

Товкач А. О.
Козлов Л. Г.
Мокринчук О. В.
Колісніченко В. Р.

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ У ПРОЕКТУВАННІ ТА ВИРОБНИЦТВІ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ НАСОСІВ ЗМІННОГО РОБОЧОГО ОБ'ЄМУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Регулятори насосів зі змінним робочим об'ємом є важливим елементом сучасних гідравлічних систем, сприяючи підвищенню їхньої енергоефективності, гнучкості та надійності. Завдяки прогресу у сфері проектування та виробництва впроваджуються новітні технологічні рішення, які вдосконалюють характеристики цих пристроїв. Розглянуто сучасні тенденції розвитку пропорційної апаратури, спрямовані на створення ефективних і технологічних гідросистем. Використання сучасних регульованих насосів і пропорційної апаратури гарантує високу ефективність, точне керування та економію енергії, що робить їх важливими компонентами промислових, мобільних і автоматизованих виробничих систем.

Ключові слова: гідросистема, регульований насос, пропорційна апаратура, пропорційне керування, електромагніт.

Abstract

Variable displacement pump controllers are an essential part of modern hydraulic systems, contributing to their energy efficiency, flexibility and reliability. Advances in design and manufacturing are introducing new technological solutions that improve the performance of these devices. Modern trends in the development of proportional equipment are considered, aimed at creating efficient and technological hydraulic systems. The use of modern adjustable pumps and proportional equipment guarantees high efficiency, precise control and energy saving, which makes them important components of industrial, mobile and automated production systems.

Keywords: hydraulic system, adjustable pump, proportional equipment, proportional control, electromagnet.

Вступ

Регулятори для насосів змінного робочого об'єму відіграють ключову роль у сучасних гідравлічних системах, забезпечуючи енергоефективність, адаптивність та надійність роботи. З розвитком технологій проектування та виробництва з'явилися нові підходи, що покращують характеристики цих пристроїв. Замість механічних регуляторів широко використовуються електрогідравлічні системи керування, які забезпечують точнішу та швидшу реакцію на зміни навантаження. Поєднання електронного керування з традиційною гідравлікою дозволяє автоматично регулювати продуктивність насоса залежно від поточних умов роботи [1, 2].

Результати дослідження

Передові виробники гідравлічної апаратури, агрегатів та систем такі як Bosch Rexroth AG, Parker Hannifin, Sauer Danfoss, Linde Hydraulics значну увагу приділяють розрахункам та розробкам, що значно покращують робочий цикл і зменшують втрати потужності [3].

На рисунку 1 зображено схему регулятора насоса фірми Bosch Rexroth AG серії DR0 для аксіально-поршневого регульованого насоса A10VO серія 60, а на рисунку 2 - залежність робочого тиску і витрати насоса [4].

