УДК 621.22

О. А. Сиротін
Д. О. Лозінський, к.т.н.

УДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ АГРЕГАТІВ МОБІЛЬНИХ МАШИН ДЛЯ РОБОТИ З ПАСИВНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Анотація
Проаналізовано сучасні методи керування гідроприводами мобільних машин при роботі з пасивними навантаженнями. Розглянуто переваги та недоліки традиційних схем керування та систем незалежного керування потоками робочої рідини. Запропоновано підхід до використання нейронних мереж для оптимізації керування гідроприводом та підвищення енергоефективності системи.

Ключові слова: гідропривід, мобільні машини, пасивне навантаження, незалежне керування потоками, нейронні мережі, енергоефективність..

Abstract
The paper analyzes modern control methods for hydraulic drives of mobile machines operating under passive loads. The limitations of traditional meter-in control systems and the advantages of independent metering control are discussed. An approach for using neural networks to optimize valve control and improve the energy efficiency of hydraulic systems is proposed.

Keywords: hydraulic drive, mobile machinery, passive load, independent metering control, meter-out control, neural networks, energy efficiency.

Вступ

Гідравлічні приводи широко застосовуються у мобільних машинах будівельної, дорожньої та сільськогосподарської техніки завдяки високому відношенню потужності до маси, компактності та можливості створення великих зусиль. Разом з тим ефективність таких систем значною мірою визначається способом керування потоками робочої рідини в гідроприводі.

Метою роботи є огляд енергоефективності гідроприводів мобільних машин із застосуванням системи незалежного дозування (IMS) та порівняльний аналіз її переваг відносно традиційних систем.

Результати дослідження

У більшості сучасних мобільних машин використовується дросельне керування потоками через золотникові розподільники, яке може здійснюватися на вході або на виході гідродвигуна. Найбільш поширеним є керування типу «meter-in», при якому регулювання швидкості руху виконавчого органу здійснюється шляхом зміни витрати рідини, що надходить у робочу камеру гідроциліндра або гідромотора. Такий підхід широко використовується в системах «Load Sensing» гідроприводів мобільних машин (екскаваторів, навантажувачів, телескопічних маніпуляторів) завдяки простоті конструкції та високій надійності [1].

Однак при роботі з пасивними або випереджувальними, коли рух виконавчого органу відбувається під дією зовнішньої сили (наприклад, при опусканні вантажу або стріли екскаватора), система «meter-in» має суттєві недоліки. Насос змушений підтримувати тиск, що відповідає навантаженню, хоча фактичне переміщення виконується під дією сили тяжіння або іншого зовнішнього фактору. У результаті значна частина енергії потоку втрачається, оскільки потік рідини скидається через перепускні або запобіжні клапани у бак, що призводить до значних енергетичних втрат і нагріву робочої рідини [2].

Альтернативним підходом є керування типу «meter-out», при якому регулюється потік рідини на виходиді із гідродвигуна. У цьому випадку швидкість руху виконавчого органу визначається ступенем відкриття дроселю на виході, тоді як рух може відбуватися під дією зовнішнього навантаження. Даний підхід дозволяє зменшити необхідний тиск у системі та підвищити енергоефективність гідроприводу. Дослідження показують, що застосування «meter-out» керування у мобільних машинах дозволяє істотно знизити втрати енергії при роботі з випереджальними навантаженнями [3].

Разом з тим класичні гідророзподільники зазвичай мають жорстко пов'язані дросельні щілини на вході та виході, що обмежує можливості оптимізації потоків рідини. Для усунення цього недоліку активно досліджується концепція незалежного керування потоками (Independent Metering Control). У таких системах регулювання потоків на вході та виході гідродвигуна здійснюється незалежно за допомогою окремих клапанів або електрогідравлічних розподільників.

Незалежне керування потоками дозволяє оптимізувати перепади тиску на дросельних елементах, зменшити енергетичні втрати та забезпечити більш гнучке керування гідроприводом. Крім того, така архітектура дає можливість перерозподілу енергії між виконавчими механізмами та використання систем рекуперації енергії [4]. Дослідження показують, що системи з незалежним керуванням можуть забезпечити суттєве зниження витрат енергії у порівнянні з традиційними гідроприводами [5] (рис. 1).

