

УДК 621.22

В.Б. Струтинський, д-р техн. наук
 Національний технічний університет України
 "Київський політехнічний інститут", Київ, Україна,
 Л.Г. Козлов, канд. техн. наук
 Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна

МЕХАТРОННА ГІДРОСИСТЕМА З ЦИФРОВИМ РЕГУЛЯТОРОМ НА ОСНОВІ НЕЙРОКОНТРОЛЕРА

MECHATRONIC HYDRAULIC SYSTEM WITH A DIGITAL REGULATOR ON THE BASIS OF NEURAL CONTROLLER

Вступ

У промисловості, будівництві та в сільському господарстві останнім часом знаходять все більше застосування робочі машини з гідроманіпуляторами. Такі машини комплектуються великою кількістю змінного робочого обладнання: захватами різного призначення, підйомниками, гідроножицями та ін.

Робота таких машин характеризується частою зміною режимів руху гідроманіпулятора, широким спектром навантажень на робочих органах. При цьому гідросистема машини повинна забезпечувати мінімізацію енерговитрат у робочому циклі, необхідні статичні та динамічні характеристики.

Постановка задачі

Гідросистеми робочих машин з маніпуляторами в країнах пострадянського простору будуються, як правило, на основі нерегульованих насосів та релейних гідророзподільників. Вони дешеві, надійні в роботі, але при регулюванні режимів роботи гідроманіпулятора виникають значні втрати потужності, пов'язані з дроселуванням робочої рідини в гідроапара-

турі. Тенденцією розвитку гідросистем робочих машин є перехід на пропорційні гідросистеми та регульовані насоси з електрогідравлічним керуванням [2]. Застосування таких гідросистем дозволяє суттєво підвищити технічний рівень машин.

У гідросистемах з пропорційним електрогідравлічним керуванням при застосуванні вільно програмуваних контролерів з'являється можливість застосування адаптивних цифрових регуляторів, що дозволяє знизити непродуктивні втрати потужності, покращити статичні та динамічні характеристики робочих машин з гідроманіпуляторами.

Розробка мехатронної гідросистеми з цифровим регулятором

Для вирішення цієї задачі запропоновано мехатронну гідросистему на основі регульованого насоса, пропорційного гідророзподільника та цифрового регулятора з нейроконтролером (рисунк 1).

Мехатронна гідросистема включає регульований насос 1 з регулятором 2, пропорційний гідророзподільник 3, гідроциліндр 4 з поршнем 5, гідробак 6,

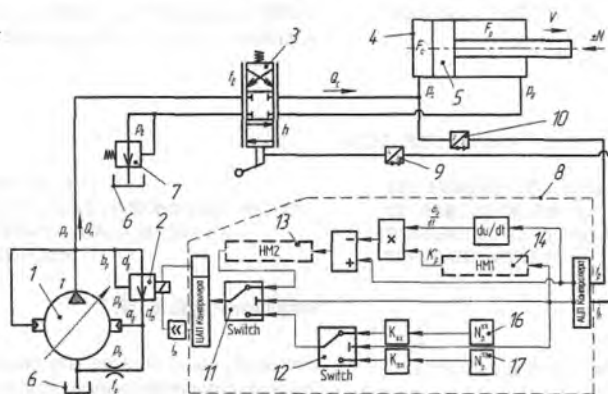


Рисунок 1 — Мехатронна гідросистема з цифровим регулятором на базі нейроконтролера

компенсатор тиску 7, контролер 8, датчик переміщення 9 та датчик тиску 10. Контролер 8 реалізує функції цифрового регулятора мехатронної гідросистеми і включає логічні блоки 11, 12 та нейромережі 13, 14.

Працює мехатронна гідросистема таким чином. Витрата Q_n від насоса 1 надходить через пропорційний гідророзподільник 3 до гідроциліндра 4 і приводить до руху його поршень.