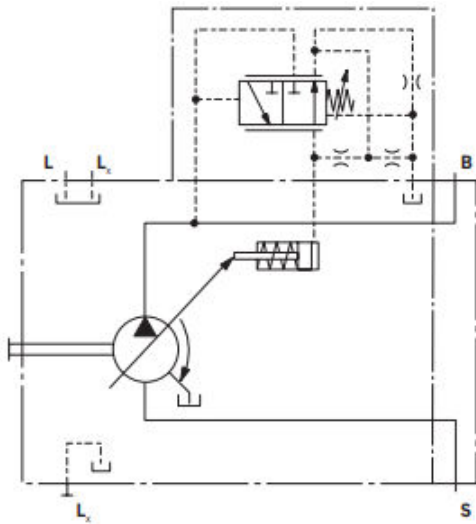


Рисунок 1 - Схему регулятора насоса фірми Bosch Rexroth AG серії DR0

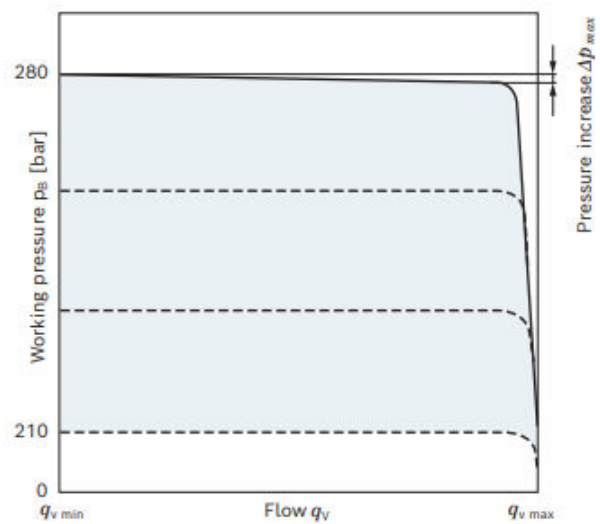


Рисунок 2 – Залежність робочого тиску і витрати насоса

Регулятор тиску обмежує максимальний тиск на виході насоса в межах діапазону регулювання регульованого насоса. Регульований насос подає лише стільки гідравлічної рідини, скільки потрібно споживачам. Якщо робочий тиск перевищує задане значення тиску на клапані тиску, насос змінить регулювання для зменшення робочого об'єму і знизить диференціал керування. Залежність на Рис. 2 отримана при кількості обертів n вала гідронасоса $n = 1500$ об/хв і температурі t робочої рідини $t = 50^\circ\text{C}$.

На рисунку 3 зображено схему регулятора насоса фірми Bosch Rexroth AG з серії DRS для аксіально-поршневого регульованого насоса A10VO серія 60 та залежність робочого тиску і витрати насоса на рисунку 4.

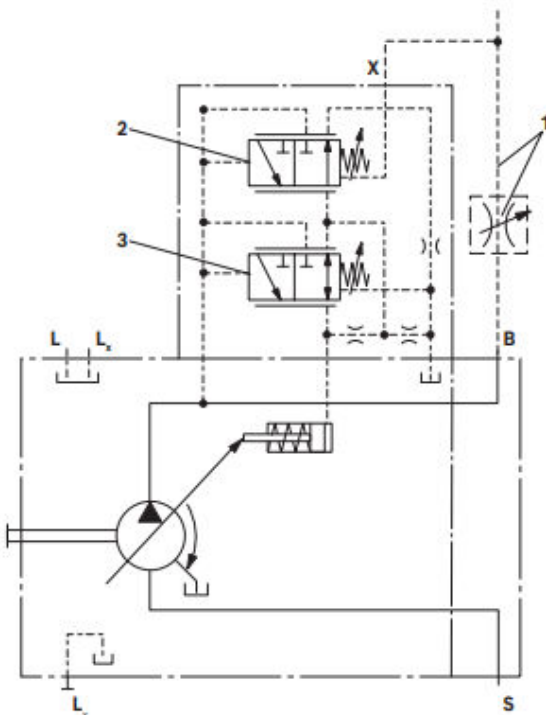


Рисунок 3 - Схему регулятора насоса фірми Bosch Rexroth AG серії DRS

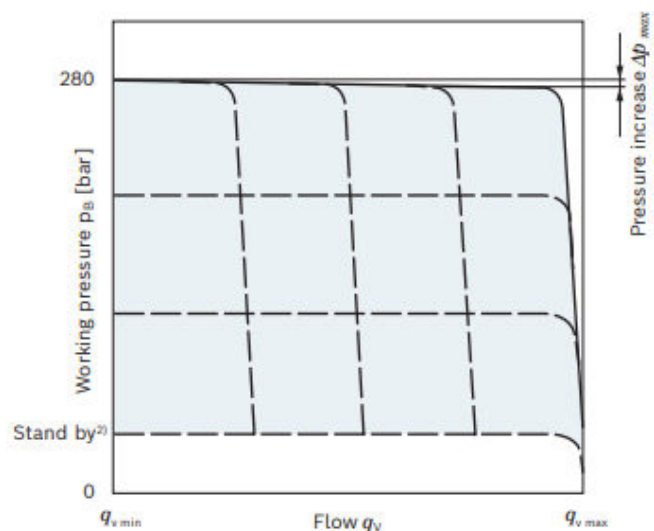


Рисунок 4 – Залежність робочого тиску і витрати насоса

На додаток до функції регулятора тиску (рис. 1), функціонал регулятора можна розширити для контролю витрати насоса. Подача насоса дорівнює фактичній кількості гідравлічної рідини,

необхідної споживачу. Залежність на Рис. 4 отримана при кількості обертів n вала гідронасоса $n = 1500$ об/хв і температурі t робочої рідини $t = 50^\circ\text{C}$.

