

Лозінський Д.О.

к.т.н., доцент

Сиротін О.А.

аспірант

**Вінницький національний
технічний університет****Lozinskyi D.**Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor**Syrotyin O.**

postgraduate student

**Vinnitsia National Technical
University****УДК 621.22****DOI: 10.37128/2306-8744-2026-3-15**

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ З ПАСИВНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

У статті розглянуто питання впливу параметрів системи керування на динамічні характеристики електрогідравлічного приводу, що працює з пасивним навантаженням. Об'єктом дослідження є електрогідравлічний привод із пропорційним електрогідравлічним розподільником і гідроциліндром двосторонньої дії, у якому керованою координатою є переміщення штока. Дослідження виконано для умов, коли пасивне навантаження створює зовнішнє силове збурення та впливає на інерційні властивості виконавчого механізму. Такі умови є характерними для технологічних і мобільних машин, у яких якість позиціонування залежить від узгодження параметрів гідравлічної частини, навантаження та алгоритму керування. У роботі сформовано математичну модель замкнутого контуру керування положенням, яка враховує динаміку пропорційного розподільника, коливальні властивості гідравлічної системи, інерційність рухомих мас, інтегровальну дію гідроциліндра та вплив зовнішнього навантаження. На основі цієї моделі виконано імітаційне дослідження перехідних процесів приводу для пропорційного, пропорційно-інтегрального та пропорційно-інтегрально-диференціального законів керування. Увагу зосереджено на тому, як зміна структури регулятора та його складових відображається на швидкодії, коливальності, перерегулюванні й усталеній похибці системи. Окремо проаналізовано роботу приводу в умовах, коли маса пасивного навантаження змінюється, а параметри керування залишаються незмінними. Такий підхід дає змогу оцінити чутливість замкнутого контуру до зміни експлуатаційних умов і визначити характер впливу навантаження на перехідні характеристики. Матеріали статті описують послідовність побудови моделі, вибір структури системи керування, проведення порівняльного моделювання та аналіз отриманих залежностей між параметрами регулятора, властивостями гідравлічної системи й пасивним навантаженням.

Ключові слова: електрогідравлічний привод, пасивне навантаження, система керування, ПІД-закон керування, перехідний процес, математична модель, динамічні характеристики.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ
КЕРУВАННЯ НА ДИНАМІЧНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ
З ПАСИВНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ©
2026 by Лозінський Д.О., Сиротін О.А.
is licensed under CC BY 4.0

Постановка проблеми. Екстракція біологічно активних речовин з Електрогідравлічні приводи (ЕГП) залишаються одним із основних засобів реалізації поступального та обертального руху в технологічних і мобільних машинах. Їх

застосування зумовлене високою питомою потужністю, можливістю плавного регулювання швидкості та здатністю працювати за значних силових навантажень [1]. Разом із тим, у системах позиціонування з пасивним навантаженням динамічні властивості приводу



істотно залежать від параметрів системи керування. Пасивне навантаження не є джерелом енергії системи, однак створює постійне або повільно змінне збурення, пов'язане з масою робочого органу, тертям, пружністю механічних елементів та дією гравітаційної складової.

Для таких умов характерними є низьке власне демпфування гідравлічної системи, залежність власної частоти від маси навантаження, нелінійність витратних характеристик розподільника та обмеження керуючого сигналу. Саме тому налаштування системи керування за одним номінальним режимом не завжди забезпечує однакову якість перехідних процесів у всьому діапазоні експлуатації. Практичне завдання полягає у виборі відповідного закону керування та таких його коефіцієнтів, які забезпечують сукупність прийнятних показників швидкодії, перерегулювання, статичної похибки та стійкості під час зміни пасивного навантаження.

Аналіз останніх досліджень.

Математичне моделювання гідроприводів, аналіз їх стійкості та вибір параметрів основних елементів розглянуто в класичних роботах з гідравліки та гідропневмоавтоматики [1]. Для мехатронних гідроприводів важливим є врахування взаємодії гідравлічної частини, виконавчого механізму та електронного контуру керування. У працях [3, 4] показано, що на стійкість і якість перехідних процесів суттєво впливають параметри розподільників, регуляторів насосів, дросельних елементів, а також інерційні властивості робочого механізму.