Злив робочої рідини від гідроциліндра до гідробаку 6 забезпечується через пропорційний гідророзподільник 3 та підпірний клапан 7. Датчик переміщення 9 реєструє положення h золотника пропорційного гідророзподільника 3, а датчик 10 реєструє величину тиску p_c на виході до гідроциліндру 4. Сигнали від датчиків 9 та 10 надходять до контролера 8, який формує сигнал управління i_m для пропорційного електромагнітного регулятора 2. При зміні величини h положення золотника гідророзподільника пропорційно змінюватиметься величина витрати Q_c , що надходить від насоса 1 до гідроциліндра 4, причому величина витрати не залежатиме від величини та напрямку дії навантаження N на гідроциліндрі 4. Підпірний клапан 7 працює при супутньому навантаженні на гідроциліндрі. Цифровий регулятор забезпечує роботу гідросистеми в режимах холостого ходу, постійного потоку, захисту від перенавантаження, регулювання швидкості гідроциліндра як при зустрічному, так і при супутньому навантаженнях.

При закритому пропорційному гідророзподільнику $h = 0$ (режим холостого ходу) витрата від насоса 1 до гідроциліндра 4 не надходить, поршень 5 гідроциліндра 4 зафіксований. При цьому насос 1 подає в гідросистему незначну витрату Q_n , яка забезпечує роботу його системи керування. На виході насоса цифровий регулятор за допомогою блоків 11, 12 та 16 разом з регулятором 2 підтримуватиме тиск $p_n = 15$ МПа. Непродуктивні втрати потужності у режимі холостого ходу незначні.

При максимальному відкритті h_{max} пропорційного гідророзподільника 3 тиск p_n на виході насоса 1 залежить від навантаження N на гідроциліндрі 4. Цифровий регулятор за допомогою блоків 11, 12 та 17 та регулятора 2 обмежує тиск $p_n = 16,0$ МПа максимально допустимий для мехатронної гідросистеми. Витрата Q_n при цьому дорівнюватиме максимальній продуктивності регульованого насоса. Величина витрати, що надходить до гідроциліндра $Q_c = Q_n$, не зміниться, а поршень гідроциліндра 4 рухатиметься з постійною по величині швидкістю. Таким чином, будуть реалізовані режими постійного потоку та захисту системи від перенавантаження. Втрати потужності в режимі постійного потоку визначаються втратами тиску при проходженні витрати Q_n робочої рідини від насоса 1 до гідроциліндра 4. В режимі захисту від перенавантаження втрати потужності будуть незначними і визначаються витратою робочої рідини, необхідною для підтримки роботи регулятора 2, до гідроциліндра 4 витрата Q_n надходити не буде.

При зміні відкриття h у діапазоні $0 \leq h < h_{max}$ (режим регулювання швидкості гідроциліндра) цифровий регулятор за допомогою нейромережі 13 підтримує на пропорційному гідророзподільнику 3 перепад тиску $\Delta p = p_n - p_c = 0,8$ МПа. Це дозволяє пропорційно керувати величиною витрати Q_c до гідроциліндра 4, змінюючи величину h . Витрата Q_c , а відповідно і швидкість v руху поршня 5 як при зустрічному, так і при попутному навантаженнях залишатиметься стабільною. Тиск p_n на виході регульованого насоса 1 при попутному навантаженні визначатиметься настройкою підпірного клапана 7 і складатиме величину 1,0 МПа. При зустрічному навантаженні тиск залежатиме від величини навантаження N на гідроциліндрі 4, при зростанні N тиск зростатиме до величини $p_n = p_{max} = 16,0$ МПа, яка визначається настройкою цифрового регулятора. Втрати потужності в режимі регулювання швидкості гідроциліндра будуть незначні. Оскільки витрата регульованого насоса Q_n буде близькою по величині до витрати Q_c , що споживається гідроциліндром 4, величина тиску пропорційна величині зустрічного навантаження, а при попутному навантаженні тиск $p_n = 1,0$ МПа.

Цифровий регулятор включає PD-регулятор з автоматичною корекцією коефіцієнта диференційної складової. Корекцію коефіцієнта диференційної складової реалізує в залежності від величини відкриття h пропорційного гідророзподільника, нейромережа 14. Використання PD-регулятора дозволяє зменшити величину перерегулювання та часу регулювання в мехатронній гідросистемі в динамічних режимах роботи [4].

Для забезпечення режимів роботи мехатронної гідросистеми використано нейромережу 13 з одним прихованим шаром нейронів. Нейромережу 13 сформовано на базі перцептронів, що мають функцію активації по типу гіперболічного тангенсу для прихованого шару нейронів, та лінійну функцію активації для вихідного нейрона. Схему нейромережі 13 зображено на рисунку 2.