На рисунку 5 зображено схему регулятора насоса фірми Bosch Rexroth AG серії EC4 для аксіально-поршневого регульованого насоса A10VO серія 60, на рисунку 6 - залежність робочого тиску від регулювання кута повороту планшайби, а на рисунку 7 - залежність кутової швидкості повороту планшайби від струму електромагніта.

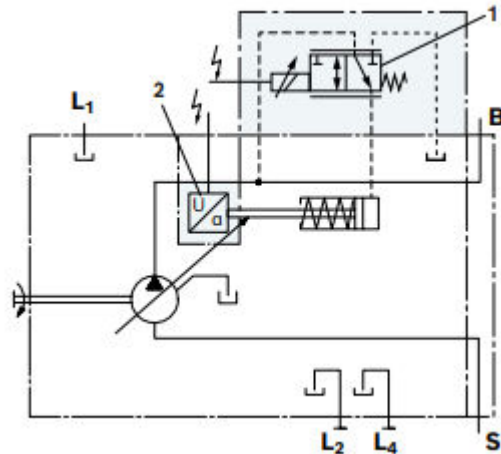


Рисунок 5 - Схему регулятора насоса фірми Bosch Rexroth AG серії EC4

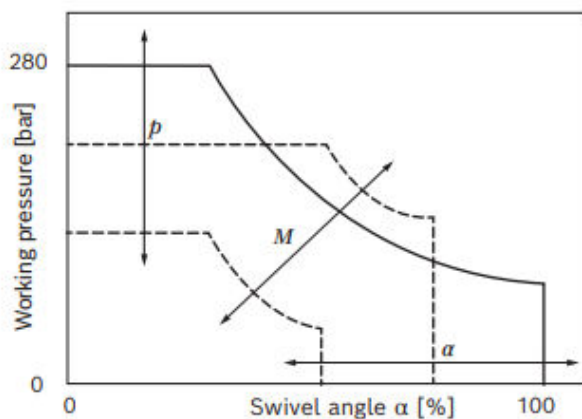


Рисунок 6 - залежність робочого тиску від регулювання кута повороту планшайби

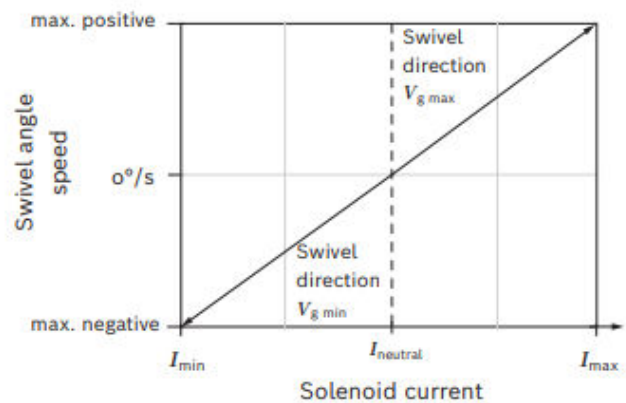


Рисунок 7 - залежність кутової швидкості повороту планшайби від струму електромагніта

Пропорційний клапан служить для керування аксіально-поршневим регульованим насосом із функціями керування в електронному замкнутому контурі керування. Золотник знаходиться між пропорційним електромагнітом і пружиною і змінює площу поперечного перерізу робочого вікна залежно від ходу. Це призводить до пропорційності електромагнітного струму по відношенню до поперечного перерізу отвору і, таким чином, до швидкості обертання насоса.

