

**Трегубов В.О., Соколовський М.Є., Ницимайло В.О.,** науковий керівник: к.т.н. Піонткевич О.В. (Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна)

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ГІДРОПРИВОДІВ МОБІЛЬНИХ РОБОЧИХ МАШИН ПРОПОРЦІЙНОЮ ГІДРОАПАРАТУРОЮ ТА МІКРОКОНТРОЛЕРОМ**

***Анотація:** Проведено аналіз літературних джерел з перспективою удосконалення гідроприводів мобільних робочих машин. У роботі розглянуто сучасні технології у гідроприводах та ефект від роботи пропорційної гідроапаратури. Проаналізовано вплив мікроконтролера на функціональність та ефективність гідроприводів, а також описано процес проектування системи керування гідроприводами з мікроконтролером.*

***Abstract:** An analysis of literary sources with the perspective of improving the hydraulic drives of mobile working machines was carried out. The work examines modern technologies in hydraulic drives and the effect of proportional hydraulic equipment. The influence of the microcontroller on the functionality and efficiency of hydraulic drives is analyzed, and the process of designing a control system for hydraulic drives with a microcontroller is described.*

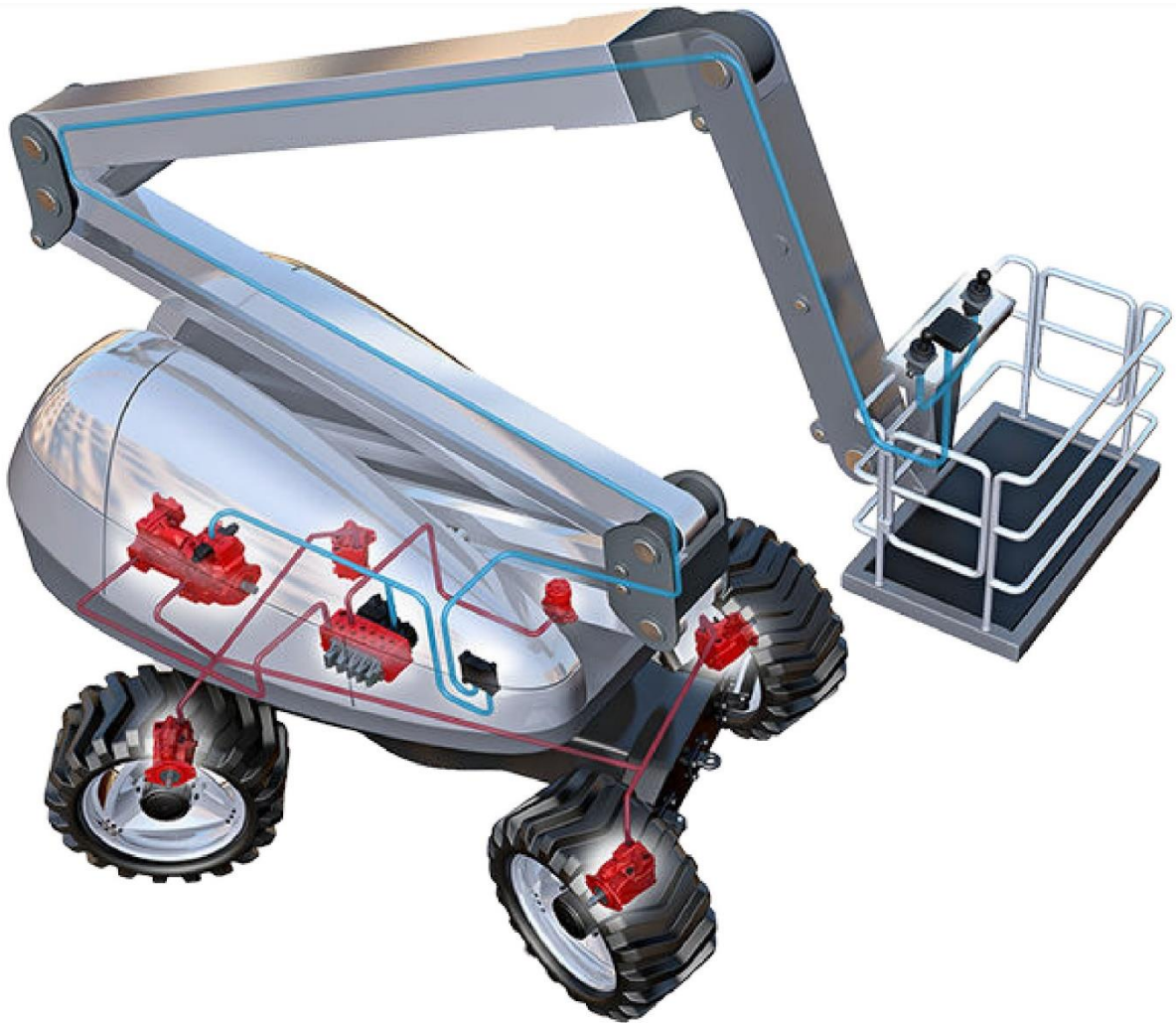
*Постановка проблеми в загальному вигляді.* На сьогоднішній день штучний інтелект та високі вимоги до роботизації відкривають безліч можливостей і задач для оптимізації та удосконалення гідроприводів [1-4]. Перш за все це удосконалення приводів механізмів, на основі гідроприводу, які часто використовуються у мобільних робочих машинах через численну кількість переваг [5-10]. Крім цього гідроприводи використовуються в різних сферах: будівництві, сільському господарстві, машинобудуванні, гірничодобувній промисловості та інші [11-14]. Особлива увага приділяється ефективній роботі, а саме: забезпечення високої продуктивності та надійності обладнання [15-20].