Нейромережа 13 забезпечує подачу на вхід електромагнітного регулятора 2 сигналу i_m , що формує величину перепаду тиску $\Delta p = p_n - p_c = 0,8$ МПа на пропорційному гідророзподільнику 2, пропорційну залежність між величинами струму i_m та i_p в діапазоні $(4-11) \cdot 10^{-3} A$ та залежність $i_m = 0,05 \cdot i_p$ у діапазоні $(11-19) \cdot 10^{-3} A$.

Перевірку працездатності та ефективності роботи цифрового регулятора на базі нейроконтролера виконано з використанням нелінійної математичної моделі мехатронної гідросистеми.

Математична модель включає рівняння моментів (1) на планшайбі насоса 1 (рисунк 1), рівняння сил на поршні 5 (2), на золотнику регулятора 2 (3), на золотнику підпірного клапана 7 (4), рівняння нерозривності потоків для гідроліній між насосом 1 та про-

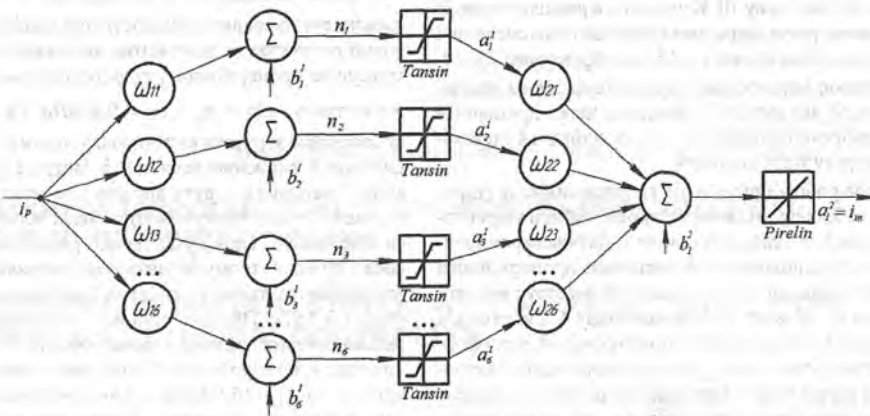


Рисунок 2 — Нейромережа, що забезпечує роботу мехатронної гідросистеми в режимі регулювання швидкості гідроциліндра

порційним гідророзподільником 3 (5), між пропорційним гідророзподільником 3 та гідроциліндром 4 (6), між регулятором 2 та дроселем в системі керування насосом 2 (7), між демпфером в системі керування насосом 1 та сервоплунжером насоса 1 (8), між демпфером підпінного клапана 7 та його золотником (9), між гідроциліндром 4 та підпінного клапана 7 (10), а також рівняння падіння напруг в колі електромагніта регулятора 2 (11), залежності величини струму на виході датчика від величини тиску (12), величини витрати насоса 1 від кута нахилу планшайби (13), величини коефіцієнта сумарної деформації робочої рідини та гумометалевих рукавів від тиску (14).

$$l \frac{d^2 \gamma}{dt^2} = p_n \cdot f_5 \cdot l - p_e \cdot f_4 l - 2 \cdot b_\gamma \cdot l \cdot \cos \gamma + \quad (1)$$

$$+ 26,41 - 3,17 \cdot \left(\frac{p_n - 9 \cdot 10^6}{7 \cdot 10^6} \right) -$$

$$- 9,86 \cdot \left(\frac{Q_n - 0,67 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \right) -$$

$$- 2,2 \cdot \left(\frac{p_n - 9 \cdot 10^6}{7 \cdot 10^6} \right) \cdot \left(\frac{Q_n - 0,67 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \right);$$

$$m_c \frac{dv}{dt} = p_c \cdot F_c \pm N - \quad (2)$$

$$- \pi \cdot (q_0 + k_q \cdot p_c) \cdot (D_c + d_s) \cdot \text{sign} v -$$

$$- p_p \cdot F_p;$$

$$m_p \frac{d^2 z}{dt^2} = p_n \cdot \frac{\pi \cdot d_g^2}{4} - k_m \cdot i_m - \quad (3)$$

$$- \left(\frac{\pi \cdot \rho \cdot v \cdot d_m \cdot l_p}{\varepsilon_p} \right) \cdot \frac{dz}{dt};$$