Окремий напрям досліджень пов'язаний з удосконаленням електрогідравлічних розподільників і систем керування потоками. У роботах [5-7] розглянуто пропорційні електрогідравлічні розподільники з незалежним керуванням потоків, наведено підходи до вибору параметрів робочих кромek, пружних елементів і електромагнітів. Такі рішення створюють передумови для гнучкішого керування витратою, однак для їх ефективного використання необхідно враховувати динаміку замкнутого контуру положення.

Якість функціонування ЕГП з пасивним навантаженням значною мірою визначається структурою та параметрами системи керування. Найбільш поширеними в інженерній практиці залишаються класичні закони керування – пропорційний (П), пропорційно-інтегральний (ПІ) та пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД), оскільки вони прості в реалізації, добре вивчені й не потребують точної математичної моделі об'єкта керування. Методи їх налаштування, зокрема підхід

Циглера-Нікольса та метод прямого синтезу, наведено в роботах [8, 15]. Водночас для нелінійних електрогідравлічних систем початкові налаштування часто потребують уточнення за результатами моделювання або експерименту. Сучасні дослідження зосереджуються на інтелектуальному та адаптивному налаштуванні коефіцієнтів, зокрема із застосуванням дробових ПІД-законів, нейромережових та нечітких алгоритмів [9-11].

Питання енергоефективності та цифрового керування гідравлічними системами розглянуто в працях [12-14, 17]. Ці підходи важливі для подальшого розвитку ЕГП, однак у практиці проектування значна частина систем і надалі використовує класичні закони керування, для яких необхідно мати чіткі рекомендації щодо вибору параметрів. Недостатньо висвітленим залишається комплексний вплив типу закону керування, його коефіцієнтів і маси пасивного навантаження на динамічні показники ЕГП. Саме цьому питанню присвячено дану роботу.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є встановлення закономірностей впливу типу та параметрів системи керування на динамічні характеристики електрогідравлічного приводу з пасивним навантаженням.

Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання: сформувати математичну модель замкнутого контуру керування положенням штока гідроциліндра; порівняти якість перехідних процесів для П-, ПІ- та ПІД-законів керування; дослідити вплив пропорційної та інтегральної складових на швидкість і коливальність приводу; оцінити зміну показників якості при варіюванні маси пасивного навантаження; сформулювати рекомендації щодо вибору структури та параметрів системи керування.

Виклад основного матеріалу.

Розглядається ЕГП із пропорційним електрогідравлічним розподільником і гідроциліндром двосторонньої дії. У замкнутому контурі керування використовується датчик положення штока, обчислювальний пристрій та пропорційний електромагніт розподільника. Термін «ПІД-закон керування» у цій роботі використовується для позначення алгоритму формування керуючого сигналу в контролері, а не окремого гідравлічного регулятора. Керованою координатою є переміщення штока $x(t)$, а швидкість, витрата та перепад тисків розглядаються як проміжні фізичні величини, що змінюються внаслідок дії керуючого сигналу.

Структурну схему контуру керування наведено на рис. 1. Помилка регулювання визначається як різниця між заданим і фактичним положенням штока (1):

$$e(t) = x_0(t) - x(t). \quad (1)$$

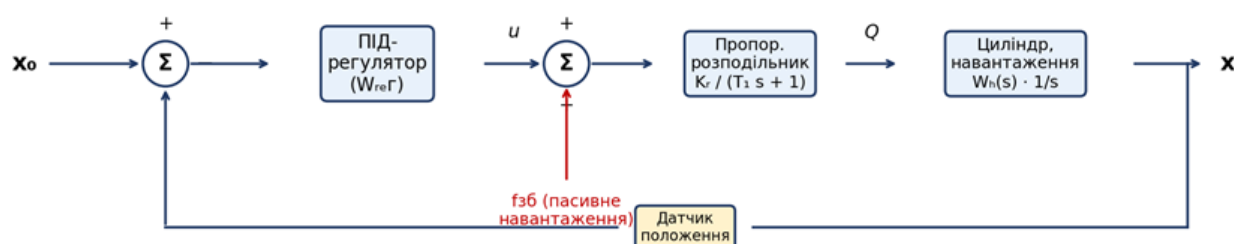


Рис. 1. Структурна схема замкнутого контуру керування положенням штока електрогідравлічного приводу з пасивним навантаженням

Для порівняльного аналізу використано три закони керування:

$$u_P(t) = K_p e(t), \quad (2)$$

$$u_{PI}(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (3)$$

$$u_{PID}(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

Динаміку пропорційного розподільника описано аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_r(s) = \frac{K_r}{T_1 s + 1}, \quad (5)$$

