

УДК 621.22

О.В. Петров, канд. техн. наук, доц.,
Н.С. Семічаснова, старш. викл., **О.С. Сусме́тов**, студент, **Д.В. Чеповой**, студент
Вінницький національний технічний університет, Україна
Тел./Факс: +38 (0432) 598323; E-mail: petrovov@ukr.net

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВИТРАТИ РІДИНИ ЧЕРЕЗ РОБОЧЕ ВІКНО РОЗПОДІЛЬНОГО ЗОЛОТНИКА ГІДРОРОЗПОДІЛЬНИКА

В статті описано спосіб визначення витрати рідини через робоче вікно гідророзподільника експериментальним шляхом. На основі отриманих експериментальних даних апроксимована нелінійна залежність витрати робочої рідини, що залежить від величини відкриття розподільного золотника та значення перепаду тиску на ньому.

Ключеві слова: *гідропривод, гідророзподільник, розподільний золотник, витрата робочої рідини, експериментальний стенд, апроксимація експериментальних даних.*

Вступ

На етапі створення нової схеми гідроприводу або гідравлічного агрегату обов'язковим кроком є проведення експериментальних досліджень, за допомогою яких можна вивчити робочі процеси та характеристики гідроприводу при зміні параметрів його роботи. Також, для моделювання робочих процесів у гідроприводі, необхідно керуватися залежностями, які максимально враховують особливості конструкції гідроагрегатів, що входять до його складу. У літературі широко представлені різноманітні залежності, за допомогою яких можна виконати математичний опис будь-яких робочих процесів у гідроприводі, але іноді такі залежності не в достатній мірі відображають реальну картину протікання перехідних процесів, що зумовлює похибки у результатах математичного моделювання [1, 2]. Експериментальне визначення та апроксимація експериментальних даних для створення залежностей, які з високою точністю описують робочий процес на певній ділянці дослідження, є актуальною задачею.

Формулювання мети і постановка завдань роботи

Метою даної наукової публікації є представлення способу визначення експериментальним шляхом витрати рідини через робоче вікно гідророзподільника. Визначення даної залежності дозволить сформулювати власну формулу розрахунку витрати рідини, яка буде враховувати особливості конструкції досліджуваного гідророзподільника та умов його експлуатації. Отримання формули розрахунку витрати рідини забезпечить підвищення точності та адекватності математичної моделі гідроприводу, до складу якого входить досліджуваний гідророзподільник.

У роботі поставлено завдання: розробити експериментальний стенд та алгоритм визначення витрати робочої рідини, що протікає через задану ділянку гідроприводу; визначити кількість дослідів, достатніх для узагальнення результатів експериментів; провести апроксимацію отриманих експериментальних даних та визначити залежність витрати рідини через робоче вікно гідророзподільника.

Основний зміст та результати роботи

Для експериментального визначення залежності витрати рідини через робоче вікно розподільного золотника гідророзподільника використовувався стенд, схема якого наведена рис. 1 [3].