Технічні дані пропорційного електромагніта: тип EC4, гранична напруга котушки становить 36В постійного струму, максимальний струм - 1900 мА, номінальний опір при температурі обмотки 20°C - $4,26 \pm 0,26$ Ом, номінальний опір при температурі обмотки 180°C - $6,92 \pm 0,42$ Ом, гранична температура для ізоляційного матеріалу обмотки класу H - 180°C , допустима температура робочої рідини від -40°C до $+110^\circ\text{C}$.

На рисунку 8 зображено схему регулятора насоса фірми Bosch Rexroth AG серії ER для аксіально-поршневого регульованого насоса A10VO серія 31, на рисунку 9 - залежність робочого тиску від величини струму керування електромагніта, а на рисунку 10 - залежність робочого тиску від витрати.

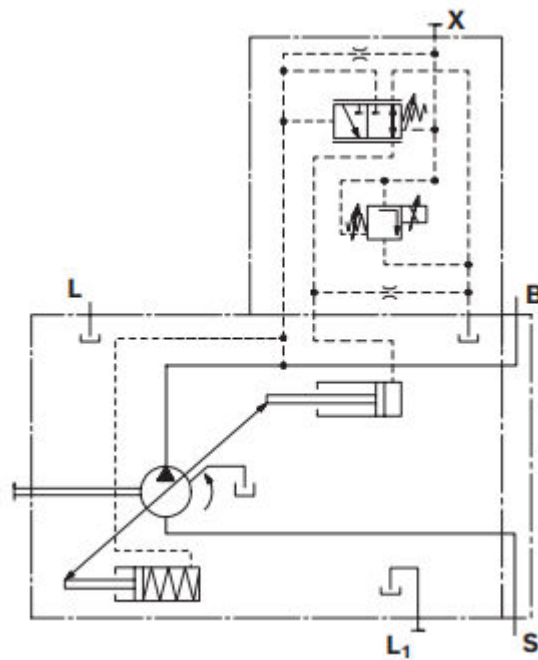


Рисунок 8 - Схему регулятора насоса фірми Bosch Rexroth AG серії ER

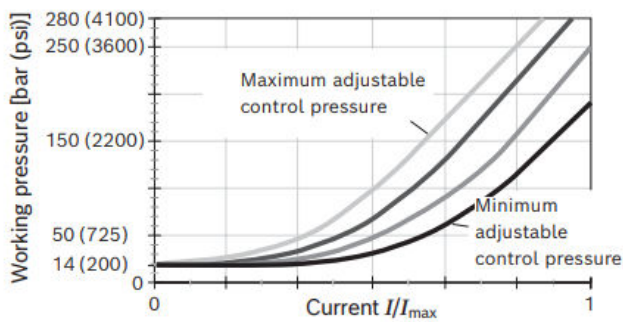


Рисунок 9 - залежність робочого тиску від величини струму керування електромагніта

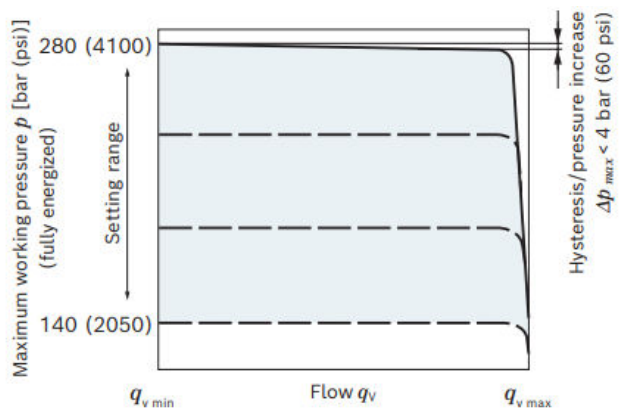


Рисунок 10 – залежність робочого тиску від витрати

Клапан ER налаштовується на певний тиск за допомогою заданого змінного струму соленоїда.

При зміні навантаження на систему (тиск навантаження) призводить до збільшення або зменшення кута повороту планшайби насоса (зміна витрати), щоб підтримувати заданий рівень тиску.

