

Д. О. Лозінський**Л. Г. Козлов****О. В. Піонткевич****О. І. Кавецький**

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО РОЗПОДІЛЬНИКА З НЕЗАЛЕЖНИМ КЕРУВАННЯМ ПОТОКІВ

Вінницький національний технічний університет

Гідропривод є одним із найпоширеніших типів приводів, які використовуються на мобільних робочих машинах різноманітного призначення, зокрема на машинах, які призначені для виконання навантажувальних та розвантажувальних операцій.

Якість виконання робочих операцій таких машин великою мірою залежить від характеристик роботи гідравлічної апаратури, яка входить до складу виробу, зокрема від розподільчої.

Метою роботи є дослідження впливу конструктивних параметрів пропорційного електрогідравлічного розподільника з незалежним керуванням потоків на динамічні процеси у розподільнику та встановлення оптимального сполучення даних параметрів.

Розподільник містить два незалежні елементи для керування потоками на вході та виході гідродвигуна незалежно один від одного. Це підвищує ступінь керованості та надає можливість виконувати робочі операції завдяки накопиченій енергії об'єкта, наприклад, потенціальної енергії вантажу, піднятого на певну висоту, що є досить актуальним для мобільних робочих машин, які виконують навантажувальні та розвантажувальні операції.

Робота розподільника, що розглядається, визначається не тільки певними значеннями його конструктивних параметрів, а і їх відповідною сукупністю. Оскільки ступінь впливу певного конструктивного параметра на характеристики роботи розподільника не має однозначного характеру і може бути взаємозалежним з іншими конструктивними параметрами, тому заздалегідь визначити раціональну сукупність параметрів, які б забезпечували бажані характеристики, вкрай важко, а в певних випадках практично неможливо.

Саме тому для визначення значень конструктивних параметрів застосовано оптимізацію.

Одним із перших етапів дослідження було встановлення ступеня впливу сукупності значень конструктивних параметрів на динамічні та статичні характеристики. Застосувавши запропонований коефіцієнт впливовості, визначено конструктивні параметри, які мають найбільший вплив на характеристики, що розглядаються.

За допомогою методу LP-пошуку проведено оптимізацію та встановлено сукупність параметрів, які забезпечують покращені динамічні характеристики.

Ключові слова: електрогідравлічний розподільник, незалежне керування потоками, коефіцієнт впливовості, оптимізація.

Вступ

На сьогодні гідропривод є основним типом приводу для мобільних робочих машин, оскільки забезпечує досить широкі функціональні можливості та має відносно невелику металоємність. Машини такого типу є досить розповсюдженими і використовуються в різних галузях промисловості для виконання різноманітних робіт [1, 2].

Робота цих машин визначається якістю роботи та характеристиками елементів, які входять до складу гідроприводу, зокрема від клапанно-розподільчої апаратури.

Покращити характеристики роботи, підвищити енергоефективність мобільних робочих машин можна через впровадження сучасної пропорційної електрогідравлічної апаратури, зокрема розподільників із незалежним керуванням потоків.

Пропорційні електрогідравлічні розподільники з незалежним керуванням потоків є перспективною гілкою розвитку розподільчої апаратури, оскільки мають можливість керувати потоками на вході та виході гідродвигуна незалежно один від одного [3].

Це вкрай важливо для машин, які працюють із робочим навантаженням, що має накопичену потенціальну енергію, яка в багатьох випадках не є активно задіяною при виконанні робочих операцій [4].

Розподільник є складним вузлом з великою кількістю елементів та відповідних конструктивних параметрів. Оптимальна комбінація цих параметрів дозволяє досягти покращення характеристик роботи розподільника, а отже, і характеристик усієї мобільної робочої машини.

Метою роботи є оптимізація конструктивних параметрів елементів пропорційного електрогідравлічного розподільника з незалежним керуванням потоків.

Результати дослідження

У роботі розглядається пропорційний електрогідравлічний розподільник із незалежним керуванням потоків (рис. 1) [3].

