УДК 621.22

Ю.А. Бурєнніков, к.т.н., проф.
В.А. Ковальчук, інж.
Л.Г. Козлов, к.т.н., проф.
Ю.В. Шевчук, к.т.н., ст. викл.
В.Г. Пилявець, магістрант
Вінницький національний технічний університет

СТАБІЛІЗАЦІЯ ВИТРАТИ РОБОЧОЇ РІДИНИ В ГІДРОПРИВОДІ ЛИВАРНОГО МЕХАНІЗМУ ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТА

Розглянуто завдання контролю швидкості руху штока гідроциліндра ливарного механізму термопластавтомата за умови зміни тиску в гідроприводі з пропорційним програмним керуванням. Для вирішення поставленого питання розроблено експериментальний стенд, а також систему керування гідроприводом зі зворотним зв'язком за тиском. Проведено ряд дослідів, в результаті яких виявлено залежність частоти обертання гідромотора від зміни тиску в гідроприводі, а також запропоновано алгоритм обробки вхідного сигналу зворотного зв'язку для корекції сигналу керування. Використання представленого алгоритму в програмі керування, що розроблена в середовищі MATLAB Simulink, дозволило покращити стабільність потоку робочої рідини до гідродвигуна. Розроблена система керування, використовуючи запропонований алгоритм, дає можливість компенсувати вплив нелінійних сил та стабілізувати роботу гідроприводу.

Ключові слова: *гідропривод; система керування; пропорційне програмне керування.*

Вступ. Постановка проблеми. Виробництво пластмасових виробів (корпуси побутових та промислових приладів, пластмасова фурнітура, тара для пакування, кулькові ручки, дюбелі тощо) здійснюється на термопластавтоматах (ТПА). Процес лиття відбувається за різних значеннях тиску, але найчастіше виготовлення деталей – за 80–140 МПа [1], що зумовило використання в ливарному механізмі гідроприводів.

Якість готових деталей залежить як від зміни тиску формування, так і від швидкості впорскування розплавленого матеріалу в форму [2]. В зв'язку з цим постає потреба в регулюванні швидкості руху штока ливарного гідроциліндра, яка, в свою чергу, залежить від потоку робочої рідини в гідродвигун.

У гідроприводах найчастіше використовують електрогідравлічні підсилювачі з серво- та пропорційним керуванням [4]. Проте застосування сервокерування призводить до втрат в першому ступеню підсилення сигналу керування [5]. Проблему ж впливу на динамічні характеристики підсилювача з пропорційним керуванням осьової гідродинамічної сили здебільшого вирішують профілюванням золотника [6, 7].

Враховуючи те, що конструкція підсилювача з пропорційним керуванням простіша, а динамічні характеристики можуть бути покращені завдяки формуванню закону керування, регулювання швидкості робочого органу ливарного вузла термопластавтомата може бути реалізоване завдяки використанню гідроприводів з пропорційним програмним керуванням.

Викладення основного матеріалу. Основні результати. У Вінницькому національному технічному університеті розроблено експериментальний стенд, що дозволяє здійснювати дослідження гідроприводу ливарного механізму ТПА з пропорційним програмним керуванням. Стенд оснащено АЦП/ЦАП перетворювачем та системою керування гідроприводом на основі програмованого мікроконтролера.

На рисунку 1 представлено схему гідроприводу ливарного вузла термопластавтомата (ТПА). Він містить нерегульований насос 1, пропорційний регулятор потоку 2, гідророзподільник 3 та гідроциліндр 4. Гідророзподільник 3 містить пропорційний запобіжно-переливний клапан 5, комутаційний клапан 6 та золотник 7. Регулятор потоку складається з основного клапана 8, керуючого пропорційного золотника 9 та компенсатора тиску 10.

Працює гідропривід таким чином. Відповідно до заданого алгоритму роботи гідроприводу на пропорційний електромагніт ЕМ1 регулятора потоку 2 подається керуючий сигнал, в результаті чого з надклапанної порожнини клапана 8 відбувається об'ємна витрата рідини в бак. У результаті клапан піднімається вгору і створює об'ємну витрату рідини до робочих органів, одночасно підсилюючи сигнал керування. Отже клапан встановлюється в рівноважному положенні, яке відповідає значенню уставки електромагніта ЕМ1 за рахунок реалізації гідравлічного зворотного зв'язку.

© Ю.А. Бурєнніков, В.А. Ковальчук, Л.Г. Козлов, Ю.В. Шевчук, В.Г. Пилявець, 2015

У штокову порожнину гідроциліндра 4 рідина подається через золотник 7, що керується електромагнітом ЕМ3.