де K_r - коефіцієнт передачі розподільника; T_1 - стала часу електромагніта та золотника. Динаміку системи «циліндр - робоча рідина - пасивне навантаження» подано коливальною ланкою:

$$W_h(s) = \frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_h}\right)^2 + 2\xi\left(\frac{s}{\omega_h}\right) + 1} \quad (6)$$

де ω_h - власна частота гідравлічної системи; ξ - відносний коефіцієнт демпфування. З урахуванням інтегровальної дії гідроциліндра передавальна функція об'єкта керування має вигляд:

$$W_{ob}(s) = \frac{K_v}{s(T_1 s + 1) \left(\left(\frac{s}{\omega_h}\right)^2 + 2\xi\left(\frac{s}{\omega_h}\right) + 1 \right)}, \quad (7)$$

де $K_v = K_r/F_p$ - добротність контуру за швидкістю; F_p - ефективна площа поршня. Для диференціальної складової ПІД-закону використано фільтр першого порядку з коефіцієнтом $N = 50 \text{ c}^{-1}$:

$$W_{reg}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \frac{Ns}{s + N}. \quad (8)$$

Основні параметри моделі наведено в табл. 1. Моделювання виконано в середовищі MATLAB/Simulink. Як вхідний сигнал використовувалося ступінчасте завдання переміщення штока $x_0 = 85 \text{ мм}$, а дія пасивного навантаження враховувалася через збурення та зміну маси рухомої частини.

Таблиця 1

Параметри математичної моделі електрогідравлічного приводу

Позначення	Назва параметра	Значення	Одиниця
K_v	Добротність контуру за швидкістю	4,5	1/с
T_1	Стала часу розподільника	6,0	мс
ω_h	Власна частота гідросистеми	115	рад/с
ξ	Коефіцієнт демпфування	0,22	-
F_p	Площа поршня	$2,5 \cdot 10^{-3}$	м ²
m	Номинальна маса навантаження	200	кг
P_j	Тиск живлення	10	МПа
x_0	Задане переміщення	85	мм

На першому етапі порівняно перехідні процеси для П-, ПІ- та ПІД-законів керування. Початкові значення коефіцієнтів вибрано за методом Циглера-Нікольського з подальшим уточненням за критерієм мінімуму інтегральної квадратичної похибки. Критичний коефіцієнт підсилення для досліджуваної моделі становив приблизно $K_{cr} = 11,0$, критичний період коливальності - $T_{cr} = 0,058 \text{ с}$.

Перехідні характеристики наведено на рис. 2. ПІ-закон керування має найменшу

коливальність, але через відсутність інтегральної складової не компенсує постійне збурення. Для розрахункового режиму статична похибка становила 12,8 %. Введення інтегральної складової практично усунуло статичну похибку, але збільшило перерегулювання до 16,1%. ПІД-закон керування забезпечив найменший час регулювання - 240 мс, проте перерегулювання зросло до 22 %.

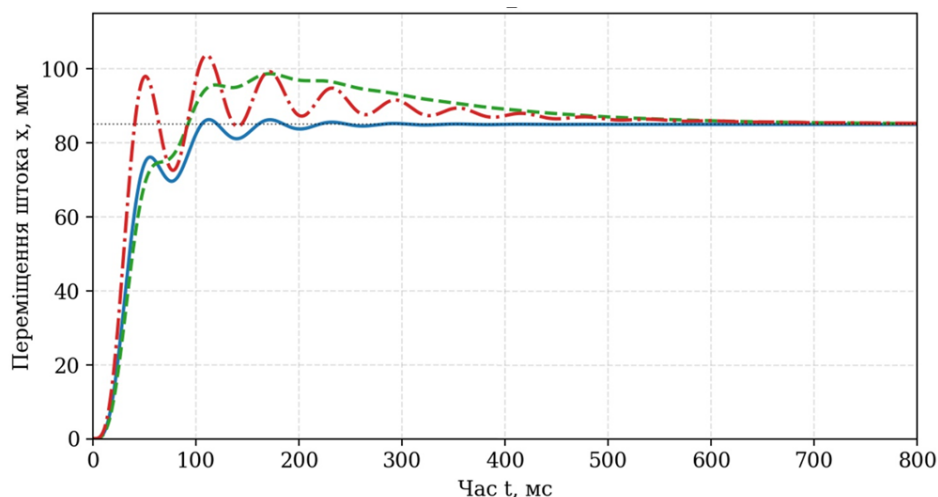


Рис. 2. Перехідні процеси електрогідравлічного приводу при використанні різних законів керування P_j — П-закон ($K_p = 5, 5$), — ПІ-закон ($K_p = 5, 5, K_i = 22$), — ПІД-закон ($K_p = 5, 5, K_i = 22, K_d = 22$),

