + \text{th}((Hw_{21} + Pw_{22} + b_2) / a_2)w_2 + \text{th}((Hw_{31} + Pw_{32} + b_3) / a_3)w_3 + \text{th}((Hw_{41} + Pw_{42} + b_4) / a_4)w_4 + \text{th}((Hw_{51} + Pw_{52} + b_5) / a_5)w_5 + \text{th}((Hw_{61} + Pw_{62} + b_6) / a_6)w_6 + \text{th}((Hw_{71} + Pw_{72} + b_7) / a_7)w_7 + \text{th}((Hw_{91} + Pw_{92} + b_9) / a_9)w_9 + \text{th}((Hw_{101} + Pw_{102} + b_{10}) / a_{10})w_{10} + b), \quad (1)$$

де c – коефіцієнт нахилу лінійної функції активації; th – активаційна функція нейрона; H – напір насосу; $w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{im}$ – вагові коефіцієнти синаптичних зв'язків; P – споживана активна потужність двигуна; b_i – зміщення нейрона; a_1, a_2, \dots, a_i – коефіцієнти нахилу функції гіперболічного тангенса tansig .

На наступному кроці було сформовано навчальні масиви (P-H) та (ККД-H) та навчено штучну нейронну мережу. Максимальна похибка навчання становить $7.232e-5$, такий результат досягається за 31 епоху тренування. Коефіцієнт регресії становить 0.9962.

Для технічної реалізації нейронної мережі була використана плата розробника фірми Altera з програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛІС) типу FPGA сімейства Cyclone V. На платі розміщено програматор USB-Blaster з інтерфейсом програмування JTAG, генератор тактової частоти та 12-ти розрядний АЦП, що має 8 аналогових входів. На ПЛІС реалізовано процесор Nios II, а також синхронний послідовний порт, за допомогою якого і відбувається зчитування даних з АЦП.

Для коректної роботи нейронної мережі вхідні та вихідні сигнали були промасштабовані у діапазоні від -1 до 1.

Блок-схема нейронного оцінювача, запрограмованої у ПЛІС, представлена на рис. 1.



Рисунок 1 – Блок-схема нейронної мережі

Для програмування на мові C використане програмне забезпечення Nios II Software Build Tools for Eclipse фірми-виробника Altera. Вхідні та вихідні сигнали у режимі реального часу виводилися на дисплей ПК для візуальної оцінки.

Лабораторна установка на рис.2, представляє собою стенд, на передній панелі якого розміщені потенціометр R1 для регулювання завдання швидкості, цифровий амперметр PA1 для виведення значення сигналу від датчика тиску H, цифровий вольтметр PV1, що підключений до аналогового виходу перетворювача для відображення значення потужності P, автоматичний вимикач QF та перетворювач частоти марки Lenze. Також до стенду підключено плату розробника фірми Altera – DE1-SoC, на якій реалізована нейронна мережа.