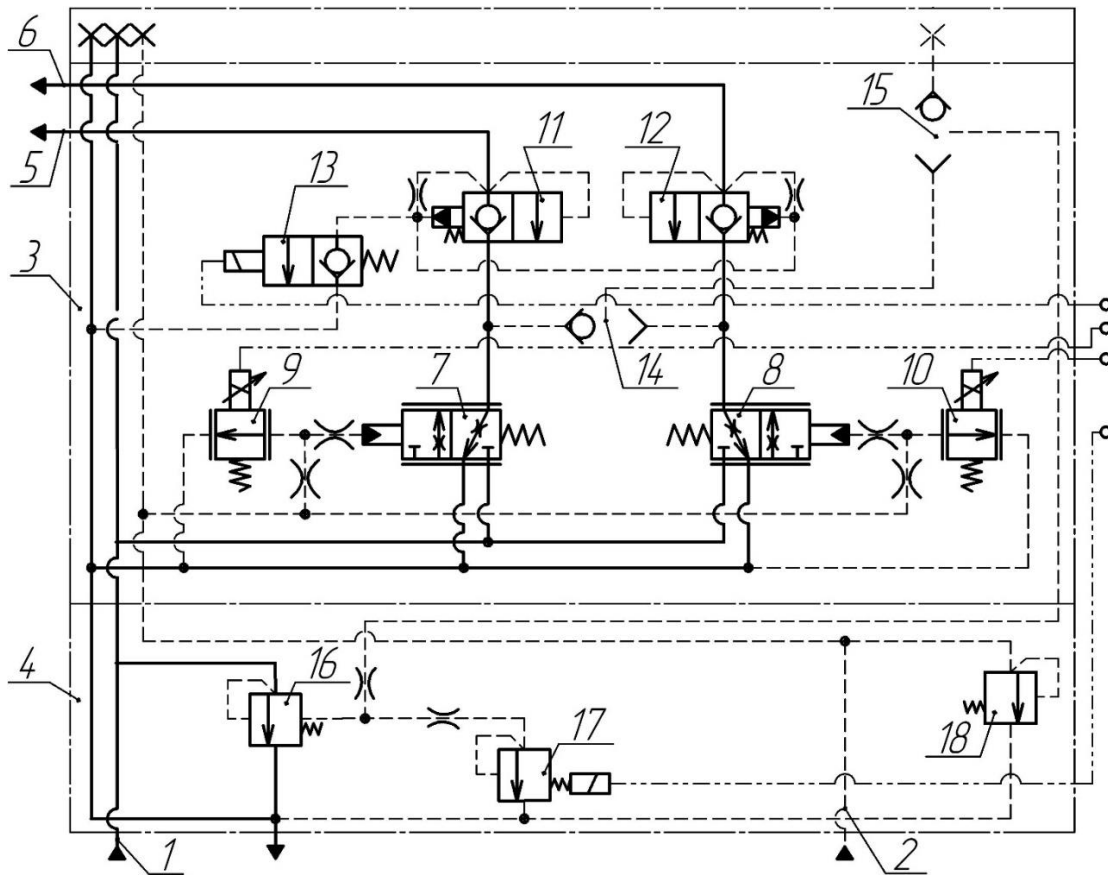


Рис. 1. Гідравлічна схема пропорційного електрогідравлічного розподільника з незалежним керуванням потоків

Розподільник містить лінію нагнітання 1 та лінію живлення першого каскаду 2, робочу секцію 3, переливну секцію 4 та гідролінії виходу 5, 6.

У робочій секції 3 знаходяться золотники другого каскаду 7, 8 із клапанами першого каскаду 9, 10, керовані зворотні клапани 11, 12 із сервоклапаном 13 та логічні клапани 14, 15.

Дослідження роботи модернізованого ГП виконані на основі математичної моделі, що містить рівняння нерозривності потоків та рівняння сил, які діють на золотники другого каскаду 7, 8, керовані зворотні клапани 9, 10, переливний клапан 14 та клапан 16 [5].

До роботи пропорційного електрогідравлічного розподільника висувається низка вимог щодо якості перехідних процесів, стійкості роботи та інших характеристик.

Вплив конструктивних параметрів здебільшого не має однозначного характеру, що суттєво ускладнює їх вибір для досягнення очікуваних характеристик. Визначити бажані сполучення значень конструктивних параметрів можливо шляхом оптимізації.

Оскільки розроблений розподільник є двокаскадним, тому оптимізацію його конструкції проведено у два етапи: оптимізація першого каскаду розподільника [6, 7] та оптимізація другого каскаду і переливної секції, яка розглядається в цій роботі;

Перед початком оптимізації в роботі було проведено попередні дослідження для визначення найбільш впливових конструктивних параметрів (розглядався вплив на коливальність, час перехідного процесу, перерегулювання та стійкість).

