

УДК 621.22; 681.527

Л. Г. Козлов, к. т. н., доц.; В. А. Ковальчук; О. В. Піонткевич; М. П. Коріненко**ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ГІДРОАПАРАТАМИ НА ОСНОВІ ПРОПОРЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ**

У статті розглянуто проблему керування гідроапаратами за допомогою пропорційних електромагнітів. Наведено результати експериментального дослідження статичних і динамічних характеристик пропорційних електромагнітів. Розроблено рекомендації, що можуть бути використані під час проектування гідроапаратів із пропорційним електромагнітним керуванням.

Ключові слова: пропорційний електромагніт, системи керування гідроапаратами, експериментальний стенд.

Постановка проблеми. Гідроапаратура з пропорційним електрогідравлічним керуванням отримала широке застосування в багатьох галузях промисловості та сільського господарства, зокрема в гідроприводах верстатів із ЧПК, промислових роботах, різноманітному технологічному обладнанні та мобільних робочих машинах. Системи керування такою гідроапаратурою загалом складаються з пульта керування, системи збирання та аналізу даних, генератора керувальних сигналів та пропорційного електромеханічного перетворювача [1]. Найбільшого поширення набули системи керування, у яких функції збирання, аналізу даних та формування електричних сигналів керування виконують програмовані мікропроцесорні пристрої (вільнопрограмовані контролери), а в якості електромеханічного перетворювача використовують пропорційні електромагніти.

Оскільки робота гідроприводів мобільних і технологічних машин у динамічних режимах характеризується частими змінами режимів роботи та навантаження, то виникає необхідність розробки алгоритмів керування, що корегують сигнали керування відповідно до характеристик як гідропривода, так і системи його керування. Ураховуючи, що розрахункові потужності вільнопрограмованих контролерів забезпечують високу швидкість обробки даних та лінійність перетворення сигналів, то дослідження статичних і динамічних характеристик пропорційних електромагнітів набуває визначального значення під час проектування системи керування гідроприводом мобільних і технологічних машин [2 – 3].

Використання пропорційних магнітів для керування розподільними золотниками не потребує значних зусиль перестановки, забезпечує простоту керування та високу вихідну потужність, проте висуває підвищені вимоги до якості робочої рідини та зумовлює технологічні труднощі під час виготовлення [4, 5]. Розподільники на основі клапанних елементів невибагливі до якості робочої рідини, забезпечують високу герметичність, але мають підвищені габаритні розміри та меншу точність керування. У роботі [6] показано, що гідроапаратура на основі сопло-заслонки характеризується відносною простотою його конструкції, відносно невисокими вимогами до класу чистоти робочої рідини, високою потужністю вихідного сигналу, але значною їх вадою є відкритість каналу сопла, що не забезпечує можливості запирання каналу регульованого тиску та порожнин, пов'язаних з ним, а також зміни тиску керування від максимальних значень до мінімальних.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є розробка рекомендацій щодо проектування гідроапаратури з пропорційним керуванням та формування сигналів керування на основі експериментального дослідження характеристик усього ланцюга керування та пропорційних електромагнітів зокрема.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі завдання:

– розробити експериментальний стенд, що містить джерело сигналів, мікропроцесорний

пристрій керування та пропорційний електромагніт;

- визначити статичні характеристики системи керування;
- визначити динамічні характеристики системи керування.

Основні результати: На рис. 1 показано конструкцію запобіжно-переливної секції гідророзподільника, що має клапан з пропорційним електромагнітним керуванням. Секція складається з корпусу 1, розподільного золотника 2, запірною елемента клапана 3, сідла клапана 4 з дросельним каналом 5, пропорційного електромагніта 6, а також пружин 11 та 12. Оскільки тиск у робочих лініях гідророзподільника залежить від комбінації зусилля стиснення пружини та сили на якорі електромагніта, а також від налаштування робочого ходу запірною елемента клапана 3, то якість регулювання робочих параметрів у гідросистемі, що містить цей гідро розподільник, залежить від статичних і динамічних характеристик електромагнітів, а також від настроювання переміщення якоря електромагніта.