$$m_b \frac{d^2 y}{dt^2} = p_b \cdot \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} - c_b \cdot (H_b + y) - \quad (4)$$

$$- T_b \cdot \text{sign} \frac{dy}{dt} - R_b \cdot y -$$

$$- \frac{\pi \cdot p \cdot v \cdot d_b \cdot l_b}{\varepsilon_0} \cdot \frac{dy}{dt};$$

$$Q_n - k_n \cdot p_n = c_1 + c_2 \cdot f_g(h) + c_3 \cdot f_g^2(h) + \quad (5)$$

$$c_4 \cdot p_n + \pi \cdot d_g \cdot z \cdot \sin \frac{\alpha_p}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_n - p_0)}{\rho}} \cdot$$

$$\cdot \text{sign}(p_n - p_0) + \beta \cdot W_n \frac{dp_n}{dt};$$

$$c_1 + c_2 \cdot f_g(h) + c_3 \cdot f_g^2(h) + c_4 \cdot p_c = \quad (6)$$

$$F_c \cdot v + \beta \cdot W_c \frac{dp_c}{dt};$$

$$\pi \cdot d_g \cdot z \cdot \sin \frac{\alpha_p}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_n - p_0)}{\rho}} \quad (7)$$

$$\cdot \text{sign}(p_n - p_0) = \mu \cdot f_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_0}{\rho}} + \beta \cdot W_0 \frac{dp_0}{dt} + \mu \cdot f_e \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_0 - p_e)}{\rho}};$$

$$\mu \cdot f_e \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_0 - p_e)}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_0 - p_e) = \quad (8)$$

$$= \beta \cdot W_e \frac{dp_e}{dt} + \frac{\pi \cdot d_4 \cdot \varepsilon_4^3 \cdot p_e}{12 \cdot v \cdot \rho \cdot (l_4 - l \cdot \sin \gamma)} - f_4 \cdot l \cdot \cos \gamma \cdot \text{sign} \frac{d\gamma}{dt};$$

$$\mu \cdot f_b \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_p - p_b)}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_p - p_b) = \quad (9)$$

$$= \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{\pi \cdot d_b \cdot \varepsilon_b^3 \cdot p_e}{12 \cdot v \cdot \rho \cdot (l_b - y)} + \beta \cdot W_b \cdot \frac{dp_b}{dt};$$

$$v \cdot F_p = \mu \cdot \pi \cdot d_b \cdot \sin \alpha \cdot y \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_p}{\rho}} + \quad (10)$$

$$+ \beta \cdot W_p \cdot \frac{dp_p}{dt};$$

$$i_p \cdot F_{NN} = L_e \frac{di_m}{dt} + i_m \cdot R_e - k_a \frac{dz}{dt}; \quad (11)$$

$$p_c \cdot k_c = i_p; \quad (12)$$

$$Q_n = \frac{\pi \cdot d_7^2}{4} \cdot d_8 \cdot k \cdot n_n \cdot \text{tg} \gamma \quad (13)$$

$$\beta = \begin{cases} 2 \cdot 10^{-9} \cdot \left(1 - 0,03 \frac{p_k}{10^5}\right) & \text{при } p_k \leq 23 \cdot 10^5 \\ 0,6 \cdot 10^{-9} & \text{при } 23 \cdot 10^5 < p_k \leq 300 \cdot 10^5 \end{cases} \quad (14)$$

Математичну модель побудовано з урахуванням таких припущень та спрощень. Розглядаються зосереджені параметри гідросистеми, температуру робочої рідини прийнято постійною, хвильові процеси не враховувались, коефіцієнти потоку через дросельні та золотникові елементи є постійними, режими роботи — безкавітаційними, об'єм гідролінії протягом перехідного процесу не змінюється, втрати тиску в гідролініях не враховувались, сили сухого тертя не залежать від швидкості рухомих елементів, робота контролера моделювалась пропорційною ланкою із затримкою за часом, напрям дії навантаження на штоці гідроциліндра не змінювався, втрати тиску в гідророзподільнику 3 при зливу робочої рідини від гідроциліндра 4 не враховувались.