Отримані результати показують, що вибір закону керування не може виконуватися лише за одним критерієм. Для задач, де визначальною є точність усталеного положення, П-закон потребує додаткової компенсації статичної похибки. ПІ-закон доцільний за помірних вимог до швидкодії. ПІД-закон забезпечує кращу швидкодію, але його застосування потребує контролю перерегулювання та стійкості при зміні параметрів навантаження.

Для оцінювання впливу пропорційної складової виконано серію розрахунків при

фіксованих $K_i = 30$ та $K_d = 0,025$. Як видно з рис. 3, за малого значення $K_p = 2,0$ перехідний процес є повільним, а початкова ділянка характеризується значним недорегулюванням. Збільшення K_p до 5,5-8,0 скорочує час виходу на уставку та зменшує тривалість перехідного процесу. Подальше наближення до критичного підсилення ($K_p = 10,5$) призводить до слабкозатухаючих коливань, що практично обмежує допустимий діапазон налаштування. Для розглянутої моделі раціональним є вибір K_p у межах приблизно $(0,5 \dots 0,8)K_{cr}$.

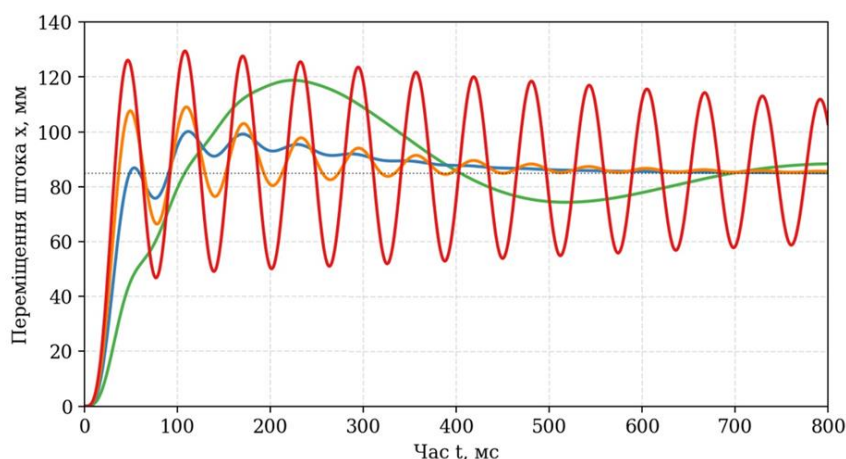


Рис. 3. Вплив пропорційної складової ПІД-закону керування на перехідну характеристику електрогідравлічного приводу $K_d = 0,025, K_i = 30$ — $K_p = 2, 0$, — $K_p = 5, 5$, — $K_p = 8, 0$, — $K_p = 10, 5$

Вплив інтегральної складової досліджено при $K_p = 6,8$ та $K_d = 0,025$. Результати на рис. 4 підтверджують, що збільшення K_i зменшує статичну похибку, але водночас посилює коливальність. При $K_i = 0$ система не забезпечує достатньої компенсації постійного збурення. У діапазоні $K_i = 15 \dots 30$ досягається прийнятний

компроміс між точністю та тривалістю перехідного процесу. За $K_i = 60$ зростає перерегулювання та збільшується ризик накопичення інтегральної складової при обмеженні керуючого сигналу. Для прийнятих параметрів приводу раціональний діапазон інтегрального коефіцієнта становить $K_i = 20 \dots 35$.

