

Ю. А. Бурєнніков
Л. Г. Козлов
С. В. Рєпінський
К. М. Няньчук

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ МЕХАТРОННОГО ГІДРОПРИВОДУ МАНІПУЛЯТОРА З ЧАСТОТНИМ КЕРУВАННЯМ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено динамічні режими роботи мехатронного гідроприводу маніпулятора, в якому об'ємний насос приводиться в дію асинхронним електродвигуном з частотним керуванням. Описано конструктивну схему гідроприводу та особливості функціонування гальмівного клапана. Побудовано математичну модель системи з урахуванням динаміки окремих елементів та зворотних зв'язків. За результатами моделювання у середовищі MATLAB Simulink визначено вплив навантаження на динаміку системи та обрано параметри, що забезпечують її стійку роботу й належну якість регулювання.

Ключові слова: мехатронний гідропривод, асинхронний електродвигун, частотне керування, гальмівний клапан, математичне моделювання, маніпулятор.

Вступ

У сучасному машинобудуванні зростає попит на енергоефективні, високоточні та керовані системи приводу, особливо в галузі мобільної техніки та промислових маніпуляторів. Традиційні гідравлічні приводи демонструють високу вантажопідйомність і надійність, проте обмежені в гнучкості керування. Інтеграція електричних та гідравлічних компонентів у вигляді мехатронних систем, зокрема із застосуванням асинхронного електродвигуна з частотним регулюванням, відкриває нові можливості для підвищення ефективності, точності та адаптивності приводу.

Особливої уваги потребує дослідження динаміки таких систем за умов змінних навантажень та частих перемикань, що характерно для реального функціонування маніпуляторів. Це зумовлює актуальність математичного моделювання та аналізу перехідних процесів з урахуванням елементів зворотного зв'язку та особливостей гідравлічних компонентів (зокрема гальмівного клапана) [1-7].

Метою роботи є дослідження динамічних процесів у мехатронному гідроприводі маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна шляхом математичного моделювання, а також вибір конструктивних параметрів системи, що забезпечують її стійку роботу та якісне регулювання швидкості робочих органів.

Результати дослідження

В роботі розглядається мехатронний гідропривод маніпулятора, в якому об'ємний насос приводиться в дію асинхронним електродвигуном (АД) з перетворювачем частоти (ПЧ). Розрахункова схема приводу маніпулятора показана на рис. 1 [3-5]. Схема включає стійку 1, стрілу 2, рукоять 3, захват 4, гідроциліндри 5, 7, 8, 9 та механізм повороту 10. Маніпулятор змонтований на рамі 11. Насос постійного робочого об'єму H подає робочу рідину через гідролінію 19, гідророзподільники $P2$ та $P1$, робочу гідролінію 21 в гідроциліндр 5, приводячи до руху стрілу 2 маніпулятора. Злив робочої рідини з гідроциліндра 5 забезпечується через робочу гідролінію 22, гідророзподільник $P1$, гідролінію 23, гальмівний клапан 12 та зливну гідролінію 24.

АД з ПЧ оснащений датчиком 18 швидкості обертання вала електродвигуна. Рівень подачі насоса H пропорційний частоті обертання АД і визначає швидкість руху штока 6, а значить і швидкість руху стріли 2 маніпулятора. Роботою приводів маніпулятора керує контролер 14. Вбудований регулятор ПЧ обробляє задане і реальне значення частоти обертання і відповідно їм корегує частоту АД.