У математичній моделі позначено:

Q_n — витрата насоса 1;

p_c, p_p, p_e, p_0, p_b — тиски на вході та виході гідроциліндра 4, в системі керування насоса 1, на вході підпірного клапана 7;

z — координата положення золотника регулятора 2;

v — швидкість руху поршня гідроциліндра 4;

y — координата положення золотника підпірного клапана 7;

γ — кут повороту планшайби регульованого насоса 1;

f_p, f_0 — площі робочих вікон гідророзподільника 3 та дроселя в системі керування насоса;

$F_c, F_p, f_4, f_5, f_e, f_b$ — площі поршня гідроциліндра 4, сервоциліндрів регульованого насоса, демпферів сервоциліндра насоса та компенсатора тиску;

$D_c, d_m, d_b, d_7, d_8, d_g$ — діаметри гідроциліндра 4, золотника регулятора 2, золотника компенсатора тиску, поршнів регульованого насоса та кола контакту поршнів насоса з планшайбою, дроселя регулятора насоса;

$k_q, k_m, k_n, k_a, k_c, k_z$ — коефіцієнти питомої сили тертя в гідроциліндрі 4, пропорційності зусилля електромагніта регулятора 2, витоків в насосі 1, протидіюча е.р.с. електромагніта підсилення датчика тиску 10;

L_e, R_e — індуктивність та активний опір обмоток електромагніта регулятора 2;

c_b — жорсткість пружини підпірного клапана 7;

c_1, c_2, c_3, c_4 — коефіцієнти витратної характеристики гідророзподільника;

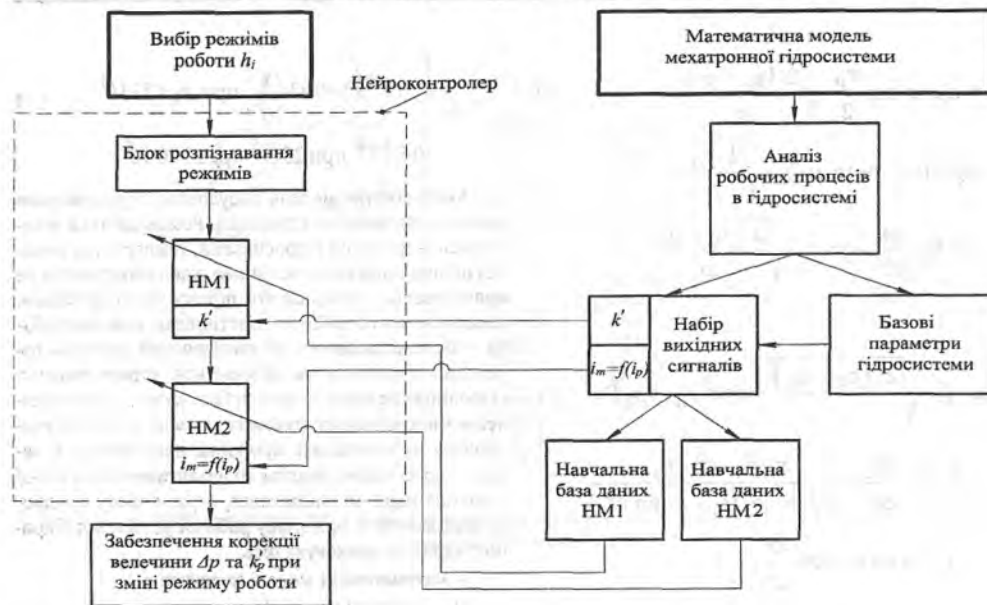


Рисунок 3 — Схема навчання нейроконтролера мехатронної гідросистеми

i_m, i_p — струм в обмотках електромагніта регулятора 2 та на виході датчика тиску 10;

U — напруга, що подається на обмотки електромагніта;

N, T_c, T_p, T_b — сили приведенного навантаження на штоці, тертя в гідроциліндрі 3, регуляторі 2 та підпірного клапана 7;

μ — коефіцієнт потоку через дросельні та золотникові елементи;

ρ — густина робочої рідини;

l_p, l_4, l_b, l — довжина контакту золотника регулятора 2, сервоциліндра насоса 1, золотника підпірного клапана 7 з корпусами, плече дії сервоциліндрів регульованого насоса 1;

β — коефіцієнти, що враховують сумарну деформацію робочої рідини та гумометалевих рукавів;

I — момент інерції планшайби насоса;

m_p, m_b, m_c — маса золотників регулятора 2 та підпірного клапана 7, приведена маса робочого механізму;