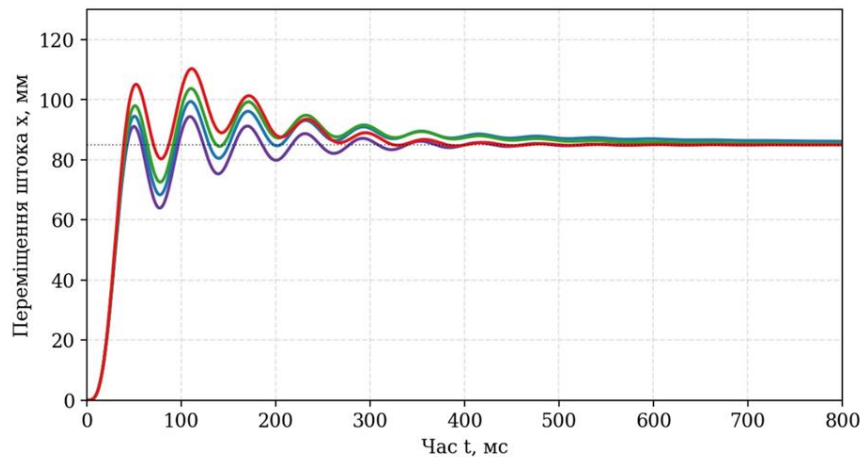


Рис. 4. Вплив інтегральної складової ПІД-закону керування на перехідну характеристику електрогідравлічного приводу $K_d = 0,025$, $K_p = 6,8$ $K_i = 0$, $K_i = 15$, $K_i = 30$, $K_i = 30$

Для перевірки робастності фіксованого налаштування проведено моделювання при зміні маси пасивного навантаження від 100 до 300 кг. Коефіцієнти ПІД-закону залишалися незмінними: $K_p = 4,0$, $K_i = 18$, $K_d = 0,015$. Такі умови відповідають ситуації, коли система керування налаштована для номінальної маси, але під час роботи приводу навантаження змінюється без адаптивного перелаштування.

Перехідні процеси наведені на рис. 5 показують, що при зменшенні маси до 100 кг власна частота гідравлічної системи зростає, тому привід швидше реагує на керуючий вплив. Водночас на початковій ділянці з'являються додаткові коливання. Збільшення маси до 300 кг знижує власну частоту, збільшує тривалість перехідного процесу й підвищує перерегулювання до 22,3%. Час регулювання порівняно з номінальним режимом збільшується на 23,1 %.

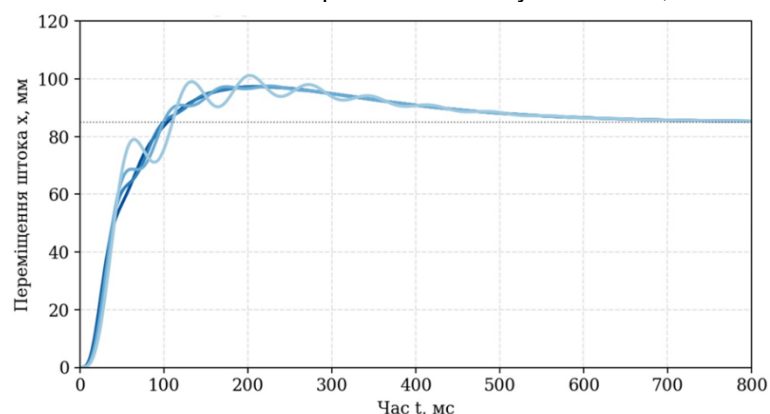


Рис. 5. Перехідні процеси електрогідравлічного приводу при зміні маси пасивного навантаження за фіксованих параметрів керування $K_d = 0,025$, $K_i = 18$, $K_p = 4,0$ 100кг, 150, 200, 300

Отримані дані свідчать, що налаштування, вибране для номінальної маси, не є однаково ефективним для всіх режимів. У межах помірної зміни навантаження система зберігає стійкість і прийнятну якість регулювання. Проте при значному відхиленні маси зростає тривалість перехідного процесу, змінюється характер коливань, а фіксовані коефіцієнти втрачають оптимальність. Це є підставою для застосування адаптивного або табличного налаштування коефіцієнтів залежно

від оціненої маси навантаження чи власної частоти гідравлічної системи.

Висновки. Розроблено математичну модель електрогідравлічного приводу з пасивним навантаженням, яка враховує динаміку пропорційного розподільника, коливальні властивості гідравлічної системи та інтегровальну дію гідроциліндра. Модель придатна для порівняння різних законів керування і параметричного аналізу замкнутого контуру положення.