Впливовість конструктивних параметрів визначалася за допомогою запропонованого коефіцієнта k_{vp} , який визначає ступінь впливу конструктивного параметра на розглядувану характеристику

$$k_{vp} = \frac{K_{max} - K_{min}}{K_{min}} \cdot 100\% , \quad (1)$$

де K_{max} , K_{min} – відповідно максимальне та мінімальне значення розглядуваної характеристики в діапазоні зміни конструктивного параметру.

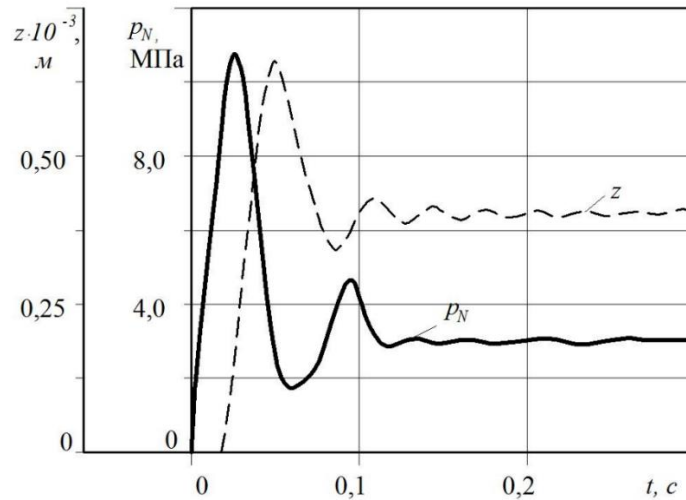


Рис. 2. Перехідні процеси в системі

На основі визначених значень k_{vp} , запропоновано триступеневу шкалу градації впливовості конструктивного параметру: $k_{vp} > 60\%$ – істотний вплив, $21 < k_{vp} < 59\%$ – значний вплив, $k_{vp} < 20\%$ – незначний вплив.

Як параметри оптимізації використані такі параметри, які мали найбільш істотний вплив на розглядувані характеристики: $c_L = (50 \dots 150) \cdot 10^2$ Н/м – жорсткість пружин керованих зворотних клапанів; $f_3 = (1 \dots 3) \cdot 10^{-6}$ м² – площі робочих вікон дроселів керованих зворотних клапанів; $d_Z = (15 \dots 25) \cdot 10^{-3}$ м – діаметр переливного клапана; $f_4 = (1 \dots 2) \cdot 10^{-6}$ м² – площа робочого вікна дроселя переливного клапана.

Необхідним критерієм розгляду параметра також була відсутність втрати стійкості в усьому розглядуваному діапазоні, а також забезпечення стабільного функціонування (відкриття та закриття рухомих елементів за умови подачі відповідного сигналу).

Вимоги, які пропонується досягти, можна згрупувати так:

- максимальна швидкодія – t_{sp} , яка дозволяє здійснювати швидкі переміщення робочим органом, наприклад, під час роботи з невеликими амплітудами переміщень та відносно високою точністю позиціонування (швидкодія визначалася з моменту «запуску системи» до спрацювання керованих зворотних клапанів і надходження рідини до порожнини робочого органу);

- перерегулювання – σ (мінімізація перенавантаження по тиску дає змогу зменшити перенавантаження в системі загалом). Параметром, що береться до уваги, використано тиск p_N , оскільки значення перерегулювання для даного тиску найбільші за значенням.

Оптимізація проводилася методом LP-пошуку [8].

У процесі оптимізації проведені дослідження для понад 80 різних комбінацій конструктивних параметрів та встановлені значення показників, що входять до критерію оптимізації.

Унаслідок оптимізації знайдені такі оптимальні сполучення конструктивних параметрів (рис. 3): $c_L = 50 \cdot 10^2$ Н/м; $f_3 = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м²; $f_4 = 1,5 \cdot 10^{-6}$ м²; $d_Z = 25 \cdot 10^{-3}$ м.