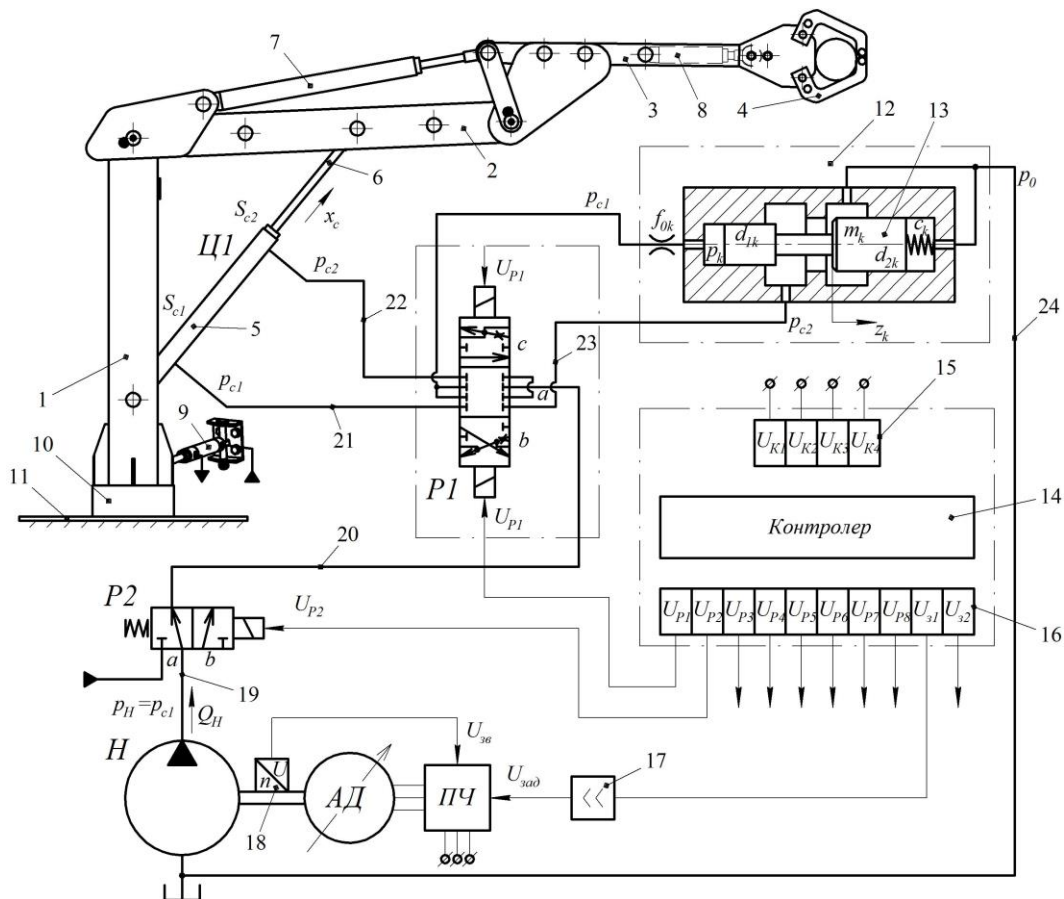


Рис. 1. Схема мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна

Гальмівний клапан 12 призначений для контролю опускання вантажу гідроциліндром, тобто у тому випадку коли дія навантаження збігається з напрямком переміщення гідроциліндра. Управління гальмівним клапаном здійснюється від лінії нагнітання гідроциліндра. Відкриття клапана залежить від керуючого тиску p_k в клапані, який пропорційний навантаженню на гідроциліндрі (тиску p_{c1}). Завдяки цьому підтримується сталість швидкості гідроциліндра при опусканні вантажу незалежно від значення попутного зовнішнього навантаження. При цьому гальмування гідроциліндра забезпечується за рахунок дроселювання робочої рідини в зливній гідролінії 23.

Золотник 13, встановлений в корпусі клапана, утримується в положенні «Закрито» пружиною, зусилля якої змінюється регулювальним гвинтом. Для забезпечення стійкої роботи, яка виключає коливання золотника клапана, в лінії керування встановлений дросель з прохідним перетином f_{0k} .

Математична модель приводу з урахуванням прийнятих припущень [3, 4] включає рівняння сил, що прикладені до поршня гідроциліндра та золотника гальмівного клапана; рівняння нерозривності потоку для ділянок гідроприводу; рівняння, що визначає крутний момент на приводному валу насоса та рівняння головного зворотного зв'язку за частотою обертання вала насоса.

Параметри гальмівного клапана при моделюванні мали такі значення: $d_{1k} = 10 \cdot 10^{-3}$ м; $d_{2k} = 20 \cdot 10^{-3}$ м; $c_k = 1,5 \cdot 10^4$ Н/м; $f_{0k} = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м²; $\Delta_{d1k} = 0,04 \cdot 10^{-3}$ м.