1. Установлено, що П-закон керування забезпечує мінімальне перерегулювання, але не усуває статичної похибки, яка для досліджуваного режиму становить 12,8 %. ПІ-закон практично компенсує статичну похибку, проте збільшує перерегулювання до 16,1 %. ПІД-закон забезпечує найменший час регулювання - 240 мс, але супроводжується найбільшим перерегулюванням - 22 %.

2. Для прийнятих параметрів приводу раціональним є вибір пропорційного коефіцієнта в межах $K_p = (0,5 \dots 0,8) K_{cr}$ та інтегрального коефіцієнта в діапазоні $K_i = 20 \dots 35$. Зменшення цих коефіцієнтів погіршує швидкодію або точність, а надмірне збільшення посилює коливальність і може привести систему до межі стійкості.

3. Показано, що збільшення маси пасивного навантаження з 200 до 300 кг знижує власну частоту гідравлічної системи з 115 до 94 рад/с, збільшує час регулювання з 455 до 560 мс і підвищує перерегулювання з 17,4 до 22,3 %. Отже, фіксоване налаштування системи керування забезпечує прийнятні характеристики лише в обмеженому діапазоні зміни навантаження.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку адаптивного алгоритму налаштування коефіцієнтів ПІД-закону керування з урахуванням оцінки маси пасивного навантаження, а також на експериментальну перевірку отриманих закономірностей на стенді електрогідравлічного приводу [16].

Список використаних джерел

1. Буренніков Ю. А., Немировський І. А., Козлов Л. Г. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2013. 273 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/Burenikov_2013_273.pdf (дата звернення: 28.08.2026).
2. Козлов Л. Г. Наукові основи розробки систем гідроприводів маніпуляторів з адаптивними регуляторами на основі нейромереж для мобільних робочих машин : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.02. Київ, 2015. 421 с.
3. Забезпечення стійкості мехатронного гідроприводу / Л. Г. Козлов та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2019. № 1 (9). С. 66-76. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-9-1-66-76>.
4. Вплив параметрів системи керування на характеристики LS-гідроприводу під час роботи в режимі розвантаження гідронасоса / О. В. Петров та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2015. № 2 (2). С. 76-82. URL: <https://vmt.vntu.edu.ua/index.php/vmt/article/view/28> (дата звернення: 28.08.2026).
5. Лозінський Д. О. Пропорційний електрогідравлічний розподільник з незалежним керуванням потоків для мобільних машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08.

Вінниця, 2010. 20 с.

6. Оптимізація електрогідравлічного розподільника з незалежним керуванням потоків / Д. О. Лозінський та ін. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2023. № 1 (17). С. 87-91. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-17-1-87-91>.

7. Дослідження системи керування пропорційним електрогідравлічним розподільником / Д. О. Лозінський та ін. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2011. № 2. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/270> (дата звернення: 28.08.2026).

8. Mints H. A., Eny G. E., Senouveau N., Nzue R. M. A. Optimal Tuning PID Controller Gains from Ziegler-Nichols Approach for an Electrohydraulic Servo System. *Journal of Engineering Research and Reports*. 2023. Vol. 25, No. 11. P. 158-166. DOI: <https://doi.org/10.9734/jerr/2023/v25i111031>.

9. Guo Q., Wang M., Liu R., Chen Y., Wang S., Wang H. Dynamic response force control of electrohydraulic servo actuator of active suspension based on intelligent optimization algorithm. *PLOS One*. 2025. Vol. 20, No. 6. e0323066. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323066>.

10. Research on the characteristics of electro-hydraulic position servo system of RBF neural network under fuzzy rules. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. Article 13378. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64262-7>.

11. Coskun M. Y., Itik M. Intelligent PID control of an industrial electro-hydraulic system. *ISA Transactions*. 2023. Vol. 139. P. 484-498. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2023.04.005>.

12. Rydberg K. Energy Efficient Hydraulics - System Solutions for Minimizing Losses. The 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power. Linköping, 2013. P. 479-490. URL: https://www.researchgate.net/publication/293333078_Energy_Efficient_Hydraulics_-_System_Solutions_for_Minimizing_Losses (дата звернення: 28.08.2026).

13. Лозінський Д. О., Піонткевич О. В., Сиротін О. А. Інноваційні підходи до підвищення енергоефективності електрогідравлічних систем. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2025. № 2. С. 214-221. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-2-214-221>.

14. Sciatti F., Tamburrano P., Distaso E., Amirante R. Digital hydraulic valves: Advancements in research. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No. 5. e26828. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26828>.