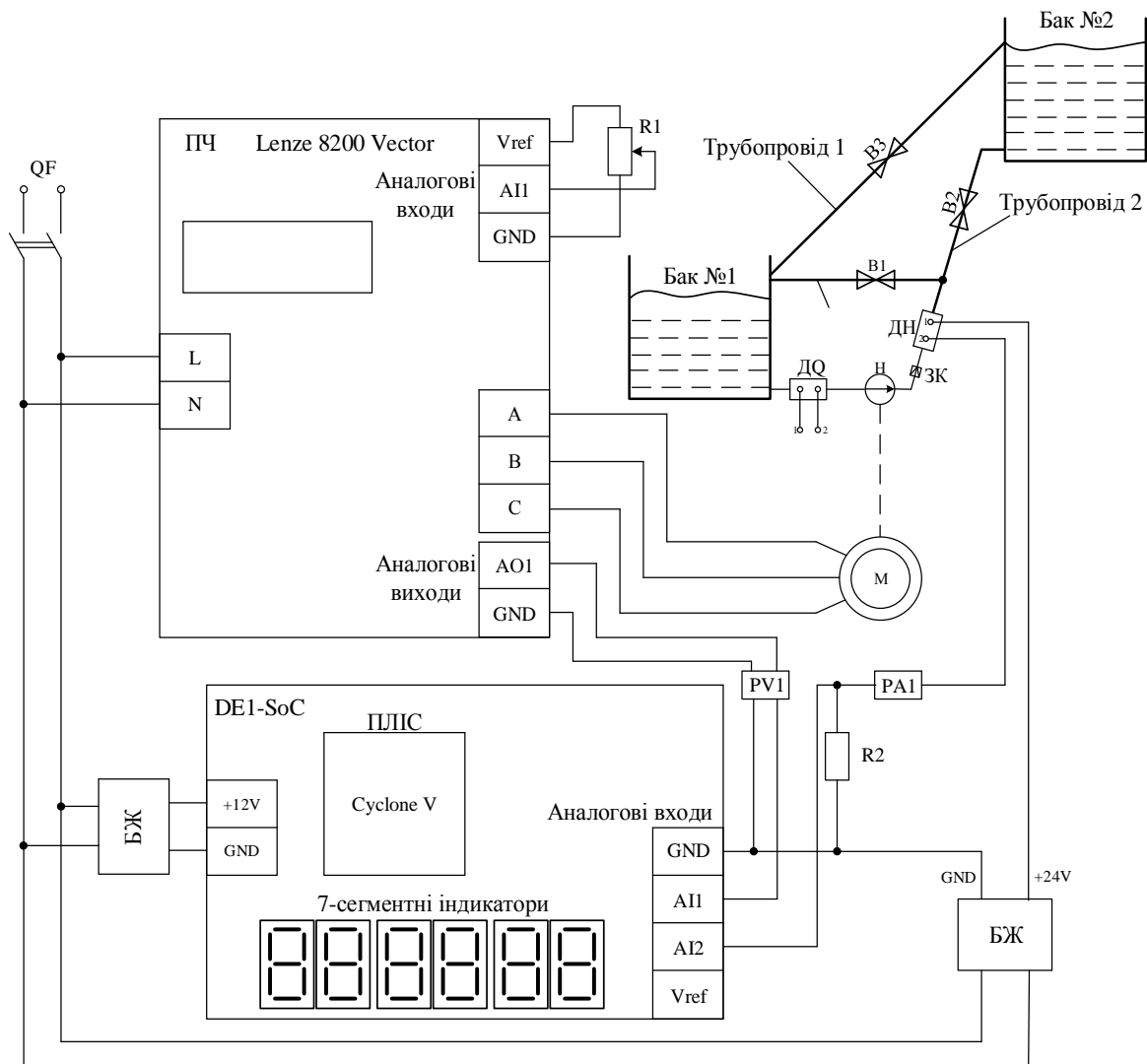


Рисунок 2 – Функціональна схема експериментальної установки

Поряд зі стендом знаходиться насос марки Calpeda MXH 202E з асинхронним двигуном М потужністю 0,33 кВт, який під'єднано до перетворювача частоти Lenze 8200 Vector потужністю 0,75 кВт. На вході насоса розміщено фітинг, до якого приєднано манометр для візуальної фіксації тиску у трубі, витратомір ДQ з імпульсним виходом та датчик тиску ДН зі струмовим виходом. Для запобігання зворотному ходу води у насос на виході фітингу розташований зворотний клапан.

Було проведено ряд досліджень динамічних режимів роботи насосної установки для перевірки роботи оцінювача ККД.

1) Стрибокподібна зміна гідравлічного опору в 3 етапи при сталій частоті обертання приводного асинхронного двигуна в 50 Гц.

2) Плавна зміна гідравлічного опору при сталій частоті обертання приводного асинхронного двигуна в 50 Гц.

3) Плавне збільшення частоти обертання приводного двигуна від 0 до 50 Гц і у зворотному напрямку при фіксованому гідравлічному опорі.

У всіх дослідах оцінювався ККД насосу та вимірювався напір.

Результати дослідження динамічних характеристик нейронної мережі насосної установки представлено на рис. 3-5.