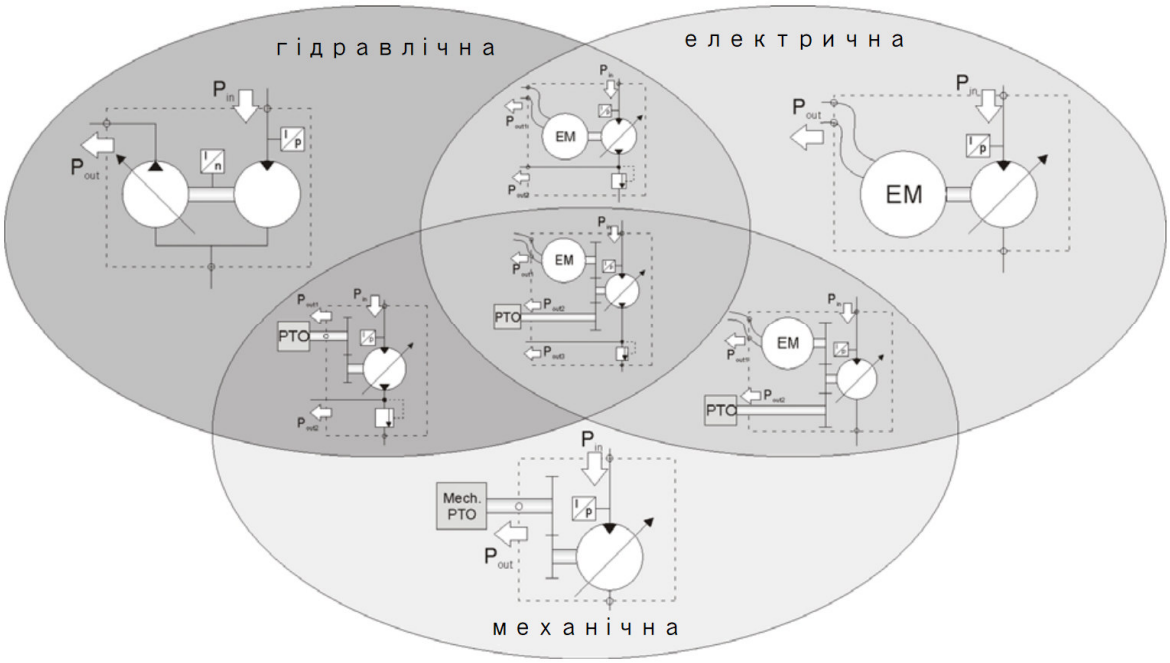


Рис. 1. Різні категорії систем рекуперації енергії та приклади системних рішень у кожній категорії

Разом з тим незалежне керування потоками суттєво ускладнює алгоритми керування, оскільки необхідно координувати роботу кількох клапанів, враховувати нелінійні характеристики гідравлічних елементів, витоки, стисливість рідини та змінні навантаження. У зв'язку з цим останніми роками активно досліджується застосування інтелектуальних методів керування, зокрема нейронних мереж, для управління електрогідравлічними системами.

Нейронні мережі дозволяють апроксимувати нелінійні залежності та компенсувати невизначеності моделі гідравлічної системи. Наприклад, у роботах [6] запропоновано використання RBF-нейронної мережі для оцінки витрати у клапанах незалежного керування, що дозволяє підвищити точність регулювання потоків. Інші дослідження демонструють ефективність застосування нейронних мереж у поєднанні зі слайд-режимним керуванням для підвищення точності позиціонування гідроциліндрів у системах незалежного керування [7].

Висновки

Сучасні тенденції розвитку гідроприводів мобільних машин спрямовані на застосування систем незалежного керування потоками у поєднанні з інтелектуальними алгоритмами управління, що відкриває можливості для підвищення енергоефективності гідравлічних систем, особливо при роботі з пасивними навантаженнями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. P. Marani, M. Milani – Operating principles and simulation of a novel meter out control system for mobile machines – Proceedings of the 10th JFPS International Symposium on Fluid Power, 24-27 October, 2017, Fukuoka.
2. Chen, J.; Jiang, H.; Kong, X.; Ai, C. Mode switching control of independent metering fluid power systems. ISA Trans. 2025, 158, 735–748.
3. P. Marani, M. Martelli, Energy and Control Characteristics of a Novel Meter Out Hydraulic System for Mobile Applications, ASME/BATH Symposium on Fluid Power and Motion Control, 2017.
4. Heybroek K. The Potential of Energy Recuperation in Mobile Hydraulic Systems. The 11th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP'09, June 2-4, 2009, Linköping, Sweden.
5. Huayong Yang, Xu Bing, Min Cheng, Ling Peng, Junhui Zhang, Guohua Sun, Ruqi Ding A review of independent metering control system for mobile machinery. International Journal of Hydromechatronics. 8. 1-39. 10.1504/IJHM.2025.10069815.
6. Ruqi Ding, Peishuai Yan, Min Cheng, Xu Bing A flow inferential measurement of the independent metering multi-way valve based on an improved RBF neural network. Measurement. 223. 113750. 10.1016/j.measurement.2023.113750.
7. Tao X., Liu K., Yang J. Neural Network and Generalized Extended State Observer Sliding Mode Control of Hydraulic Cylinder Position in Independent Metering Systems. Actuators 2025, 14(5), 221; https://doi.org/10.3390/act14050221.

Сиротін Олексій Андрійович – аспірант другого року навчання факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: 00-23-066.stud@vntu.vn.ua.

Лозінський Дмитро Олександрович — к-т техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: lozinskiy_dmitriy@vntu.edu.ua

Syrotin Oleksiy A. – second -year PhD student at the Faculty of Mechanical Engineering and Transport of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: 00-23-066.stud@vntu.vn.ua.

Lozinskyi Dmytro O. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Machine-building technologies and Automation Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: lozinskiy_dmitriy@vntu.edu.ua