15. Поліщук І. А. Налаштування ПІД-регулятора на основі методу прямого синтезу



для об'єктів другого порядку із запізненням. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2023. № 2. С. 1-11. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2023-2-1-11>.

16. Лозінський Д. О., Сиротін О. А. Експериментальний стенд для дослідження характеристик електрогідравлічних систем для роботи з пасивним навантаженням. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2025. № 4. С. 164-171. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-4-164-171>.

17. Padovani D., Ketelsen S., Hagen D., Schmidt L. A Self-Contained Electro-Hydraulic Cylinder with Passive Load-Holding Capability. *Energies*. 2019. Vol. 12, No. 2. Article 292. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12020292>.

References

1. Buriennikov, Yu. A., Nemyrovskiy, I. A., & Kozlov, L. H. (2013). *Hydraulika, hidro- ta pnevmopryvody* [Hydraulics, hydraulic and pneumatic drives]. VNTU. https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/Burenikov_2013_273.pdf

2. Kozlov, L. H. (2015). *Naukovi osnovy rozrobky system hidropriyvodiv manipulatoriv z adaptivnymy rehulatoramy na osnovi neironmerzhdia mobilnykh robochykh mashyn* [Scientific foundations for the development of hydraulic drive systems for manipulators with adaptive neural-network regulators for mobile working machines] [Doctoral dissertation, National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute].

3. Kozlov, L. H., Buriennikov, Yu. A., Pyliavets, V. H., Korinenko, M. P., & Lyzhov, O. V. (2019). Zabezpechennia stiiikosti mekhatronnoho hidropriyvodu [Ensuring the stability of a mechatronic hydraulic drive]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu*, 1(9), 66-76. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-9-1-66-76>

4. Petrov, O. V., Kozlov, L. H., Korinenko, M. P., & Harbuz, Ye. S. (2015). Vplyv parametriv systemy keruvannia na kharakterystyky LS-hidropriyvodu pid chas roboty v rezhymi rozvantazhennia hidronasosa [Influence of control system parameters on the characteristics of an LS hydraulic drive during pump unloading]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu*, 2(2), 76-82. <https://vmt.vntu.edu.ua/index.php/vmt/article/view/28>

5. Lozinskyi, D. O. (2010). Proportsiinyi elektrohivavlichnyi rozpodilnyk z nezalezhnym keruvanniam potokiv dlia mobilnykh mashyn [Proportional electrohydraulic directional valve with independent flow control for mobile machines] [Abstract of PhD dissertation]. Vinnytsia.

6. Lozinskyi, D. O., Kozlov, L. H.,

Piontkevych, O. V., & Kavetskyi, O. I. (2023). Optimizatsiia elektrohivavlichnoho rozpodilnyka z nezalezhnym keruvanniam potokiv [Optimization of an electrohydraulic directional valve with independent flow control]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu*, 1(17), 87-91. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-17-1-87-91>

7. Lozinskyi, D. O., Kozlov, L. H., Lozinska, M. M., Senchenko, V. O., & Shevchuk, Ye. I. (2011). Doslidzhennia systemy keruvannia proporsiiynym elektrohivavlichnym rozpodilnykom [Investigation of the control system of a proportional electrohydraulic directional valve]. *Naukovi pratsi Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 2. <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/270>

8. Mintsu, H. A., Eny, G. E., Senouveau, N., & Nzue, R. M. A. (2023). Optimal tuning PID controller gains from Ziegler-Nichols approach for an electrohydraulic servo system. *Journal of Engineering Research and Reports*, 25(11), 158-166. <https://doi.org/10.9734/jerr/2023/v25i111031>

9. Guo, Q., Wang, M., Liu, R., Chen, Y., Wang, S., & Wang, H. (2025). Dynamic response force control of electrohydraulic servo actuator of active suspension based on intelligent optimization algorithm. *PLOS One*, 20(6), Article e0323066. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323066>

10. Research on the characteristics of electro-hydraulic position servo system of RBF neural network under fuzzy rules. (2024). *Scientific Reports*, 14, Article 13378. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64262-7>

11. Coskun, M. Y., & Itik, M. (2023). Intelligent PID control of an industrial electrohydraulic system. *ISA Transactions*, 139, 484-498. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2023.04.005>

12. Rydberg, K. (2013). Energy efficient hydraulics - system solutions for minimizing losses. In *The 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power* (pp. 479-490). Linköping. https://www.researchgate.net/publication/293333078_Energy_Efficient_Hydraulics_-_System_Solutions_for_Minimizing_Losses