Швидкість впорскування визначається налаштуванням пропорційного регулятора 2, а тому в лінії керування клапаном комутації 6 поршневої порожнини гідроциліндра 4 встановлено дискретний електромагніт ЕМ2.

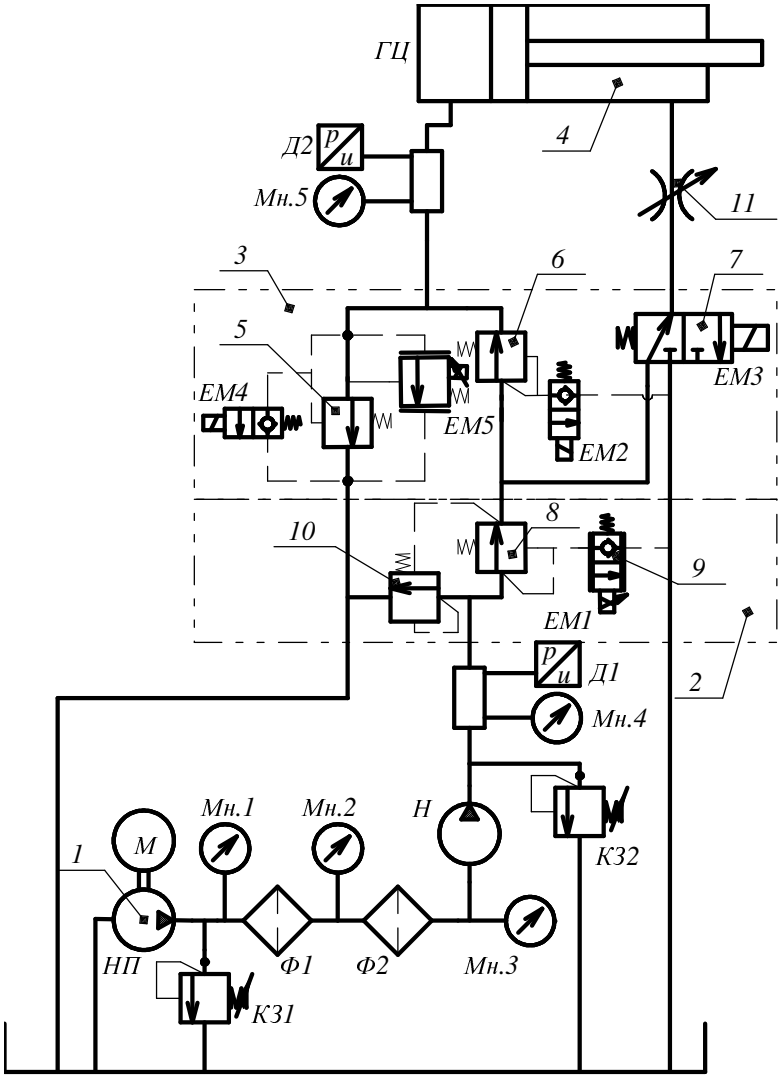

Рис. 1. Схема експериментального стенду для дослідження гідроприводу ливарного механізму ТПА

На етапі формування виробу (витримка під тиском) необхідно дотримуватися заданого профілю тиску (закону зміни тиску витримки). Для цього в лінію керування клапаном 5, паралельно золотнику, що керується дискретним електромагнітом ЕМ4, встановлено пропорційний запобіжно-переливний клапан тиску, що керується електромагнітом ЕМ5. В результаті чого при досягненні тиску в поршневій порожнині гідроциліндра заданого значення через клапан тиску створюється об'ємна витрата рідини, основний клапан піднімається вгору, збільшуючи витрату рідини в бак доти, поки величина тиску в гідроциліндрі не дорівнюватиме заданій.

Послідовність спрацьовувань окремих клапанів в розподільнику 3 та регулятора потоку 2 задається керуючою програмою мікроконтролера. Регульований дросель слугує для імітації навантаження на гідроциліндрі 4.

За необхідності налаштування гідроприводу передбачено можливість заміни гідроциліндра на гідромотор з тахогенератором, що дозволяє використовувати його для опосередкованого визначення витрати робочої рідини в гідродвигун.

Під час дослідження за допомогою АЦП/ЦАП перетворювача реєструвалися тиск на вході гідророзподільника p_c та частота обертання вала гідромотора n. Зворотній зв'язок в системі керування реалізований за сигналом тиску p_c, що сприймається і відповідним чином посилюється мікроконтролером.