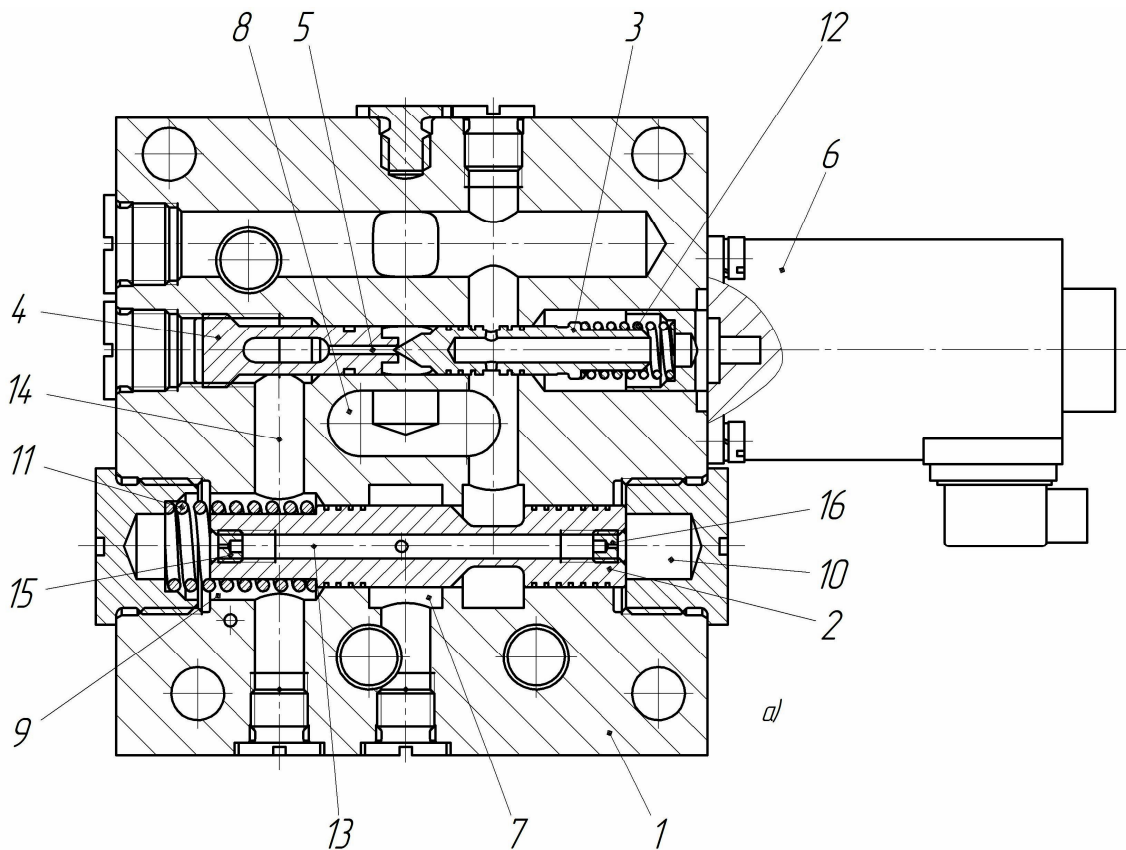


Рис. 1. Конструкція клапана з пропорційним електромагнітним керуванням

Для досліджень було використано дві моделі пропорційних електромагнітів: MFZ1-5.5YC фірми SAL (Китай) та ZO(R)-A фірми ATOS (Італія). Для дослідження статичних характеристик електромагнітів було розроблено експериментальну установку (рис. 2), яка складається з блоку живлення 1, що містить вольтметр 2 та регулятор напруги 3; досліджуваного електромагніта 4, жорстко закріпленого на напрямних 6 стійки 5 з рухомих столом 7; електронних ваг 8 та індикатора годинникового типу (див. рис. 2).

Під час дослідження статичних характеристик електромагнітів було побудовано залежність створюваного зусилля від переміщення якоря. Також реєстрували переміщення опорної поверхні електронних ваг з метою введення корекції зміщення якоря електромагніта відносно граничного положення. Дослідження проводили за різних значень напруги в котушці електромагніта. На рис. 3 наведено результати дослідження статичних характеристик пропорційних електромагнітів за різних значень напруги в обмотках.