Таким чином, насос подає стільки гідравлічної рідини, скільки необхідно для компенсації навантаження. Бажаний рівень тиску можна встановити плавно, змінюючи величину сили струму електромагніта. Якщо величина сили струму електромагніта падає до нуля, тиск буде обмежено до значень P_{min} (режим очікування) за допомогою регульованого гідравлічного обмежувача тиску.

Залежності на Рис. 9 та 10 отримані при кількості обертів n вала гідронасоса $n = 1500$ об/хв, температурі t робочої рідини $t = 50^\circ\text{C}$, величина тиску в режимі очікування - 14 бар

Технічні дані пропорційного електромагніта: тип ER71, величина напруги 12В ($\pm 20\%$) постійного струму, величина струму керування: початок контролю при P_{min} - 100 мА, максимальне значення величини при P_{max} - 1200 мА, допустимий максимальний струм - 1540 мА, номінальний опір при температурі обмотки 20°C - 5,5 Ом, діапазон температури робочої рідини від -20°C до $+115^\circ\text{C}$.

Широкий асортимент енергоефективних гідравлічних насосів Parker включає моделі насосів зі змінним робочим об'ємом, насосів із фіксованою лопаткою та насосів із фіксованою передачею. Розроблені для широкого спектру застосувань, насоси Parker доступні з електронним і комп'ютерним

керуванням, і, як і всі продукти Parker, ці насоси виготовляються з найкращих матеріалів під суворим контролем якості [5].

Серія PvPlus регуляторів насосів від компанії Parker Hannifin містить широкий асортимент пропорційної апаратури. Нижче наведена схема регулятора із контролем вимірювання навантаження з двома золотниками моделі МТР (рисунок 11) та залежність витрати насоса і робочого тиску (рисунок 12).

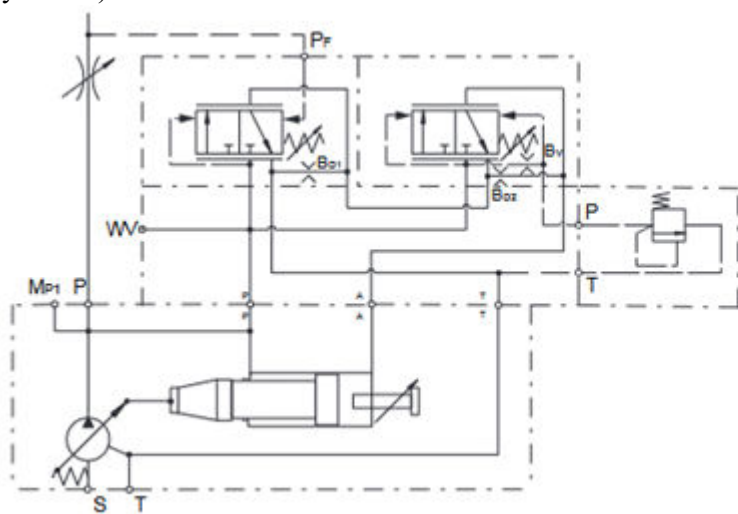


Рисунок 11 - Схему регулятора насоса фірми Parker Hannifin серії МТР

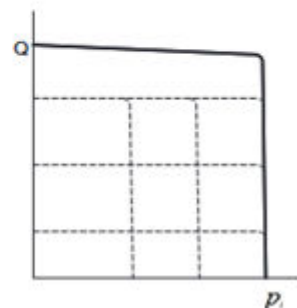


Рисунок 12 – Залежність витрати насоса і робочого тиску

Керуючий тиск системи керування датчиком навантаження береться з порту датчика навантаження в гідравлічній системі. Він використовується для узгодження витрати насоса з вимогами системи. При 2-золотниковому управлінні взаємодія двох функцій керування унікає завдяки використанню двох окремих регулюючих клапанів для компенсації витрати та тиску.

Пропорційний пілотний клапан типу PVACRE K35 встановлений на верхній частині насоса з інтерфейсними виводами. Це дозволяє змінювати компенсаційний тиск насоса від 20 до 350 бар за допомогою електричного сигналу.