W_b, W_n, W_0, W_c — об'єми гідроліній між насосом 1 та гідророзподільником 3, між регулятором 2 та сервоциліндром 10, між гідророзподільником 3 та гідроциліндром 4;

n_n — частота обертання вала насоса 1;

q_0 — питома сила тертя в гідроциліндрі 4;

ν — кінематичний коефіцієнт в'язкості;

$\varepsilon_p, \varepsilon_n, \varepsilon_b$ — зазори між золотником регулятора 2, сервоплунжером насоса 1, золотником підпірного клапана 7 та корпусами;

$f_g(h)$ — площа відкриття робочого вікна пропорційного гідророзподільника 3;

α_p — кут нахилу золотника регулятора 2;

F_{NN} — передаточна функція нейромережі;

H_b — попереднє стиснення пружини підпірного клапана 7;

R_b — коефіцієнт гідродинамічної сили на золотнику підпірного клапана 7;

α — кут нахилу робочої кромки золотника підпірного клапана 7.

Рівняння математичної моделі розв'язано у середовищі *MATLAB-Simulink*.

Результати досліджень

Для забезпечення роботи мехатронної гідросистеми в різних режимах роботи нейромережа цифрового регулятора повинна бути відповідним чином навчана. Навчання нейромережі відбувається відповідно схемі, яку зображено на рисунку 3.

На основі аналізу робочих процесів в мехатронній гідросистемі в статичних та динамічних режимах визначено базові параметри гідросистеми, при яких забезпечується стійка робота в усіх діапазонах зміни навантажень на гідроциліндри та величини витрати, що подається регульованим насосом. Визначено також величину коефіцієнта диференціальної складової *PD*-регулятора та його залежність від величини відкриття h [4].

Створено навчальні бази даних для нейромережі. Їх сформовано для реалізації передаточної функції мережі, при якій струм на виході контролера i_m формує перепад тиску $\Delta p = p_n - p_c = 0,8 \text{ МПа}$ при мінімальному значенні струму $i_p = 4 \cdot 10^{-3} \text{ А}$ на виході датчика тиску, пропорційну залежність між i_m та i_p у діапазоні $i_p = (4 - 11) \cdot 10^{-3} \text{ А}$ та обмеження i_m у діапазоні $i_p = (11 - 19) \cdot 10^{-3} \text{ А}$.

На статичні та динамічні характеристики мехатронної гідросистеми впливають тип вибраної мережі, кількість нейронів в прихованих шарах та об'єм бази даних, що використовується для навчання мережі.

Розглянемо особливості навчання мережі 13, що забезпечує роботу мехатронної гідросистеми в режимі регулювання швидкості гідроциліндра. В процесі дослідження виявлено залежність величини i_m на виході нейромережі, що визначатиме струм на виході контролера, від величини i_p , яка пропорційна величині струму на виході датчика тиску. Характер залежності (рисунок 4) визначається кількістю нейронів у прихованому шарі n .

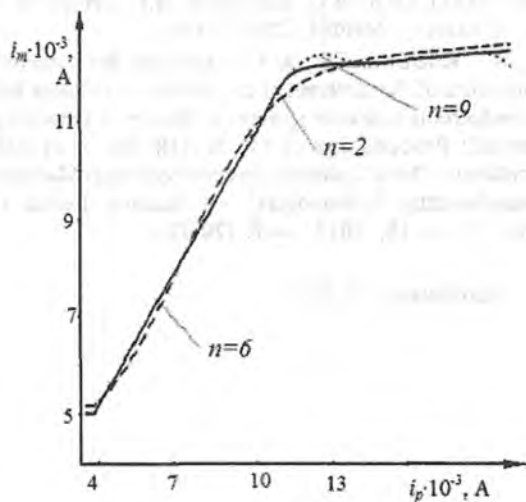


Рисунок 4 — Залежність величини струму i_m на виході контролера від величини струму i_p датчика тиску при різному числі n нейронів прихованого шару нейромережі

У процесі досліджень виявлено, що кращі наближення залежності $i_m = f(i_p)$ до еталонної залежності $i_m = f_e(i_p)$ забезпечуються при кількості нейронів в прихованому шарі $n = 5 - 7$. Для оцінки точ-

ності наближення залежності $i_m = f_e(i_p)$ до еталонної використано функціонал

$$\Phi = \sum_{i=1}^n |i_{mn} - i_{en}|.$$

На рисунку 5 представлено залежність функціонала від кількості нейронів прихованого шару. При числі нейронів $n < 5$ різниця між i_{mn} та i_{en} стрімко зростає. Має місце мінімум значення функціонала у діапазоні $5 \leq n \leq 8$. При подальшому зростанні числа нейронів прихованого шару $n > 9$ величина функціонала знову зростає, але не так стрімко, як при малих значеннях n .