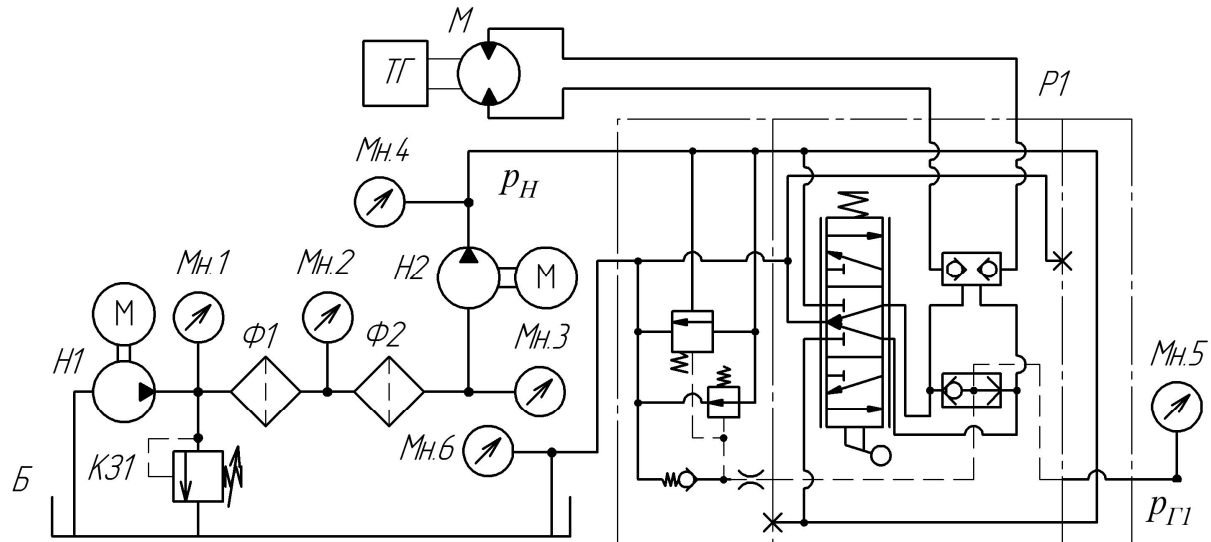


Рис. 1. Схема стенда для експериментального визначення витрати рідини через робоче вікно розподільного золотника гідророзподільника

Схема стенда включає такі основні складові: систему живлення, систему реєстрації та гідророзподільник.

До системи живлення стенда входять: гідронасос підживлення Н1 з робочим об'ємом $q = 100 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, напірні фільтри Ф1 та Ф2 (номінальна тонкість фільтрації до 25 мкм), запобіжний клапан К31, що обмежує значення максимального тиску в гідроприводі в аварійних режимах, основний гідронасос Н2 з робочим об'ємом $q = 80 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$, бак Б. До системи реєстрації входять: манометри МН1-МН5, тахогенератор постійного струму ТГ, що сполучений із гідромотором М. Гідророзподільник поданий схематично та позначений як Р1. Як робоча рідина використовувалось мастило індустріальне И-50А (густина 901 кг/м^3 , кінематична в'язкість при 50°C 47...55 сСт).

Стенд дозволяє проводити фізичне моделювання робочих процесів у гідроприводі, а також візуально спостерігати та фіксувати отримані результати. Манометри МН1-МН5 дозволяють візуально спостерігати значення тиску у гідролініях гідроприводу у статичних режимах роботи. Тахогенератор постійного струму ТГ, що встановлений на валу гідромотора М для реєстрації частоти обертання n , підключений до аналогово-цифрового перетворювача. Для прийому, обробки та передачі аналогово-цифрових сигналів експериментальний стенд оснащений цифровим осцилографом ADA-1406, що є модулем з USB-інтерфейсом, який використовується як аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) та підключається до персонального комп'ютера. Для відтворення та запису отриманих даних на персональному комп'ютері використовується програма графічної візуалізації Pi-Graf.

У таблиці 1 наведені метрологічні характеристики засобів реєстрації експериментального стенда.

Таблиця 1. Метрологічні характеристики засобів реєстрації

Позначення	Параметр	Діапазон вимірювань	Точність
Мн1-Мн5	Тиск	0,5..15 МПа	± 3%
ТГ	Частота обертання n	0..3000 об/хв	± 1%

Значення витрати через робоче вікно розподільного золотника гідророзподільника визначалось частотою обертання валу гідромотора М в залежності від відкриття розподільного золотника h та величини тисків p_H і $p_{Г1}$, що фіксувались за допомогою манометрів Мн4 та Мн5.

Необхідна кількість експериментів визначалось за формулою [4]:

$$n_D = \frac{\vartheta_D^2 \cdot t_D^2}{p_B^2}, \quad (1)$$

де n_D – кількість експериментів;

t_D – коефіцієнт ймовірності ($t_D = 2,364$ – відповідно до закону нормального розподілу);

p_B – коефіцієнт точності ($p_B = 5\%$ – відносна похибка [5]);

ϑ_D – варіаційний коефіцієнт змінності ($\vartheta_D = 4\%$ – відповідно до закону нормального розподілу).

Підставивши значення змінних отримаємо:

$$n_D = \frac{4^2 \cdot 2,364^2}{5^2} = 3,577 \approx 4.$$

Таким чином, дослід проводився 4 рази при температурі робочої рідини 24-56 °С та інтервалами часу між дослідями 60 с [5].