Інші параметри гідроприводу: $q_H = 40 \cdot 10^{-6}$ м³; $\eta_{\text{Ноб}} = 0,9$; $\eta_{\text{Нмех}} = 0,9$; $P_{\text{ЕД}} = 4$ кВт; $n = 1435$ об/хв.; $D_c = 40 \cdot 10^{-3}$ м; $d_{st} = 25 \cdot 10^{-3}$ м; $m_c = 60$ кг; $W_H = 2,0 \cdot 10^{-3}$ м³; $W_{c1} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м³; $W_{c2} = 1,0 \cdot 10^{-3}$ м³; $b_c = 1000$ кг/с; $\rho = 890$ кг/м³; $\mu = 0,6$.

У ході математичного моделювання в середовищі MATLAB Simulink були досліджені перехідні процеси у мехатронному гідроприводі маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна. Проведені розрахунки дозволили оцінити вплив навантажень і параметрів елементів системи на її динамічну поведінку, що дало змогу обґрунтовано підібрати конструктивні параметри для забезпечення стабільної та ефективної роботи гідроприводу в різних режимах.

Висновки

У роботі розроблено структурну та математичну модель мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна, яка враховує нелінійні характеристики гідрравлічних компонентів та особливості зворотних зв'язків. Проведено моделювання перехідних процесів у середовищі MATLAB Simulink за різних навантажень і параметрів приводу. Показано, що використання частотного регулювання дозволяє ефективно контролювати швидкість переміщення робочих органів маніпулятора. Встановлено комбінації конструктивних параметрів, які забезпечують стійку роботу системи та високу якість регулювання у широкому діапазоні робочих режимів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kozlov L., Bilichenko V., Kashkanov A., Tovkach A., Kovalchuk V. Parametric Synthesis of Electrohydraulic Control System for Variable Displacement Pump Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2024, pp. 48–57.
2. Репінський С. В., Козлов Л. Г., Буренніков Ю. А. Керування регульованих насосів в гідроприводах, чутливих до навантаження : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2016. 199 с.
3. Репінський С. В., Козлов Л. Г., Паславська О. В., Мошноріз М. М., Бартецький А. А. Математична модель мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна. Вісник машинобудування та транспорту. 2019. № 1(9). С. 107–114.
4. Козлов Л. Г., Репінський С. В., Паславська О. В., Піонткевич О. В. Характеристики мехатронного приводу під час просторового руху маніпулятора [Електронний ресурс]. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2017. № 2. Режим доступу : <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/507>.
5. Паславська О. В., Козлов Л. Г., Репінський С. В. Математична модель гальмівного клапана в мехатронному гідроприводі маніпулятора з частотно-керованим електродвигуном [Електронний ресурс]. Матеріали І науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 10-12 березня 2021 р. Електрон. текст. дані. 2021. Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/12253>.
6. Буренніков Ю. А., Козлов Л. Г., Репінський С. В. Огляд електрогідрравлічних систем керування насосами змінної продуктивності. Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». 2016. № 2(235). С. 202–206.
7. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Гораль М. В. Динаміка електрогідрравлічного слідкувального приводу пристрою для обкочування віснесиметричних поверхоень. Вісник ВПІ. ВНТУ: Вінниця, 2017. № 6(135). С. 141–146.

Буренніков Юрій Анатолійович – канд. техн. наук, професор, професор кафедри технологій і автоматизації машинобудування Вінницького національного технічного університету, e-mail: yuburennikov@gmail.com

Козлов Леонід Геннадійович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: osna2030@gmail.com;

Репінський Сергій Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: repinskyisv@gmail.com;

Няньчук Костянтин Михайлович – студент групи ІПМ-216, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет.

Modeling of Dynamic Modes of a Mechatronic Manipulator Hydraulic Drive with Frequency-Controlled Induction Motor

Abstract

The paper investigates the dynamic modes of operation of a mechatronic hydraulic drive of a manipulator, in which a positive displacement pump is driven by an induction motor with frequency control. The structural scheme of the hydraulic system and the functional features of the brake valve are described. A mathematical model of the system is developed, taking into account the dynamics of individual components and feedback elements. Based on simulation results in the MATLAB Simulink environment, the influence of loading conditions on the system's dynamics is analyzed, and design parameters are selected to ensure stable operation and high-quality speed control of the actuator.

Keywords: mechatronic hydraulic drive, induction motor, frequency control, brake valve, mathematical modeling, manipulator.

Burennikov Yuri A. – Ph.D. tech. Sciences, Professor, Professor of the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, E-mail: yuburennikov@gmail.com

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

Repinskyi Serhii V. – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: repinskyisv@gmail.com;

Nianchuk Kostiantyn M. – Student of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.