Одним з найперспективніших напрямків удосконалення гідроприводів є використання пропорційної гідравліки та мікроконтролерів [21-24]. Це забезпечує точне і плавне керування виконавчими органами, знижує енергоспоживання та підвищує продуктивність. Дослідження в області пропорційної гідроапаратури та мікроконтролерів показують великий потенціал їх використання для підвищення ефективності та надійності гідроприводів. Впровадження цих технологій сприятиме підвищенню конкурентоспроможності мобільних робочих машин.

*Основний матеріал.* Існує широкий вибір технологій в області гідроприводів для мобільних робочих машин. Вони варіюються від простих релейних систем керування до складних – пропорційних. Однак, сучасні технології потребують використання мікроконтролерів для оптимізації роботи гідроприводів, альтернативних джерел енергії та акумуляторів великої ємності, наявність інтеграції з системами штучного інтелекту.

Однак, прості релейні системи керування не дозволяють ефективно реагувати на раціональні команди мікроконтролерів, тому в подальшому варто орієнтуватися лише на складні пропорційні системи керування.

Пропорційна гідроапаратура дозволяє точно контролювати потік гідравлічної робочої рідини до виконавчих органів, зменшує втрати потужності і кращу динаміку реакції. Продемонстровано систему керування гідроприводами від джойстика через мікроконтролер на пропорційну гідроапаратуру для підйомника на рис. 1 [25].



*Рис. 1. Приклад системи керування для підйомника (Danfoss)*

Використання мікроконтролера у системах керування гідроприводами значно покращує їх функціонування та ефективність у ряді важливих аспектів:

- точність управління: мікроконтролер здатний виконувати точні розрахунки і алгоритми управління, забезпечуючи точне і стабільне управління гідроприводами.
- адаптація до мінливих умов: програмовані функції управління дозволяють мікроконтролеру адаптуватися і оптимізувати вихідний сигнал до різних умов експлуатації та змінних параметрів.
- моніторинг і діагностика: мікроконтролер може безперервно

контролювати гідропривод і діагностувати його стан. Це дозволяє виявити потенційні проблеми і вчасно вжити коригувальних заходів, підвищуючи надійність системи.

- енергоефективність: мікроконтролер використовується також для реалізації різних стратегій управління, які знижують енергоспоживання гідроприводів. До них відносяться оптимізація робочих циклів, контроль швидкості насосів та інші методи енергозбереження.

- інтеграція з іншими системами: мікроконтролер легко інтегрувати з іншими електромеханічними системами керування, такими як навігація, автоматичне керування та системи моніторингу. Це створює можливості для розширення функціональності та автоматизації мобільних робочих машин.

В цілому, використання мікроконтролерів в гідроприводах для мобільних машин підвищує гнучкість управління, точність і надійність, що призводить до підвищення ефективності та продуктивності.

Проектування та розробка систем керування гідроприводами на базі мікроконтролерів – це складний багатоетапний процес, що вимагає ретельного аналізу, проектування, програмування та тестування.

Першим кроком є ретельний аналіз вимог до системи. Це включає визначення функціональних і технічних вимог, а також врахування обмежень і особливостей конкретного застосування. На основі системних вимог обирається відповідний мікроконтролер. При виборі необхідно враховувати: обчислювальну потужність, кількість виводів, можливість розширення та інші технічні характеристики.