Для кожного відкриття h розподільного золотника визначалась величина різниці тисків $p_H - p_{Г1}$ та витрати Q_P через робоче вікно розподільного золотника гідророзподільника. Результати вимірів та розрахунків наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати вимірів та розрахунку витрати

1	$h \cdot 10^{-3}$, м	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	$p_H - p_{Г1}$, МПа	0,72	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78
	$Q_P \cdot 10^{-3}$, м ³ /с	0,05	0,16	0,27	0,5	0,94	1,11
2	$h \cdot 10^{-3}$, м	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	$p_H - p_{Г1}$, Па	0,71	0,73	0,75	0,76	0,77	0,77
	$Q_P \cdot 10^{-3}$, м ³ /с	0,1	0,17	0,28	0,5	0,95	1,11
3	$h \cdot 10^{-3}$, м	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	$p_H - p_{Г1}$, Па	0,7	0,73	0,75	0,76	0,78	0,78
	$Q_P \cdot 10^{-3}$, м ³ /с	0,11	0,18	0,29	0,51	0,96	1,11
4	$h \cdot 10^{-3}$, м	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	$p_H - p_{Г1}$, Па	0,7	0,72	0,74	0,75	0,77	0,78
	$Q_P \cdot 10^{-3}$, м ³ /с	0,12	0,19	0,3	0,52	0,97	1,11

Як видно з таблиці 2 на розподільному золотнику гідророзподільника зберігається постійна величина перепаду тиску у вузькому діапазоні $\Delta p = p_H - p_{Г1} = (0,7...0,78)$ МПа, тому витрата гідродвигуна буде пропорційна відкриттю розподільного золотника в межах $h = (1,5...4,0) \cdot 10^{-3}$ м.

Апроксимація функції $Q_P = f(h, p_H - p_{Г1})$ виконана у програмі MATLAB за допомогою функції `interp2(X1,X2,Y,Z1,Z2)`, яка забезпечує реалізацію двомірної табличної інтерполяції для функції $Y=Y(X,Z)$ на масиві значень X та Z [6]. Значення аргументу для вихідних таблиць змінювалися монотонно та задавалися в спеціальному форматі функції `meshgrid` [7]. В результаті інтерполяції функції $Q_P = f(h, p_H - p_{Г1})$ отримана поверхня розподілу експериментальних даних, що представлена на рис 2.

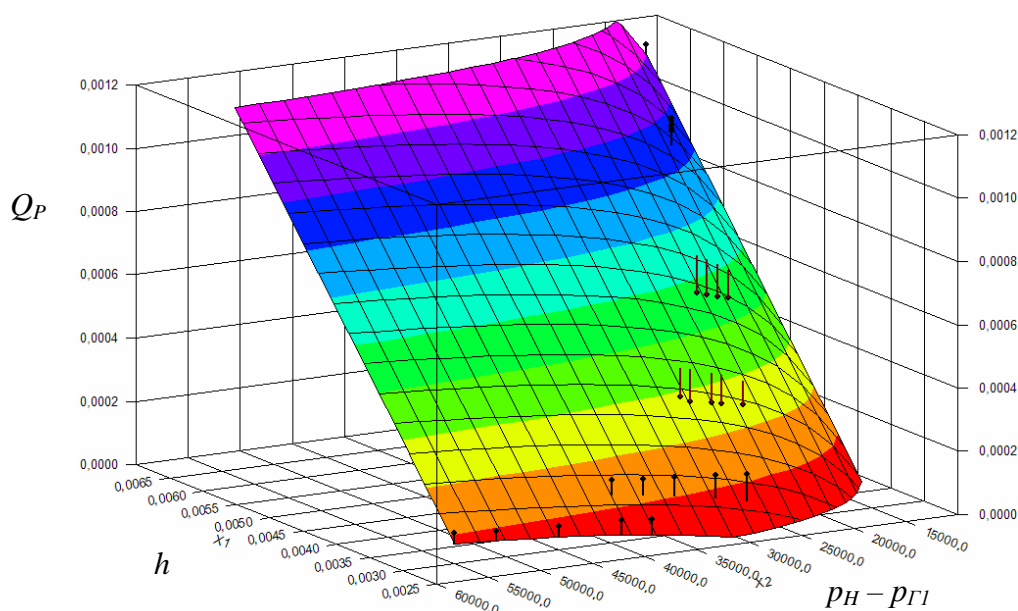


Рис. 2. Поверхня функції $Q_P = f(h, p_H - p_{Г1})$

В результаті апроксимації функції $Q_P = f(h, p_H - p_{Г1})$ отримана формула розрахунку витрати через робоче вікно розподільного золотника гідророзподільника:

$$Q_P = 0,43 \cdot h - \frac{6,3 \cdot 10^{-3}}{p_H - p_{Г1}} - 6,9 \cdot 10^{-4}.$$

Експериментально отримані значення Q_P за величиною відносної похибки відрізняються до 6,8% від значень отриманих за допомогою апроксимованої залежності.

Висновки

Отже, в результаті проведення експериментальних досліджень визначено залежність витрати рідини Q_P через робоче вікно розподільного золотника гідророзподільника. На основі отриманих експериментальних даних апроксимована нелінійна залежність витрати робочої рідини, що залежить від величини відкриття розподільного золотника та значення перепаду тиску на ньому. Визначена залежність Q_P може використовуватись для математичного опису робочих процесів гідроприводу, до складу якого входить розглянутий гідророзподільник.

Список літератури:

1. Немировский И.А. Нелинейная математическая модель дроссельного гидропривода / И.А. Немировский // Гидропривод и гидропневмоавтоматика: Респ. Межвед. сб. – 1974. – №10. – С. 53-56.
2. Лурье З.Я. Математическая модель узла «электрогидравлический преобразователь – золотник гидрораспределителя» гидроагрегата навесного оборудования трактора / З.Я. Лурье, Е.Н. Цента // Промислова гідравліка і пневматика. – 2007. – №3(17). – С. 96-99.
3. Burennikov Yu.A. Metrological characteristic of the test rig with automatic regesting of the proportionally-controlled hydraulic drive / Yu.A. Burennikov, L.G. Kozlov, D.O. Lozinsky, O.V. Petrov and S.V. Repinskiy // BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC DIN IASI. – Tomul LV (LIX), fasc. 1, 2009. – P.125-130.
4. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных русловий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М: Наука, 1976 – 280 с.
5. Статников И.Н. Методика аппроксимации результатов вычислительного эксперимента в задачах исследования динамики механических систем / И.Н. Статников, Г.И. Фирсов // Необратимые процессы в природе и технике. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – С. 201-203.
6. Дьяконов В.П. Математические пакеты расширения MATLAB / В.П. Дьяконов, В.М. Круглов. – СПб.: Питер, 2001. – 268 с.
7. Дьяконов В. П. MATLAB 6/6.1/6.5 + SIMULINK 4/5 в математике и моделировании / В. П. Дьяконов. – М.: Солон Пресс, 2003. – 366 с.

Надійшла до редакції 25.02.2014

А.В. Петров, Н.С. Семичаснова, А.С. Сусметов, Д.В. Чеповой

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДА ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОКНО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЗОЛОТНИКА ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

В статье описан способ определения расхода жидкости через рабочее окно гидрораспределителя экспериментальным путем. На основании полученных экспериментальных данных аппроксимирована нелинейная зависимость расхода рабочей жидкости, которая зависит от величины открытия распределительного золотника и значения перепада давления на нем.

Ключевые слова: гидропривод, гидрораспределитель, распределительный золотник, расход рабочей жидкости, экспериментальный стенд, аппроксимация экспериментальных данных.

O.V. Petrov, N.S. Semichasnova, O.S. Susmetov, D.V. Chepovoy

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF THE FLUID FLOW RATE THROUGH THE WORKING PORT OF THE DIRECTIONAL CONTROL VALVE SPOOL

The paper describes the way to determine fluid flow rate through the working port of the directional control valve by experimental method. On the basis of the obtained experimental data nonlinear dependence of the fluid flow rate on the directional spool opening and pressure differential value at it has been approximated.

Keywords: hydraulic drive, directional control valve, directional spool, fluid flow rate, test rig, experimental data approximation.