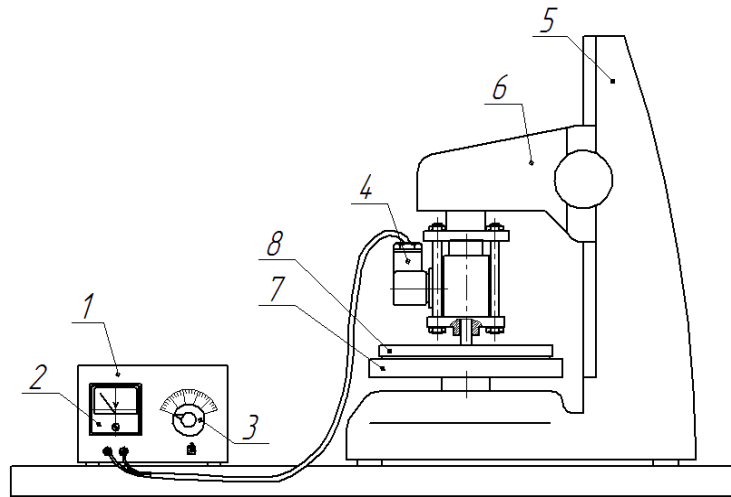
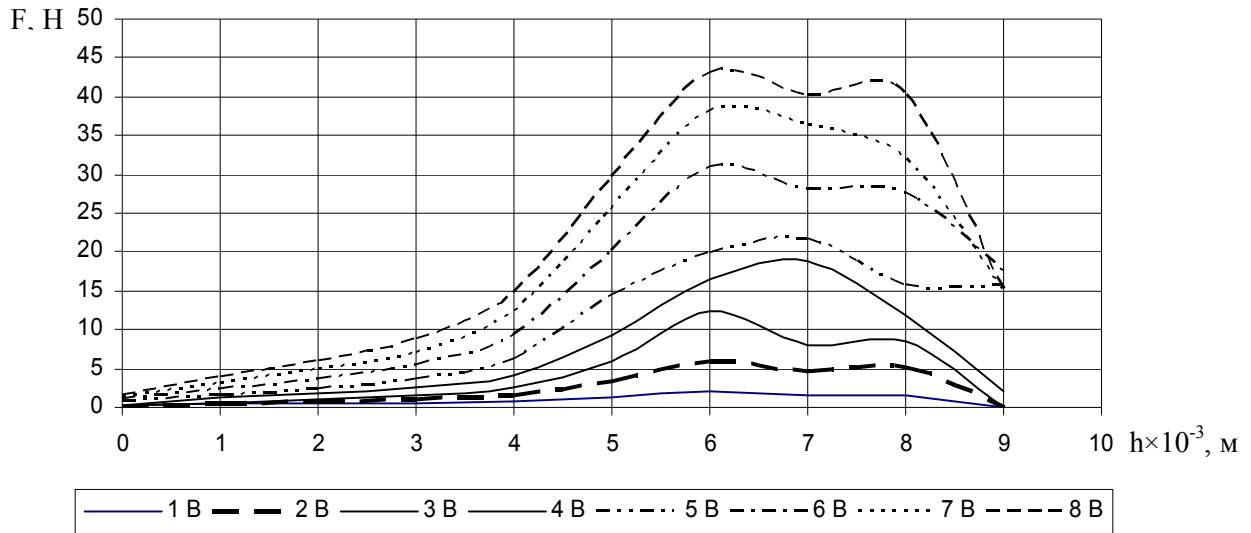
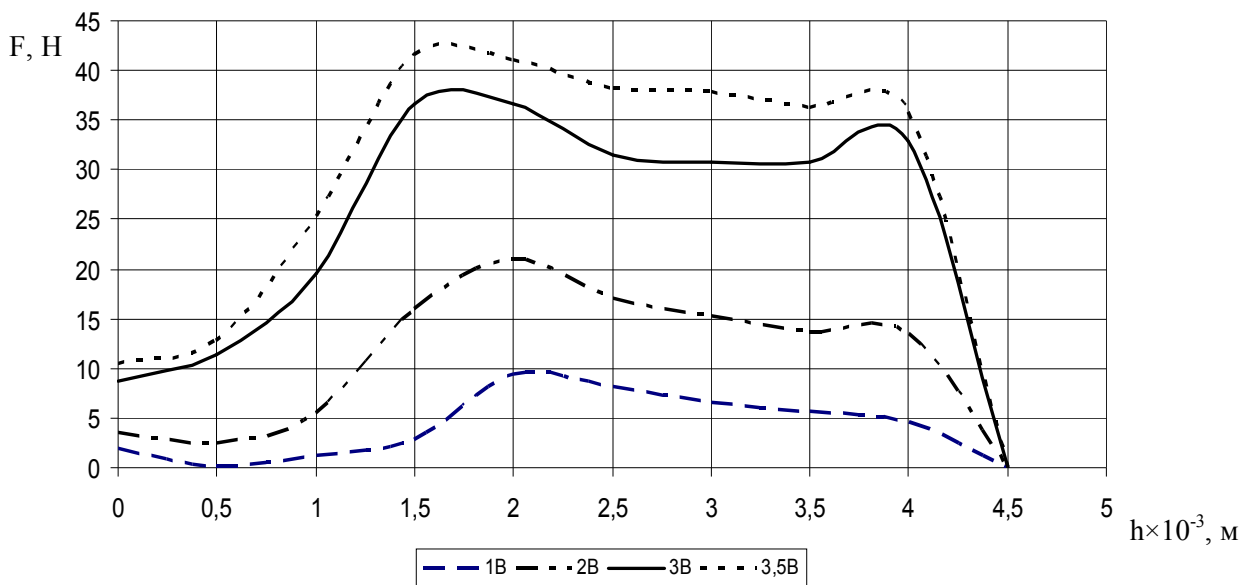