Наступний етап – це етап апаратного проектування. На цьому етапі мікроконтролер підключається до гідроприводів і компонентів системи, таких як датчики і пропорційні клапани. Розробляється програмне забезпечення для мікроконтролера, яке включає алгоритми управління, обробку даних з датчиків, зв'язок з іншими системами мобільної робочої машини.

Після цього слідує етап реалізації та програмування. На цьому етапі програмне забезпечення реалізується на обраному мікроконтролері. Розробка включає написання коду, тестування на симуляторі та практичне програмування мікроконтролера. Після того, як система реалізована, проводиться тестування її продуктивності та надійності. Це включає тестування на реальних об'єктах і налагодження системи для вирішення проблем і помилок. Після успішного тестування система впроваджується у виробництво. Крім того, протягом усього життєвого циклу системи керування з мікроконтролером, як правило, необхідна технічна підтримка та обслуговування.

Встановлення та тестування системи керування з мікроконтролером на реальному об'єкті є важливим кроком у перевірці її продуктивності, ефективності та надійності в реальних умовах. Ключовими кроками можуть бути: забезпечення відповідних умов для тестування, включаючи встановлення складних систем на мобільній машині; підключення необхідних датчиків і засобів збору даних, а також встановлення зв'язку з мікроконтролером або системою керування; перевірка основних функцій системи керування, таких як управління гідроприводами, реакція на команди оператора та перевірка систем безпеки та захисту; випробування системи керування під реальним навантаженням для перевірки її

продуктивності та ефективності в різних умовах експлуатації.

Підчас тестування зазвичай збирають дані для подальшого аналізу якості та реакції системи керування на різні ситуації. Це включає в себе збір даних з датчиків і запис подій, усунення несправностей і оптимізація системи керування для підвищення ефективності та надійності. Успішне завершення тестування системи керування підтверджує, що вона відповідає всім вимогам та очікуванням.

*Висновки.* Загальна оцінка ефективності гідроприводів для мобільних робочих машин показує, що застосування більш дорожчої пропорційної гідроапаратури є обґрунтованим та підвищує продуктивність і знижує енергоспоживання. На сучасному етапі удосконалення гідроприводів розробляють системи керування на базі мікроконтролера, які забезпечують більшу точність керування, підвищуючи надійність і знижуючи ризик поломок, а також дозволяють ефективно інтегрувати штучний інтелект та інші системи мобільної робочої машини.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Лозінський Д.О. Оптимізація електрогідравлічного розподільника з незалежним керуванням потоків / Д.О. Лозінський, Л.Г. Козлов, О.В. Пionткевич, О.І. Кавецький // Вісник машинобудування та транспорту, 2023. – №17(1). – С. 87-91. DOI: 10.31649/2413-4503-2023-17-1-87-91

2. Kozlov L. Optimization of design parameters of the counterbalance valve for the front-end loader hydraulic drive / L. Kozlov, Yu. Burennikov, O. Piontkevych, O. Paslavskaya // Proceedings of 22nd International Scientific Conference «MECHANIKA 2017». – Kaunas University of Technology, Lithuania, 19 May 2017. – P. 195 – 200.

3. Kozlov L. Optimization of Design Parameters of a Counterbalance Valve for a Hydraulic Drive Invariant to Reversal Loads / L. Kozlov, L. Polishchuk, O. Piontkevych, V. Purdyk, O. Petrov, V. Tverdome, A. Tungatarova // Mechatronic Systems, W. Wójcik, S. Pavlov, and M. Kalimoldayev, eds., Vol. 1, Routledge, London, 2021 pp. 137–148. DOI: 10.1201/9781003224136-12

4. Sun H, Tao J, Qin C, Yu H, Xu S, Zhuang Q, Liu C. Optimal energy consumption and response capability assessment for hydraulic servo systems containing counterbalance valves / H Sun, J Tao, C Qin, H Yu, S Xu, Q Zhuang, C Liu // Journal of Mechanical Design; 145(5):053501, 2023. – P. 15. DOI: 10.1115/1.4056497

5. Polishchuk, L. & Khmara, O. & Piontkevych, O. & Adler, O. & Tungatarova, A. & Kozbakova, A. Dynamics of the conveyor speed stabilization system at variable loads. Informatyka, Automatyka, Pomiarы W Gospodarce i Ochronie Środowiska. 2022. Vol. 12. No. 2. P. 60-63. DOI: 10.35784/iapgos.2949

6. Пionткевич О. В. Математична модель гідроприводу фронтального навантажувача з гальмівним клапаном / О. В. Пionткевич. – Вінниця : Вісник машинобудування та транспорту, 2015. – №2. – С. 83 – 90.