На рисунку 2 наведено структурну схему системи керування та реєстрації даних, а також показано перетворення сигналів, що реєструються.

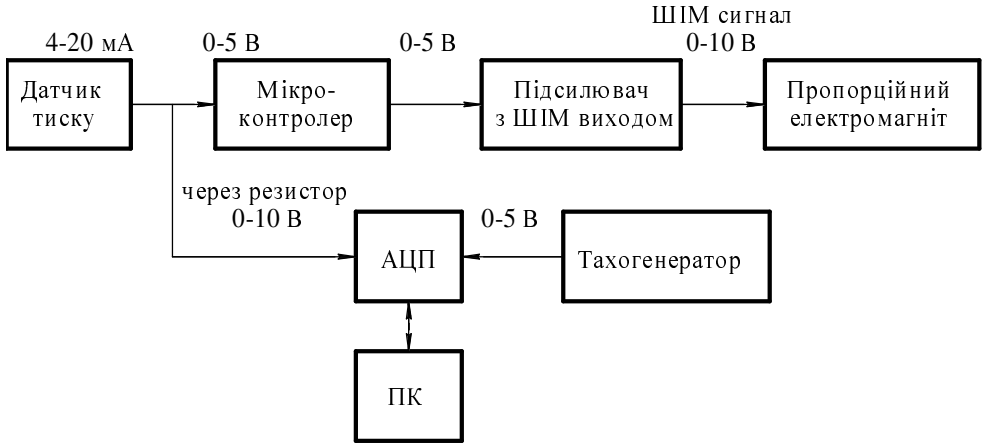

Рис. 2. Структурна схема системи керування та реєстрації даних

Спираючись на залежність напруги на обмотці пропорційного магніту та зусилля на його якорі в середовищі MATLAB Simulink, було розроблено програму керування гідроприводом, відповідно до якої зусилля на магніті, а, отже, і тиск на виході розподільника змінювався пропорційно до опорного сигналу p_c (рис. 3).

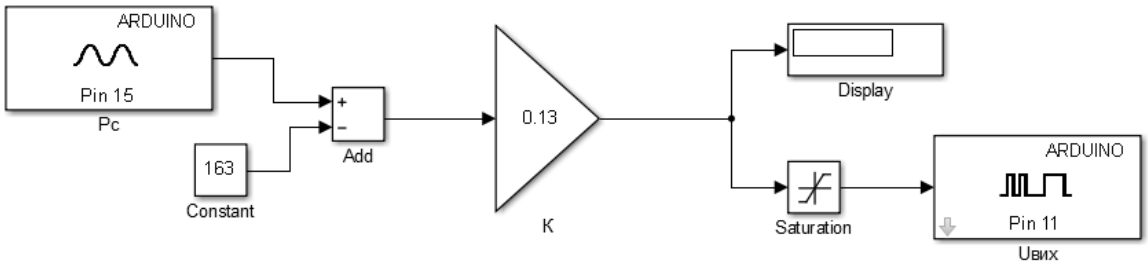

Рис. 3. Блок-схема програми керування гідроприводом зі зворотнім зв'язком за тиском виконана в MATLAB Simulink

Коефіцієнт перетворення сигналу зворотного зв'язку K визначає залежність між значенням тиску на вході та зусиллям на якорі електромагніта. Відповідно до наведеної на рисунку 2 структурної схеми системи керування та перетворення сигналів, а також показаної на рисунку 3 блок схеми керування можна записати, що:

$$p_c \cdot \frac{\Delta i \max}{\Delta p \max} \cdot 0.2 \cdot \frac{in_range}{out_range} \cdot K = U_{sol}, \tag{1}$$

де p_c – опорне значення тиску в гідроприводі; $\Delta i \max$ – вихідний діапазон датчика тиску, мА; $\Delta p \max$ – робочий діапазон датчика тиску в МПа; in_range – 10-бітний діапазон обробки вхідних сигналів мікроконтролером; $\Delta U \max$ – робоча напруга на входах та виходах мікроконтролера; out_range – 8-бітний діапазон обробки вихідних сигналів мікроконтролером; U_{sol} – поточна напруга на котушці електромагніта.

Підставивши числові дані до (1), отримаємо:

$$p_c \cdot \frac{16}{25} \cdot 0.2 \cdot \frac{1024}{255} \cdot K \cdot = U_{sol}; \tag{2}$$

$$p_c \cdot 0,514 \cdot K = U_{sol}.$$

Звідки:

$$K = \frac{U_{sol}}{0,514 \cdot p_c}. \tag{3}$$

Проте при використанні такої прямо-пропорційної залежності вихідної напруги на котушці пропорційного електромагніта від опорної величини тиску спостерігається падіння частоти обертання гідромотора при зростанні тиску в гідросистемі, причому збільшення коефіцієнта перетворення сигналу зворотного зв'язку K викликає лише зростання частоти обертання за тієї самої величини тиску, але не змінює характер кривої (рис. 4).