Рис. 2. Експериментальна установка для дослідження статичних характеристик пропорційних електромагнітів



а)



б)

Рис. 3. Статичні характеристики пропорційних електромагнітів: а) MFZ1-5.5YC і б) ZO(R)-A за різних значень напруги в обмотці керування

За результатами досліджень встановлено, що робочим ходом для електромагніта MFZ1-5.5YC є діапазон 6 – 8 мм переміщення якоря, а для електромагніта ZO(R)-A – 2,5 – 4 мм. Крім того для малих напруг характерний більш значний дрейф характеристик із відхиленням зусилля в межах 5 – 12% для електромагніта MFZ1-5.5YC та 3 – 7% для електромагніта ZO(R)-A. Загалом дослідження показали, що в електромагніта ZO(R)-A статична характеристика має ширшу ділянку робочого ходу, а коливання зусилля на цій ділянці не перевищують 7% і з підвищенням напруги зменшуються. Для електромагніта MFZ1-5.5YC характерна досить широка зона (від 0 до 4 мм переміщення), у межах якої зусилля зростає мінімально, що може бути пов'язано з конструктивними особливостями виконання обмотки котушки електромагніта.

Для проведення дослідження динамічних характеристик важливо визначити вплив усіх складників системи керування, серед яких нормалізатори та перетворювачі сигналів на форму та величину вихідного електричного сигналу. Під час дослідження характеру перехідного процесу реєстрували електричні параметри вхідного сигналу, що створювався генератором низькочастотних сигналів ГЗ-112/1, вихідного сигналу мікропроцесорного пристрою та напруги в обмотці котушки пропорційного електромагніта.

На рис. 4 наведено блок-схему стенда для визначення динамічних характеристик пропорційних магнітів.

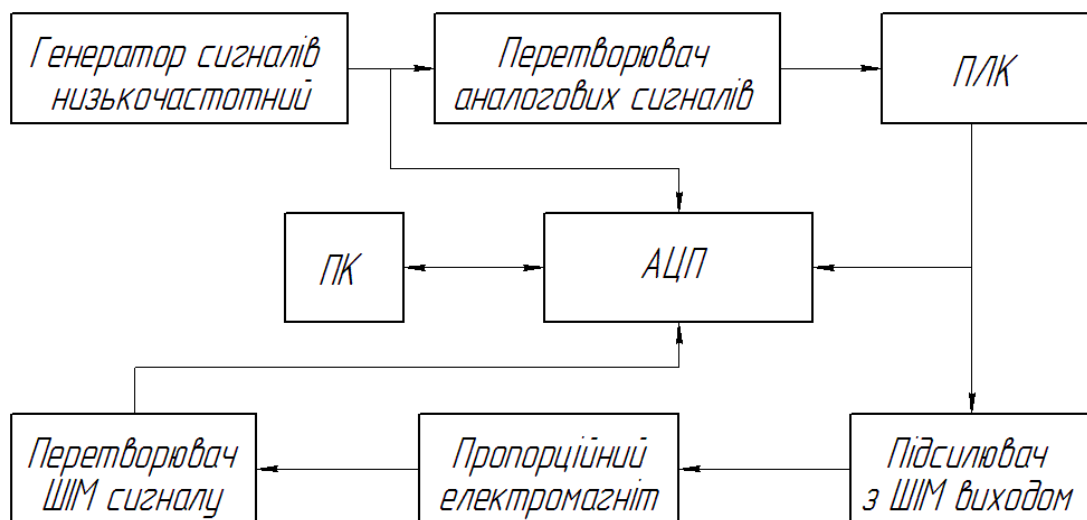


Рис. 4. Блок-схема стенда для визначення динамічних характеристик пропорційних електромагнітів

Отриманий під час досліджень вигляд перехідного процесу в системі керування під час подачі ступінчастого та гармонічного сигналів на вхід системи керування наведено на рис. 5.