Час відгуку насоса отримується із контуру, як показано на Рис. 12, шляхом вимірювання кута нахилу планшайби насоса при різних тисках. Для насосів PV360 діапазон регулювання тиску від 20 до 350 бар, а діапазон регулювання перепаду тиску від 10 до 40 бар.

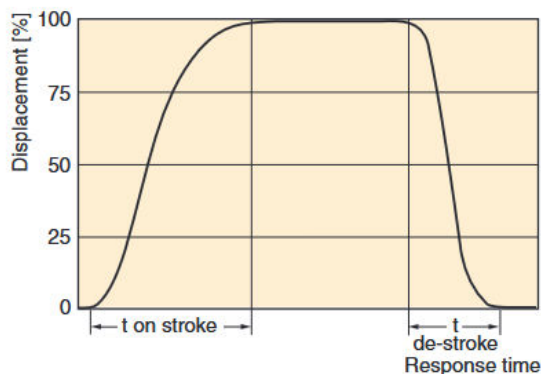


Рисунок 12 - Залежність часу відгуку насоса від положення планшайби

Час відгуку Time on-stroke з режиму очікування до 50 бар становить 920 мс, з режиму очікування до 350 бар становить 670 мс. В зворотному напрямку (Time de-stroke), тобто з 50 бар до режиму очікування час відгуку складає 1000 мс, а з 350 бар до режиму очікування – 170 мс.

На Рис. 13 наведена схема регулятора з пропорційним керуванням об'ємом із замкнутим контуром керування тиском моделі UDM, який дозволяє регулювати вихідний потік насоса за допомогою вхідного електричного сигналу. На Рис. 14 представлено залежність витрати насоса і

робочого тиску. Фактичний об'єм насоса контролюється електронним датчиком об'єму та порівнюється із заданим об'ємом в електронному модулі керування PQDXXA-Z10. Команда подається у вигляді електричного вхідного сигналу (0–10 В або 4–20 мА) від контрольної машини або потенціометра. Контрольна версія UDM включає датчик тиску Parker SCP 8181 CE. У поєднанні з модулем керування PQDXXA-Z10 можна реалізувати як контроль тиску в замкнутому контурі, так і електронне обмеження потужності.

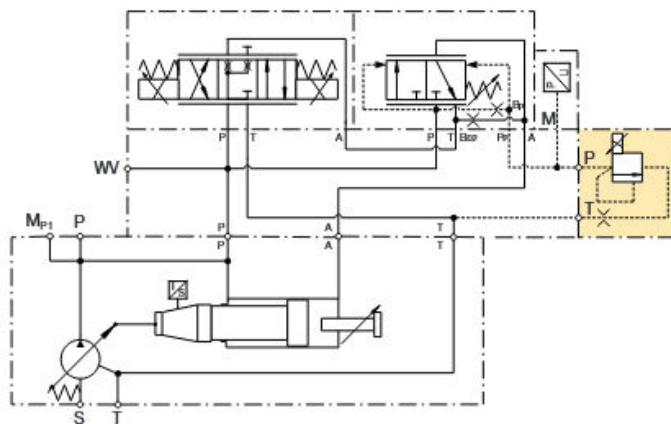


Рисунок 13 - Схему регулятора насоса фірми Parker Hannifin серії UDM

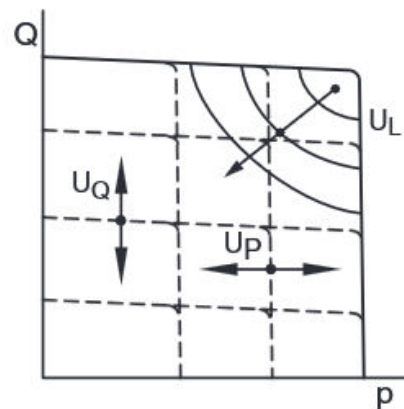


Рисунок 14 – Залежність робочого тиску і витрати насоса

Час відгуку насоса отримується із контуру, як показано на Рис. 15, шляхом вимірювання кута нахилу планшайби насоса при різних тисках. Для насосів PV360 діапазон регулювання тиску від 20 до 350 бар, а діапазон регулювання перепаду тиску від 10 до 40 бар.