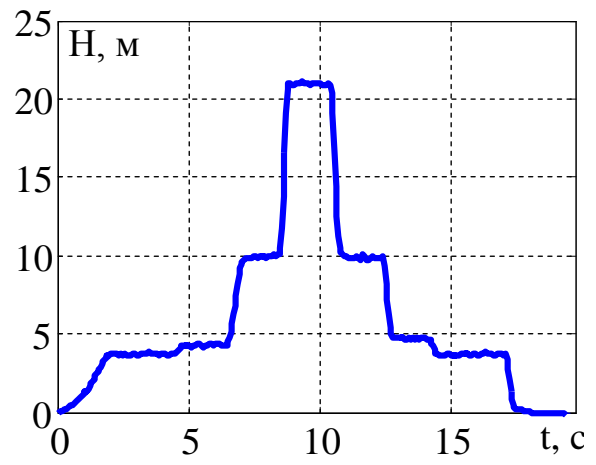
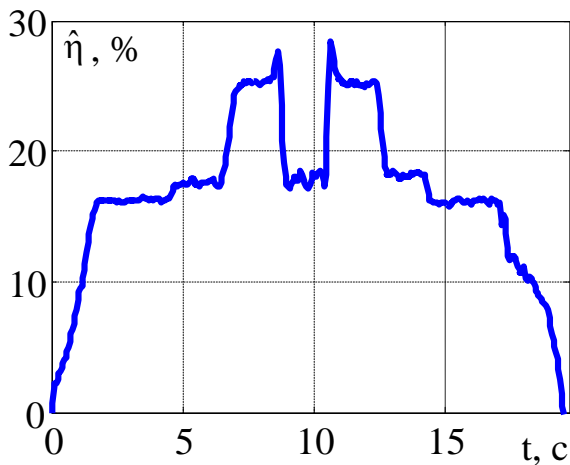


Рисунок 3 – Перехідні процеси насосної установки при $f=50$ Гц, стрибкоподібна зміна опору гідравлічної системи

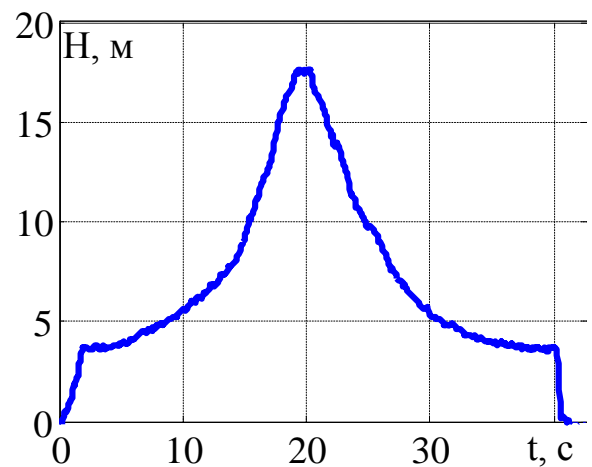
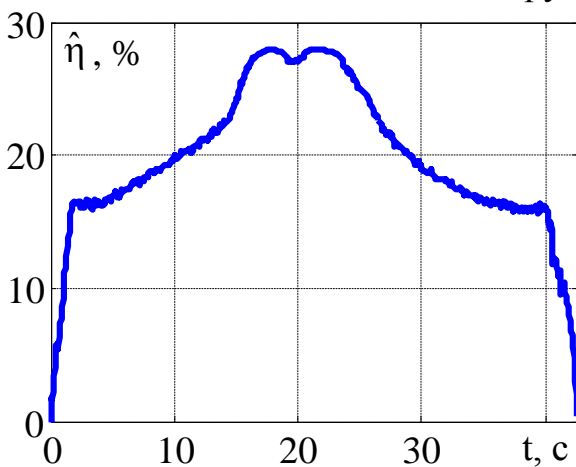


Рисунок 4 – Перехідні процеси насосної установки при $f=50$ Гц, плавна зміна опору гідравлічної системи