Отриманий перехідний процес має аперіодичний затухаючий характер із перерегулюванням за величиною напруги в котушці електромагніта $\sigma = 15\%$ та тривалістю регулювання $t_p = 0,08$ с. Під час подачі на вхід системи керування сигналу, що плавно змінюється (наприклад, за синусоїдальним законом), величина перерегулювання зменшується до 3%, а тривалість регулювання складає $t_p = 0,05$ с.

Для визначення смуги пропускання в системі керування було побудовано її амплітудо-частотну характеристику. Для цього на вхід системи керування подавали синусоїдальний сигнал у діапазоні частот від 0,5 до 45 Гц. На рис. 6 наведено залежність відношення амплітуд вхідного до вихідного сигналів від частоти. Стале значення відношення амплітуд зберігається до частоти в 10 Гц, а за частоти 25 Гц вихідна амплітуда зменшується на 30%, а тому використання такої системи керування на частотах понад 25 Гц не припустимо.

U, В

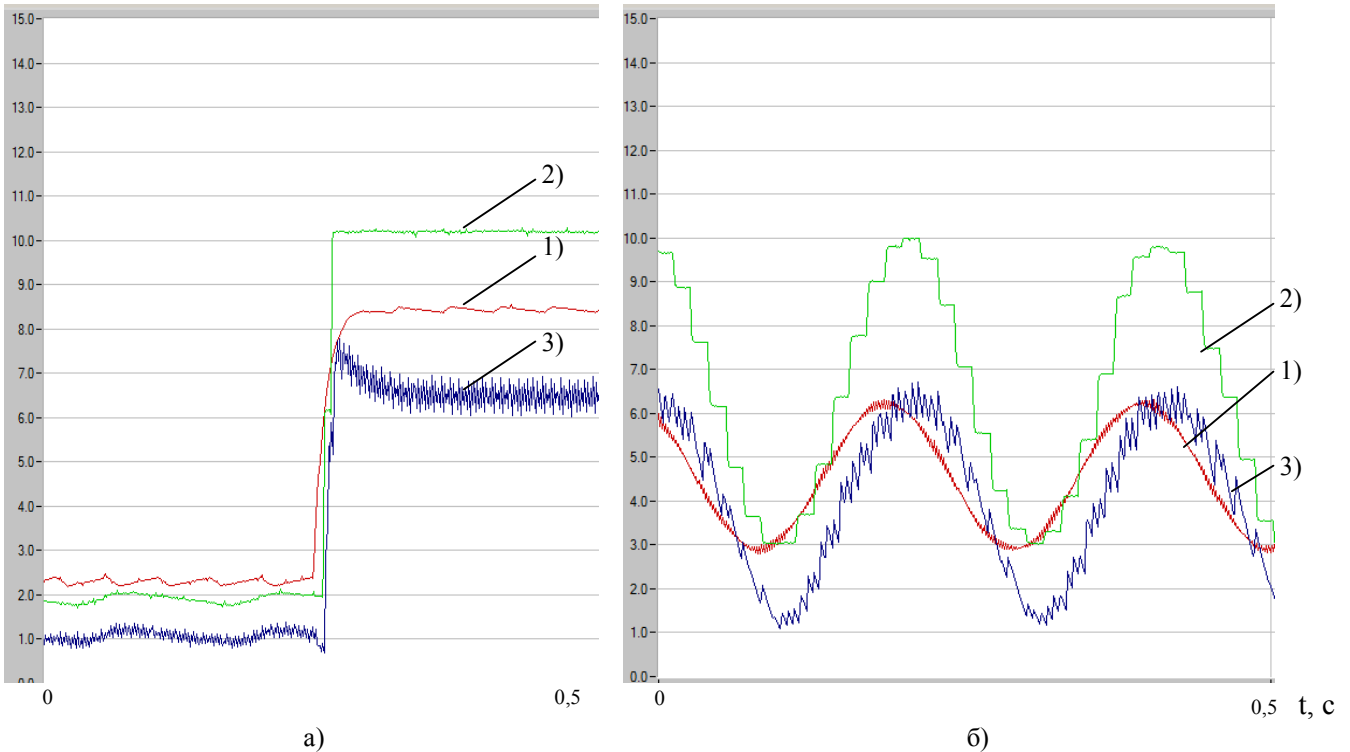


Рис. 5. Характер перехідного процесу під час подання на вхід системи керування:
а) ступінчастого сигналу; б) синусоїдального сигналу.