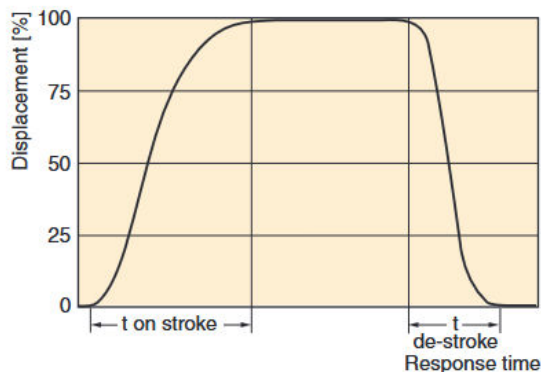


Рисунок 15 - Залежність часу відгуку насоса від положення планшайби

Час відгуку Time on-stroke з режиму очікування до 50 бар становить 255 мс, з режиму очікування до 350 бар становить 154 мс. В зворотному напрямку (Time de-stroke), тобто з 50 бар до режиму очікування час відгуку складає 266 мс, а з 350 бар до режиму очікування – 183 мс.

Висновок

З проведеного огляду можна зробити висновок, що сучасні гідросистеми, що використовують регульовані насоси та пропорційну апаратуру, мають низку переваг перед традиційними гідравлічними системами з нерегульованими насосами. Вони забезпечують високу ефективність, точність керування та енергоощадність, що робить їх незамінними в промисловості, мобільній техніці та автоматизованих виробничих процесах. Регульовані насоси змінюють продуктивність залежно від навантаження, що знижує енергоспоживання. Пропорційні клапани дозволяють плавно змінювати параметри потоку та тиску без ривків і різких змін, а висока точність регулювання забезпечує стабільну роботу навіть у складних виробничих умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Lukasz Stawinski. A new approach for control the velocity of the hydrostatic system for scissor lift with fixed displacement pump / Lukasz Stawinski, Andrzej Kosucki, Adrian Morawiec, Malgorzata Sikora // Lodz University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Machine Tools and Production Engineering, Stefanowskiego 1/15, 90-924 Lodz, Poland. Archives of civil and mechanical engineering 19 (2019) 1104–1115.
2. Буренніков Ю. А. Огляд електрогідравлічних систем керування насосами змінної продуктивності / Ю. А. Буренніков, Л. Г. Козлов, С. В. Репінський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2016. - № 2. - С. 202-206. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2016_2_37.
3. Товкач А. О. Огляд конструкцій та характеристик сучасних регуляторів для насосів змінного робочого об'єму / Товкач А. О., Козлов Л. Г., Стимковський В. А., Грабовський Д. І. // Матеріали ЛІІ науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2023). Збірник наукових праць [Електронний ресурс], Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 2816-2820. - Режим доступу: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/788>.
4. Каталог Bosch Rexroth [Електронний Ресурс] / Bosch Rexroth. – Режим Доступу: https://store.boschrexroth.com/Hydraulics/Pumps?cclcl=en_US.
5. Каталог продукції Parker Hannifin [Електронний ресурс] / Parker Hannifin. – Режим доступу: <https://ph.parker.com/us/en/category>.

Товкач Артем Олегович – інженер кафедри ТАМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: TovkachAO@gmail.com

Козлов Леонід Геннадійович – д. т. н., професор, завідувач кафедри ТАМ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: osna2030@gmail.com

Мокринчук Олександр Віталійович – студент групи ІПМ-21б, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Mokrynychuk.O.V.@gmail.com

Колісниченко Владислав Романович – студент групи ІПМ-21б, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: Kolisnichenko.V.R.@gmail.com

Tovkach Artem O. – Engineer of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: TovkachAO@gmail.com

Kozlov Leonid G. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osna2030@gmail.com

Mokrynychuk Oleksandr V. – student, group 1PM-21b, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Mokrynychuk.O.V.@gmail.com

Kolisnichenko Vladyslav R. - student, group 1PM-21b, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Kolisnichenko.V.R.@gmail.com