Для розв'язання цієї проблеми до алгоритму програми керування додано коефіцієнт корекції вихідного сигналу K_1, який за низьких значення тиску не впливатиме на роботу гідроприводу, а при зростанні тиску буде додатково підвищувати рівень напруги в котушці пропорційного електромагніта.

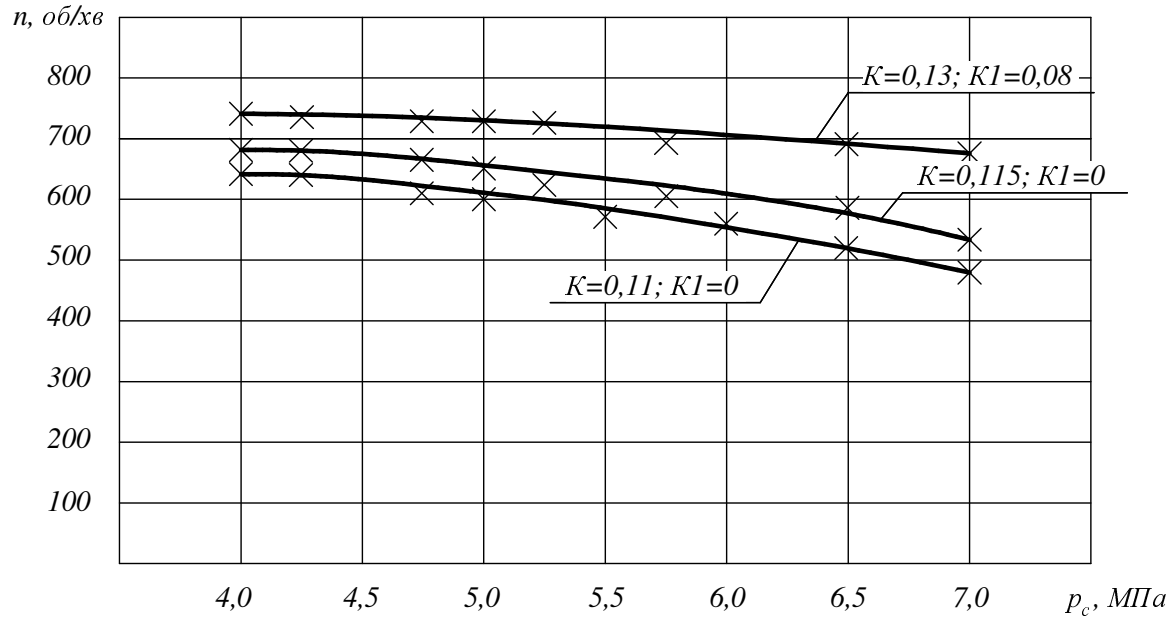

Рис. 4. Залежність частоти обертання гідромотора від тиску в гідроприводі при різних значеннях коефіцієнтів K та K_1

На рисунку 5 представлено програму керування гідроприводом з додатковим коефіцієнтом корекції вихідного сигналу K_1, що визначає ступінь підвищення напруги в котушці електромагніта, порівняно з базовою величиною.

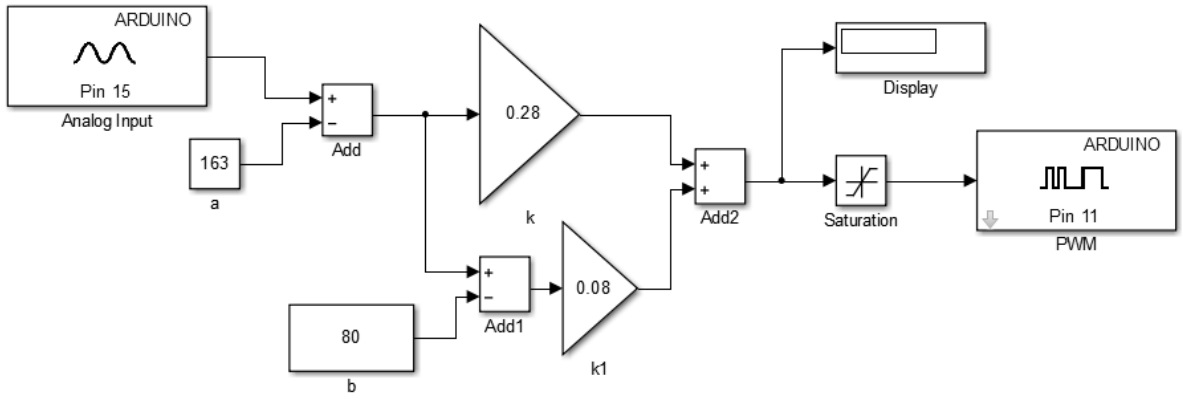

Рис. 5. Блок-схема програми керування з використанням коефіцієнта корекції вихідного сигналу K_1