№ точки	Параметри оптимізації				Показники критерію оптимізації	
	$f_3, 10^{-6}$ м ²	$d_Z, 10^{-3}$ м	$c_L, 10^2$ Н/м	$f_4, 10^{-6}$ м ²	$t_{sp},$ с	$\sigma, \%$
19				1	0,175	24,00
20	1,0	25	50	1,5	0,170	23,48
21				2	0,175	23,52
22				1	0,171	28,39

Рис. 3. Знаходження потимальних значень коеструктивних параметрів

Перехідні процеси в розподільнику після проведення оптимізації представлені на рис. 4, 5.

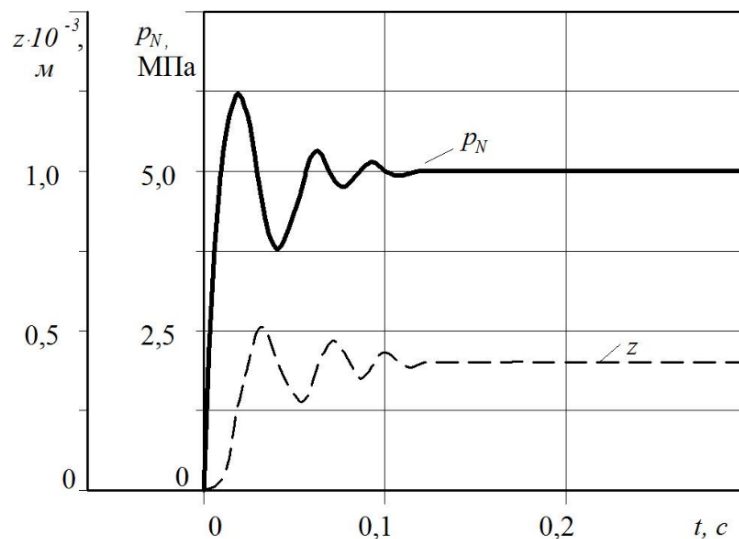


Рис. 4. Перехідні процеси після проведення оптимізації (режим «запуску»)

Оптимізація дозволила забезпечити мінімізацію перерегулювання як під час «запуску» системи (рис. 4), так і під час виконання робочого режиму (спрацювання робочого органу) (рис. 5).

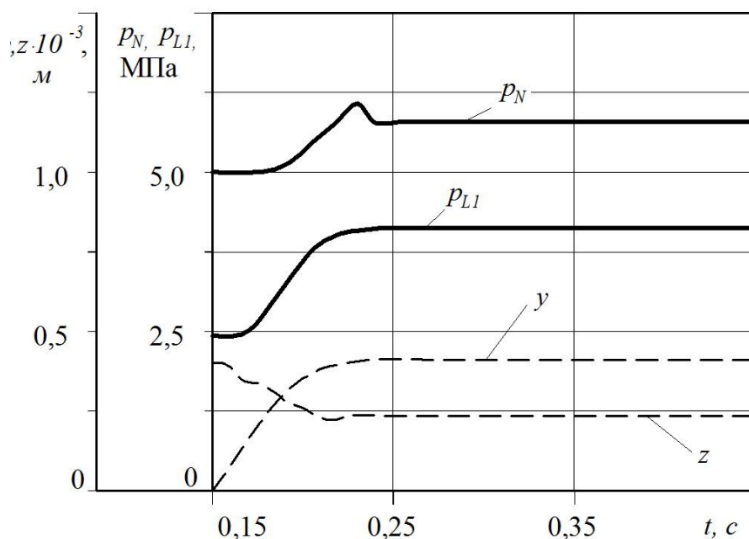


Рис. 5. Перехідні процеси після проведення оптимізації (робочий режим)

Висновки

У роботі проведені дослідження пропорційного електрогидравлічного розподільника з незалежним керуванням потоків. Проведено оптимізацію методом LP-пошуку.

Оптимізація розподільника забезпечила такі характеристики:

- стійку роботу в усіх режимах;
- швидкодію розподільника 0,17 с;
- перерегулювання по тиску на виході насоса до 24 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Zhang J, Wang D, Xu B, et al. Flow control of a proportional directional valve without the flow meter. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2019, 67: 131–141.
- [2] Tamburrano P., Plummer A R., Distaso E., et al. A review of direct drive proportional electrohydraulic spool valves: industrial state-of-the-art and research advancements. *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control-Transactions of the ASME*. 2019, 141(2): 020801.
- [3] Козлов Л. ГЛозінський. Д. О. Гідропривід з пропорційним електрогидравлічним управлінням: пат. 41887 Україна: МПК⁸ F15B 11/00; заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. університет. № u200900907; заявл. 06.02.2009; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 11.