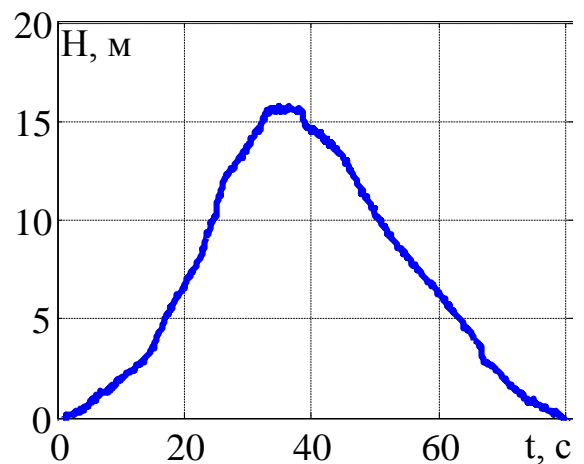
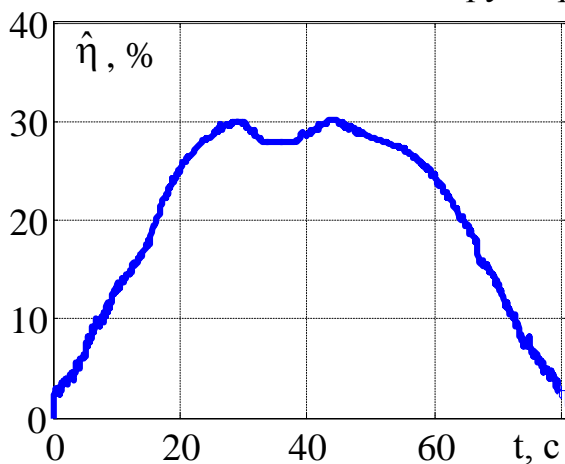


Рисунок 5 – Перехідні процеси насосної установки при зміні частоти обертання двигуна, опір гідравлічної системи фіксований

Як видно з рисунків 3-5 оцінювач ККД виконує свою функцію та дозволяє оцінити енергоефективність системи в динамічних режимах.

На рис. 3 зображені графіки перехідних процесів напору та ККД при стрибкоподібній зміні гідравлічного опору з повністю відкритого до повністю закритого (найбільш критичний режим). У зоні максимального тиску, що

створює насос, (H=21 м, вентиль, повністю перекритий) коректне оцінювання ККД неможливе. При інших значеннях опору гідромережі значних коливань значення ККД не виявлено, тобто оцінювач виконує свою функцію.

На рис. 4 показані графіки перехідних процесів напору та ККД при плавному збільшенні опору гідромережі з повністю відкритого до закритого на 80% вентилю. При цьому коливання ККД відсутні, що пояснюється плавністю процесів у системі та відсутністю критичних зон максимального тиску.

Такі дослідження дають змогу знайти точки максимального ККД при фіксованій частоті обертання шляхом зміни опору гідромережі для підвищення енергоефективності системи.

На рис. 5 демонструються графіки перехідних процесів напору та ККД при деякому фіксованому значенні опору гідромережі та плавній зміні частоти обертання. Як видно з рисунку, максимум ККД (біля 30%) при поточному гідравлічному опорі досягається при частоті трохи меншій за 50 Гц. Це означає, що опір мережі вибраний майже номінальним, тобто робоча точка знаходиться в околі максимального ККД.

Висновки. У даній роботі експериментально перевірено роботу оцінювача ККД насосу на основі штучних нейронних мереж у динамічних режимах. Дослідження найбільш критичних режимів (стрибкоподібна зміна опору гідромережі) показали, що у зонах максимуму тиску погіршується точність роботи оцінювача, при якій вимірювання ККД відбувається із значною похибкою. При плавній зміні опору гідромережі (відкривання крану від 0 до 80% і назад) критичні зони відсутні і процеси протікають плавно, при цьому оцінювач не потрапляє у нестійкі режими.

При фіксованому опорі гідромережі, за рахунок зміни швидкості обертання приводного двигуна, є можливість знайти зону де ККД набуває максимуму. Це дозволяє реалізувати енергоефективні алгоритми керування насосними установками з автоматичним пошуком максимуму ККД при довільному гідравлічному опорі.

Перелік посилань

1. Бур'ян С.О. Оцінювач коефіцієнта корисної дії насосу на основі нейронної мережі та каталожних характеристик / С.О. Бур'ян, Т.В. Грищук// Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 07-08 квітня 2011 р. – Кременчук, КНУб2011. – с. 97-98.

2. Бур'ян С.О. Реалізація оцінювача ККД насосу за допомогою нейронної мережі на базі програмованої логічної інтегральної схеми ALTERA CYCLONE V / С.О. Бур'ян, М.В. Печеник, Я.І.Петровський //Доповіді за матеріалами Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Сучасні проблеми електроенерго-техніки та автоматики. – Київ: ФЕА НТУУ «КПІ», 2015. – С265-267. – Режим доступу: <http://jour.fea.kpi.ua>