На рисунку 4 представлено залежності частоти обертання гідромотора для різних комбінацій коефіцієнтів K та K_1. Визначимо величину похибки стабілізації частоти обертання гідромотора при різних співвідношеннях коефіцієнтів K та K_1:

$$\Delta n = \frac{640-490}{640}\cdot 100\% = \frac{150}{640}\cdot 100\% = 22.3\%;\ \text{при К=0,1, } К_1 = 0;$$
$$\Delta n = \frac{670-540}{670}\cdot 100\% = \frac{130}{670}\cdot 100\% = 19,4\%;\ \text{при К=0,115, } К_1 = 0; \quad (4)$$
$$\Delta n = \frac{740-670}{740}\cdot 100\% = \frac{70}{740}\cdot 100\% = 9,4\%;\ \text{при К=0,13, } К_1 = 0,08.$$

В результаті введення коефіцієнта корекції вихідного сигналу $К_1$ вдалося зменшити похибку стабілізації частоти обертання гідромотора з 22,3 до 9,4 %.

Висновки. У запропонованій схему гідроприводу ливарного механізму термопластавтомата забезпечується стабілізація швидкості руху виконавчого органа завдяки системі керування зі зворотним зв'язком за тиском на основі програмованого мікроконтролера.

Запропоновано алгоритм обробки зворотного сигналу за тиском за допомогою додаткового коефіцієнта корекції підсилення, що дозволило зменшити величину похибки стабілізації частоти обертання гідромотора з 22,3 до 9,4 %.

Список використаної літератури:

1. *Гиберов З.Г.* Механическое оборудование заводов пластических масс / *З.Г. Гиберов*. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1977. – 336 с.
2. *Торнер Р.В.* Оборудование заводов по переработке пластмасс / *Р.В. Торнер, М.С. Акутин*. – М. : Химия, 1986. – 400 с.
3. *Дубровин В.А.* Исследование динамики системы управления гидропривода подвижной рамы подбивочного блока в системе Visual Simulator / *В.А. Дубровин, П.А. Сорокин* // Известия ТулГУ / Технические науки. – 2008.– Вып. 2. – С. 43–50.
4. *Попов Д.Н.* Механика гидро- и пневмоприводов : учебник / Д.Н. Попов. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
5. *Салман М.И.* Сравнение статических характеристик электрогидравлических усилителей с пропорциональным и сервоуправлением / *М.И. Салман, Н.Г. Сосновский* // Наука и образование. – 2013 [Електронне видання]. – Режим доступу : http://technomag.bmstu.ru/doc/579738.html.
6. *Андренко П.М.* Гідравлічні пристрої мехатронних систем : навч. посібник / *П.М. Андренко*. – Х. : Вид. центр НТУ «ХПІ», 2013. – 188 с.
7. *Guillon M.* Teoria I obliczanie ukladow hydraulicznych / *M.Guillon*. – Warszawa : WNT, 1967. – 509 p.

БУРЄННІКОВ Юрій Анатолійович – кандидат технічних наук, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– моделювання та синтез гідравлічних систем технологічних машин та мобільної техніки.

КОВАЛЬЧУК Вадим Анатолійович – інженер центру автоматизації виробництва та ЧПК технологій Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– розробка та дослідження гідроприводів на базі пропорційної гідроапаратури з програмним керуванням.

E-mail: kovalchuk_vadim@mail.ru

КОЗЛОВ Леонід Геннадійович – кандидат технічних наук, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– розробка та дослідження мехатронних гідросистем мобільних робочих машин.

ШЕВЧУК Юрій Володимирович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– енергозбереження та діагностування рухомого складу міського електротранспорту.

ПИЛЯВЕЦЬ Володимир Георгійович – магістрант кафедри технологій та автоматизації машинобудування Вінницького національного технічного університету.

Наукові інтереси:
– гідроапаратура з програмним керуванням.

Стаття надійшла до редакції 21.08.2015