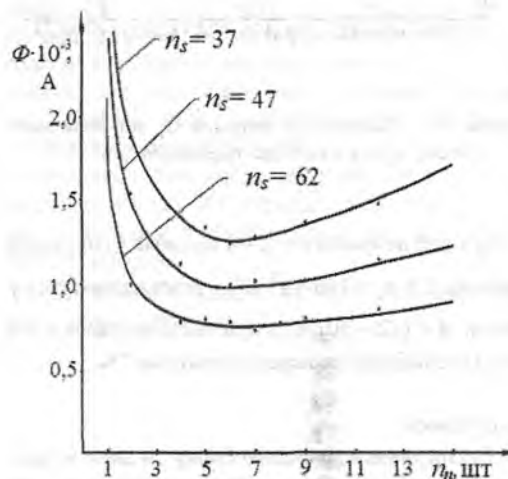


Рисунок 5 — Залежність функціонала від числа нейронів n та кількості пар навчальних даних n_s

Зменшення значення функціонала Φ може бути досягнуто також за рахунок збільшення числа пар даних n_s , що застосовані для навчання нейромережі. Збільшення числа пар навчальних даних з 37 до 62 зменшує значення функціонала похибки на величину порядку 40%. В подальшому ефект зниження функціонала не такий помітний.

На рисунку 6 представлено залежність величини витрати $Q_c = f(p_c)$, що надходить до гідроциліндра 4 у статичному режимі, від величини тиску p_c на вході до гідроциліндру 4 при різному числі n нейронів прихованого шару нейромережі 13.

Залежність $Q_c = f(p_c)$ визначено за математичною моделлю. По цій залежності похибка стабілізації величини витрати Q_c визначається за формулою

$$A = \frac{Q_c^{\max} - Q_c^{\min}}{Q_c^{\max}}.$$

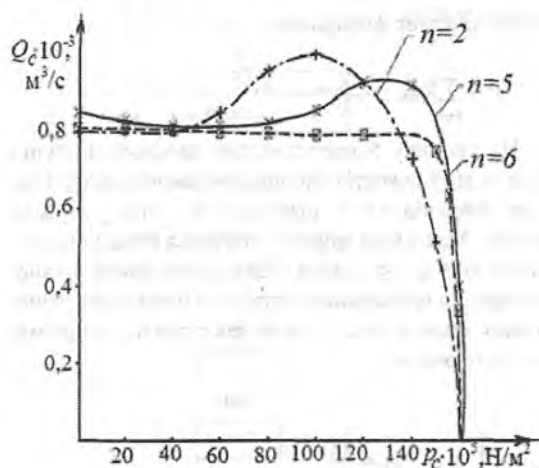


Рисунок 6 — Залежність витрати Q_c від величини тиску p_c на вході до гідроциліндру

При числі нейронів $n = 2 - 4$ похибка стабілізації у діапазоні $0 \leq p_c \leq 150 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ змінюватиметься у діапазоні $A = (12 - 30)\%$, а при числі нейронів $n = 6$ похибка стабілізації не перевищуватиме 7%.

Висновки

1. Застосування логічного блоку та двох нейронних мереж дозволяє створити цифровий регулятор, що забезпечує роботу мехатронної гідросистеми в режимах холостого ходу, постійного потоку, регулювання швидкості гідроциліндра, захисту від перенавантаження.

2. Дослідження робочих процесів у мехатронній гідросистемі за розробленою математичною моделлю дозволило визначити базові параметри гідросистеми та створити набір даних для навчання нейронної мережі.