7. Березюк О.В. Огляд конструкції машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів // Вісник машинобудування та транспорту. – 2015. – № 1. – С. 3-8.

8. Коц І.В., Березюк О.В. Вібраційний гідропривод для пресування промислових відходів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 5. – С. 146-149.

9. Березюк О.В. Математичне моделювання динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – № 4. – С. 81-86.

10. Polishchuk L. K., Piontkevych O. V., Dynamics of adaptive drive of mobile machine belt conveyor, 22nd International Scientific Conference «MECHANIKA 2017», Kaunas

University of Technology, 19 May 2017, 307-311

11. Березюк О.В. Розробка та дослідження нової структури екологічної машини для очистки населених пунктів від твердих відходів // Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві. – 2008. – № 1. – С. 92-98.

12. Березюк О.В. Науково-технічні основи проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів: автореф. дис. д-ра техн. наук. – Хмельницький, 2021. – 46 с.

13. Дерібо О.В. Електрогідравлічний стежний привод пристрою для обробки поверхневим пластичним деформуванням / О.В. Дерібо, О.В. Сердюк, І.О. Сивак // Вісник Вінницького політехнічного інституту: ВНТУ. – 2010. – №6. – С. 76-79

14. Муращенко А. М. Розрахунок мобільних приводів машин / А. М. Муращенко, О. М. Яхно, О. П. Губарев, В. Г. Василюк, М. Коваленко // Problems of Friction and Wear. – 2019. – Vol. 3(84). P. 83 – 89

15. Березюк О.В. Планування багатофакторного експерименту для дослідження вібраційного гідроприводу ущільнення твердих побутових відходів // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 3 (55). – С. 92-97.

16. Petrov O. Improvement of the hydraulic units design based on CFD modeling. / O. Petrov, L. Kozlov, D. Lozinskiy, O. Piontkevych// In: Lecture Notes in Mechanical Engineering XXII, 2019. – P. 653–660. DOI: 10.1007/978-3-030-22365-6\_65

17. Березюк О.В. Дослідження динаміки гідроприводу вивантаження твердих побутових відходів із сміттєвозів // Машинознавство. – 2008. – № 10 (136). – С. 25-28.

18. Березюк О.В. Дослідження динаміки гідроприводу робочих органів завантаження твердих побутових відходів у сміттєвози // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2009. – № 33. – С. 403-406.

19. Савуляк В.І., Березюк О.В. Дослідження динаміки приводу плити для пресування твердих побутових відходів // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 4. – С. 83-86.

20. Піонткевич О.В. Про лазерний технологічний комплекс на машинобудівному підприємстві / О. В. Піонткевич, С. І. Сухоруков, О. В. Сердюк, В. М. Домославський // Вісник машинобудування та транспорту, 2022. - № 16(2). – С. 96-100. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2022-16-2-96-100>

21. Козлов Л. Характеристики мехатронного приводу під час просторового руху маніпулятора / Л. Козлов, С. Репінський, О. Паславська, О. Піонткевич // Наукові праці Вінницького національного технічного університету, 2017. – № 2. – 9 с. Електронний ресурс: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/507>

22. Перепелиця В.І. Система управління на базі контролера для керування швидкістю руху каретки установки для формування заготовок цегли / В. І. Перепелиця, Л. Г. Козлов // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 2023. - №34. С. 190-196. DOI: 10.31649/2311-1429-2023-1-190-196

23. L. Kozlov, Y. Buriennikov, O. Rusu, V. Pyliavets, V. Kovalchuk, O. Petrov, I. Rusu, "Algoritm of controlling an adaptive hydraulic circuit for mobile machines", International Journal of Modern Manufacturing Technologies, vol. XIII, no. 3, pp. 79- 86, Desember. 2021. <https://doi.org/10.54684/ijmmt.2021.13.3.79>

24. Л. Козлов, Ю. Буренніков, В. Пилявець, А. Товкач, Д. Проценко, "Визначення динамічних характеристик контролера та підсилювача пропорційного електромагніта", Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту», Вінниця, 13-15 травня 2021 р. – Електрон. текст. дані. – Вінниця, 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2021/paper/viewFile/13385>

25. Каталог фірми Danfoss "Proportional Valve Group PVG32" від 2017 року. Режим доступу: <https://www.bibus.sk/fileadmin/editors/countries/bibsk/Suppliers/Danfoss/documents/danfoss-pvg-32.pdf>