- [4] Сергеев С. Г., Харченко М. М., Лозінський Д. О. Про енергетичні втрати в мобільних машинах типу навантажувача «БОРЕКС 2271». *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. 2009. № 4. С. 113–119.
- [5] Лозінський Д. О., Козлов Л. Г. Дослідження пропорційного електрогідравлічного розподільника з незалежним керуванням потоків. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2012. № 3(37). С. 60–65.
- [6] Буренніков Ю. А., Козлов Л. Г., Лозінський Д. О. Оптимізація системи управління гідророзподільником з електрогідравлічним регулюванням. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2005. № 6. С. 225–229.
- [7] Лозінський Д. О., Михайловський І. С., Наконечна А. О. Дослідження пропорційного електрогідравлічного розподільника з незалежним керуванням потоків та стежною системою. *Вісник факультету машинобудування та транспорту*. 2016. № 1. С. 52–58.
- [8] Ємець О. О., Пічугіна О. С., Маций О. Б., Коробчинський К. П. Лінійне програмування: навч. посібник для студентів напрямів підготовки 122 Комп'ютерні науки та 121 Інженерія програмного забезпечення. Харків: ХНАДУ, 2019. 102 с.

Лозінський Дмитро Олександрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, e-mail: lozinskiy_dmitriy@vntu.edu.ua

Козлов Леонід Геннадіович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технологій та автоматизації машинобудування, e-mail: osna2030@gmail.com

Піонткевич Олег Володимирович – канд. техн. наук, старший викладач кафедри технологій та автоматизації машинобудування, e-mail: piontkevych@vntu.edu.ua

Кавецький Олександр Ігорович – аспірант факультету машинобудування та транспорту, e-mail: kavetskiyi98@gmail.com

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

D. Lozinskiy
L. Kozlov
O. Piontkevych
O. Kavetskiy

Optimization electro-hydraulic-valve with independent flow control

Vinnitsia National Technical University

The hydraulic drive is one of the most common types of drives used on mobile working machines of various purposes, including machines that are intended for performing load and unloading operations.

The quality of work operations of such machines largely depends on the characteristics of the hydraulic equipment, which is part of the hydraulic drive, in particular depends on characteristics of valves.

The purpose of the work is investigation of the impact of the constructive parameters of proportional electro-hydraulic valve with independent flows control on dynamic processes in the system and to establish the optimal combination of this parameters.

The proportional electro-hydraulic valve contains two independent elements to control the flows at the inlet and outlet of the hydraulic motor independently of each other. This increases the degree of controllability and makes it possible to perform work operations due to the accumulated energy of the object, for example, the potential energy of a load raised to a certain height, which is quite relevant for mobile working machines that perform loading and unloading operations.

The work of the valve, which is considered is determined not only by certain values of its constructive parameters, but also their corresponding sets. Since the degree of influence of a certain structural parameter on the characteristics of the work of the valve is not unambiguous and may be interconnected with other structural parameters, so to determine in advance the rational set of parameters that would provide the desired characteristics is extremely difficult, and in some cases practically not possible.

That is why optimization was used to determine the values of structural parameters.

One of the first stages of the study was to establish the degree of influence of the set of values of constructive parameters on dynamic and static characteristics. Applying the proposed influence coefficient, the constructive parameters that have the largest influence on the dynamic characteristics have been determined.

Using the LP-search method, optimization was carried out, and a set of parameters was established that provide improved dynamic characteristics.

Key words: laser technological complex, mechanical engineering enterprise, sheet metal.

Lozinskiy Dmytro – Ph. D. (Eng.), Assistant Professor of Machine-building technologies and Automation Supply, email: lozinskiy_dmitriy@vntu.edu.ua

Kozlov Leonid – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Technological Automation of Machine Engineering, e-mail: osna2030@gmail.com

Piontkevych Oleh – Ph. D. (Eng.), Senior Lecturer of Machine-building technologies and Automation Supply, email: piontkevych@vntu.edu.ua

Kavetskiy Oleksandr – graduate student of the chair of technology for automation of machine engineering, email: kavetskiyi98@gmail.com