УДК 621.22

МЕХАТРОННА ГІДРОСИСТЕМА С ЦИФРОВИМ РЕГУЛЯТОРОМ НА ОСНОВЕ НЕЙРОКОНТРОЛЕРА

В.Б. Струтинский, Л.Г. Козлов

В последнее время в различных отраслях все более широкое применение получают рабочие машины с гидроманипуляторами. Гидросистемы таких машин должны обеспечивать минимизацию энергозатрат в

3. Для нейронной сети на основе перцептронів, яка забезпечує роботу мехатронної гідросистеми в режимі регулювання швидкості гідроциліндра визначено, що мінімізація функціонала похибки відхилення вихідного сигналу нейроконтролера від еталонної залежності досягається при числі нейронів прихованого шару $n = 5 - 8$.

4. Функціонал похибки суттєво знижується при зростанні числа пар навчальних даних n_s до 62, при подальшому зростанні n_s ефект зниження функціонала практично не помітний.

5. Зменшення похибки стабілізації величини потоку Q_s , що подається до гідроциліндра в залежності від величини тиску p_c на його вході, з 30% до 7% може бути забезпечено при числі нейронів $n = 6$ прихованого шару та числі пар навчальних даних у діапазоні $n_s = 60 - 70$.

Література

1. Козлов Л. Мехатронна гідросистема мобільної машини / Л. Козлов // Вісник Східноукраїнського нац. університету. — 2012. — №6. — С 22—30.
2. Bosch Rexroth. The Drive and Control Company [Electronic resource]. — Mode of access: <http://www.boschrexroth.com>.
3. Медведєв В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведєв, В.Г. Потемкин. ? М. : Диалог — МИФИ, 2002. ? 496 с.
4. Kozlov L. Digital PD controller for dynamic correction of the differential component coefficient for a mechatronic hydraulic system / L. Kozlov // Tehnomus journal: Proceedings of the XVIIth International Conference "New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies". — Suceava, Romania, May 17 — 18, 2013. — P. 120-125.

Надійшла 6.08.2013

UDC 621.22

MECHATRONIC HYDRAULIC SYSTEM WITH A DIGITAL REGULATOR ON THE BASIS OF NEURAL CONTROLLER

V.B. Strutinskiy, L.G. Kozlov

Recently, working machines with hydraulic manipulators are increasingly used in various industries. Hydraulic systems of such machines must provide minimization of energy consumption in the operating

рабочем цикле, необходимые статические и динамические характеристики. Предложена мехатронная гидросистема рабочей машины с регулируемым насосом и электрогидравлической системой управления на основе цифрового регулятора. Цифровой регулятор, реализованный в виде нейроконтролера на базе двух нейросетей и логического блока, обеспечивает работу гидросистемы в четырех режимах. В цифровом регуляторе использованы нейросети классического типа на основе перцептронов при использовании при их обучении метода обратного распространения ошибки. Разработана нелинейная математическая модель мехатронной гидросистемы, которая обрабатывалась в программной среде MATLAB-Simulink. На основе исследования рабочих процессов в мехатронной гидросистеме определены массивы данных для обучения нейросети цифрового регулятора, которая обеспечивает работу гидросистемы в режиме регулирования скорости гидроцилиндра. Исследовано влияние числа нейронов скрытого слоя и объема массива обучающих данных на характеристики мехатронной гидросистемы.

Ключевые слова: мехатронная гидравлическая система, перцептрон, цифровой регулятор.

cycle, the required static and dynamic characteristics. The paper proposes a mechatronic hydraulic system of the working machine with a variable pump and electrohydraulic control system on the basis of a digital regulator. The digital regulator, implemented in the form of a neural controller based on two neural networks and a logic unit, provides the hydraulic system operation in four modes: idling mode, constant flow rate of the pump, speed control and the hydraulic cylinder overload conditions. In the hydraulic system a proportional control of the hydraulic cylinder speed is provided as well as its stabilization under both counter load and concurrent load. The digital regulator uses neural networks of a classical type on the basis of perceptrons. Training was conducted with the application of back-propagation algorithm. A non-linear mathematical model, processed in MATLAB – Simulink software environment, has been developed. Proceeding from the study of working processes in the mechatronic hydraulic system, data arrays have been determined for training the digital regulator neural network that provides hydraulic system operation in the hydraulic cylinder speed control mode. The influence of the number of hidden layer neurons and of the training data array volume on the mechatronic hydraulic system characteristics has been investigated.

Key words: mechatronic hydraulic system, perceptrons, digital regulator