1) вхідний сигнал; 2) сигнал на виході мікропроцесорного пристрою; 3) коливання рівня напруги в котушці пропорційного електромагніта

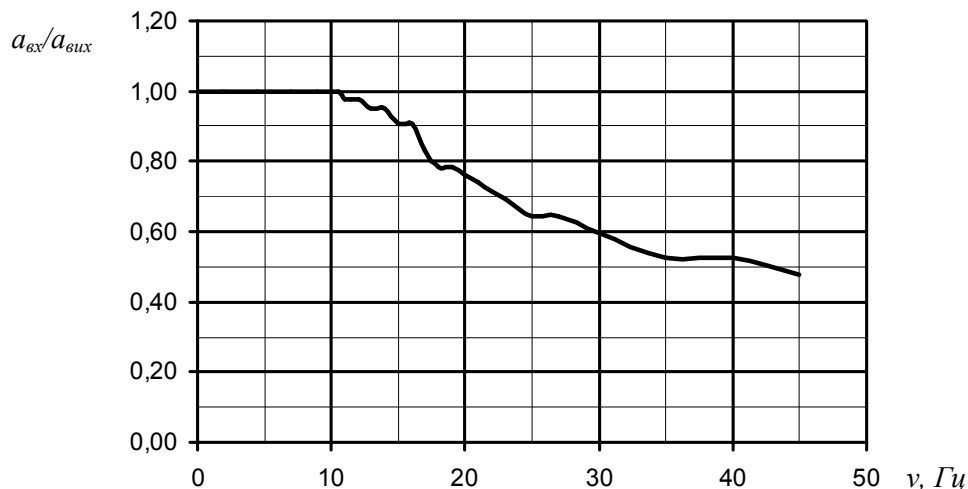


Рис. 6. Амплітудо-частотна характеристика системи керування на основі електромагнітів з пропорційним регулюванням робочих параметрів

Висновки

1. Під час проектування гідроапаратури слід орієнтуватися на експериментально визначені ділянки робочого ходу пропорційних електромагнітів: для електромагніта MFZ1-5.5YC – 6 – 8 мм, а для електромагніта ZO(R)-A – 2,5 – 4 мм;

2. Систему керування на основі вільнопрограмованих контролерів і пропорційних електромагнітів MFZ1-5.5YC або ZO(R)-A можна застосовувати за частот, що не перевищують 25 Гц;

3. Астатизм системи вимірювання загалом складає 8% для електромагніта ZO(R)-A та 12% для електромагніта MFZ1-5.5YC.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Наземцев А. С. Гидравлические и пневматические системы. Ч. 2. Гидравлические приводы и системы / Наземцев А. С. – М.: Форум, 2007. – 304 с.
2. Козлов Н. П. Электромагнитные пропорциональные управляющие элементы / Н. П. Козлов, И. М. Крассов. – М. – Л.: издательство «Энергия», 1966. – 112 с.
3. Квашнин А. И. Элементы гидравлических систем и объемного гидропривода: учеб. пособ. / Квашнин А. И. – Пермь: изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 274 с.
4. Боровин Г. К. Математическое моделирование гидравлической системы управления шагающей машины / Г. К. Боровин, А. В. Костюк, А. К. Платонов // Математичні машини і системи. – 2009. – № 4. – С. 127 – 138.
5. Лурье З. Я. Математическое моделирование динамики гидроагрегата навесного оборудования трактора / З. Я. Лурье, В. А. Макей, Е. Н. Цента // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 2. – С. 36 – 41.
6. Скворчевський О. Е. Галузі застосування багатфункціональних пропорційних електрогидравлічних перетворювачів / О. Е. Скворчевський // Вісник Східноукраїнського державного університету. – 2007. – №3. – С. 140 – 144.

Козлов Леонід Геннадійович – к. т. н., доцент, професор кафедри технології та автоматизації машинобудування, osna2030@gmail.com.

Ковальчук Вадим Анатолійович – інженер I-ої категорії навчально-наукового центру автоматизації виробництва та ЧПК технологій, vadkovalchuk@gmail.com.

Піонткевич Олег Володимирович – аспірант кафедри технології та автоматизації машинобудування.

Коріненко Микола Петрович – магістрант інституту машинобудування та транспорту.
Вінницький національний технічний університет.