13. Lozinskyi, D. O., Piontkevych, O. V., & Syrotin, O. A. (2025). Innovatsiinyi pidkhody do pidvyshchennia enerhoefektyvnosti elektrohivavlichnykh system [Innovative approaches to improving the energy efficiency of electrohydraulic systems]. *Naukovi pratsi Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 2, 214-221. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-2-214-221>

14. Sciatti, F., Tamburrano, P., Distaso, E., & Amirante, R. (2024). Digital hydraulic valves: Advancements in research. *Heliyon*, 10(5), Article e26828.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26828>

15. Polishchuk, I. A. (2023). Nalashtuvannia PID-rehuliatora na osnovi metodu priamoho syntezu dlia ob'ektiv drugoho poriadku iz zapiznenniam [PID controller tuning based on the direct synthesis method for second-order plus dead-time objects]. *Naukovi pratsi Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 2, 1-11. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2023-2-1-11>

16. Lozinskyi, D. O., & Syrotin, O. A. (2025). Eksperymentalnyi stend dlia doslidzhennia kharakterystyk elektrohidravlichnykh system dlia roboty z pasyvnym navantazhenniam [Experimental bench for studying the characteristics of electrohydraulic systems operating with passive load]. *Naukovi pratsi Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 4, 164-171. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-4-164-171>

17. Padovani, D., Ketelsen, S., Hagen, D., & Schmidt, L. (2019). A self-contained electrohydraulic cylinder with passive load-holding capability. *Energies*, 12(2), Article 292. <https://doi.org/10.3390/en12020292>

INFLUENCE OF CONTROL SYSTEM PARAMETERS ON THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF AN ELECTROHYDRAULIC DRIVE WITH PASSIVE LOAD

The article considers the influence of control system parameters on the dynamic characteristics of an electrohydraulic drive operating with a passive load. The object of the study is an electrohydraulic drive with a proportional electrohydraulic directional valve and a double-acting hydraulic cylinder, in which the controlled

coordinate is the displacement of the cylinder rod. The study is carried out for operating conditions in which the passive load forms an external force disturbance and affects the inertial properties of the actuator. Such conditions are typical for technological and mobile machines, where positioning quality depends on the coordination of the hydraulic part, the load and the control algorithm. A mathematical model of a closed-loop position control system is developed. The model takes into account the dynamics of the proportional valve, the oscillatory properties of the hydraulic system, the inertia of moving masses, the integrating action of the hydraulic cylinder and the influence of the external load. Based on this model, a simulation study of transient processes is performed for proportional, proportional-integral and proportional-integral-differential control laws. The analysis focuses on how changes in the controller structure and its components affect the response speed, oscillatory behavior, overshoot and steady-state error of the system. The operation of the drive is also analyzed under conditions in which the mass of the passive load changes while the control parameters remain unchanged. This approach makes it possible to evaluate the sensitivity of the closed-loop system to changes in operating conditions and to describe the nature of the load influence on transient characteristics. The article presents the sequence of model development, the selection of the control system structure, comparative simulation procedures and the analysis of relationships between controller parameters, hydraulic system properties and passive load.

Keywords: electrohydraulic drive, passive load, control system, PID control law, transient response, mathematical model, dynamic characteristics.

Відомості про авторів

Лозінський Дмитро Олександрович - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, 21021, Україна, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95; e-mail: lozinskyi_dmitriy@vntu.edu.ua; контактний телефон: 380964903705; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1077-1621>.

Сиротін Олексій Андрійович - аспірант кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, 21021, Україна, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95; e-mail: 00-23-066.stud@vntu.vn.ua; контактний телефон: 380685150040; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4992-3845>.

Dmytro Lozinskyi - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, 95 Khmelnytske Shose, Vinnytsia, 21021, Ukraine; e-mail: lozinskyi_dmitriy@vntu.edu.ua; phone: 380964903705; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1077-1621>.

Oleksii Syrotin - postgraduate student of the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, 95 Khmelnytske Shose, Vinnytsia, 21021, Ukraine; e-mail: 00-23-066.stud@vntu.vn.ua; phone: 380685150040; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4992-3845>.

Стаття надійшла 30.08.2026

Стаття прийнята 12.09.2026

Опубліковано 12.10.2026