

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЧАСУ РЕГУЛЮВАННЯ В МЕХАТРОННІЙ ГІДРОСИСТЕМІ

*Л.Г. Козлов, канд. техн. наук, доцент,
Вінницькій національній технічній університет,
Хмельницьке шосе 95, 21021 м. Вінниця, Україна;
E-mail: osna2030@gmail.com*

Тенденцією розвитку мобільних машин є перехід на гідросистеми з пропорційним електрогідравлічним керуванням на базі контролерів. Наведена схема мехатронної гідросистеми на основі нейроконтролера, розроблена у Вінницькому національному технічному університеті. Нейроконтролер включає дві нейромережі, що забезпечують роботу мехатронної гідросистеми в статичних та динамічних режимах роботи. Розроблена нелінійна математична модель мехатронної гідросистеми. По математичній моделі дослідженні робочі процеси в динамічних режимах роботи. Визначена можливість зменшення часу регулювання в мехатронній гідросистемі за рахунок корекції коефіцієнтів k_p або k_n диференційної складової PD-регулятора. Корекція реалізується нейромережею, що входить до складу нейроконтролера. Зменшення часу регулювання в мехатронній гідросистемі становить 30...50 % в залежності від режимів роботи.

***Ключові слова:** мехатронна гідросистема, нейроконтролер, нейромережа, корекція коефіцієнтів PD-регулятора, час регулювання.*

ВСТУП

В різних галузях господарства останнім часом знаходять все більше застосування робочі машини з гідроманіпуляторами. Такі машини комплектуються великою кількістю змінного робочого обладнання. Робота таких машин характеризується частою зміною режимів руху гідроманіпулятора, широким спектром навантажень на робочих органах.

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 на сьогоднішній день застарілі та не забезпечують необхідних характеристик. Тенденцією розвитку гідросистем робочих машин є перехід на пропорційні гідросистеми та регульовані насоси з електрогідравлічним керуванням [1, 2]. Застосування таких гідросистем дозволяє суттєво підвищити технічний рівень машин. В гідросистемах з пропорційним електрогідравлічним керуванням з'являється можливість застосування адаптивних цифрових регуляторів, що дозволяє покращити динамічні характеристики робочих машин з гідроманіпуляторами, що в свою чергу знижує навантаження на машину в робочому циклі, покращує її керованість [3].

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, підпірний клапан 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 поступає через пропорційний гідророзподільник 3 до гідроциліндра 4 і приводить до руху його поршень.

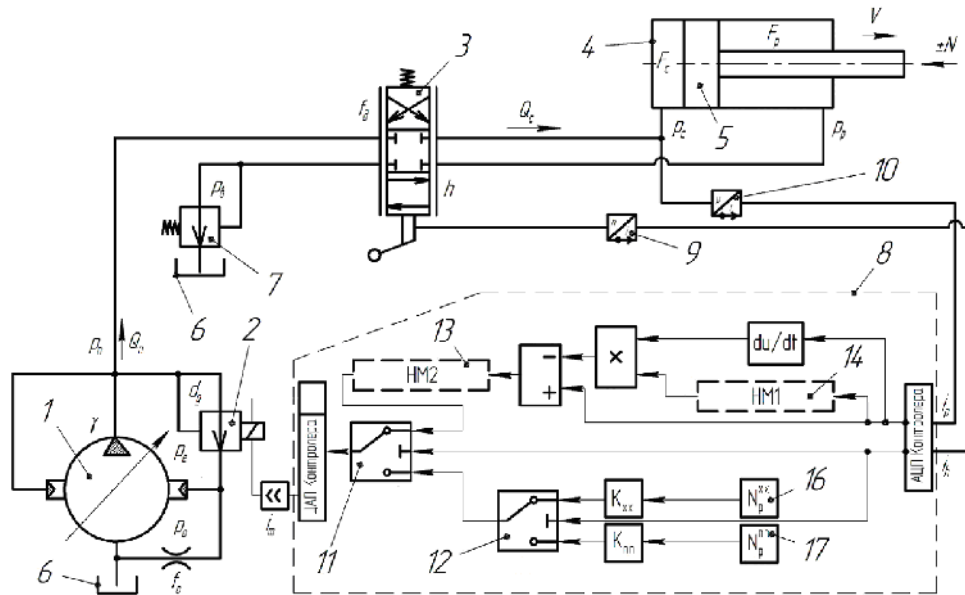


Рисунок 1 – Мехатронна гідросистема з цифровим регулятором на базі нейроконтролера

Злив робочої рідини від гідроциліндра в гідробак 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 вході в гідроциліндр 4. Сигнали від датчиків 9 та 10 поступають до контролера 8, який формує сигнал управління i_m для пропорційного електромагнітного регулятора 2. При зміні величини h положення золотника гідророзподільника пропорційно буде змінюватись величина витрати Q_c , що поступає від насоса 1 до гідроциліндра 4, причому величина витрати Q_c , а відповідно, і швидкість v руху поршня гідроциліндра 4 не буде залежати від величини та напрямку дії навантаження N на гідроциліндрі 4. Підпірний клапан 7 забезпечує роботу гідросистеми при попутному 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 попутному навантаженнях.

При закритому пропорційному гідророзподільнику $h=0$ (режим холостого ходу) робота мехатронної гідросистеми забезпечується за допомогою блоків 11, 12, 16 та регулятора 2.

При максимальному відкритті h_{\max} пропорційного гідророзподільника мехатронна гідросистема працює в режимі постійного потоку та забезпечується захист від перенавантаження за рахунок роботи блоків 11, 12, 17 та регулятора 2.

При зміні відкриття h в 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 . Тиск p_n на виході регульованого насоса 1 при попутному навантаженні буде визначатись настройкою підпірного клапана 7 і буде складати величину 1,0 МПа. При зустрічному навантаженні тиск p_n буде залежати від величини навантаження N на гідроциліндрі 4.

Цифровий регулятор включає PD-регулятор з автоматичною корекцією коефіцієнта диференційної складової. Корекцію коефіцієнта диференційної складової реалізує нейромережа 14 в залежності від величини відкриття h пропорційного гідророзподільника, або в залежності від величини тиску p_c на вході в гідроциліндр. Використання PD-регулятора дозволяє зменшити величину часу регулювання в мехатронній гідросистемі в динамічних режимах роботи [3, 4].

Для корекції коефіцієнта диференційної складової PD-регулятора використано нейромережу 14 з одним прихованим шаром нейронів. Нейромережу 14 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 14 зображено на рисунку 2.

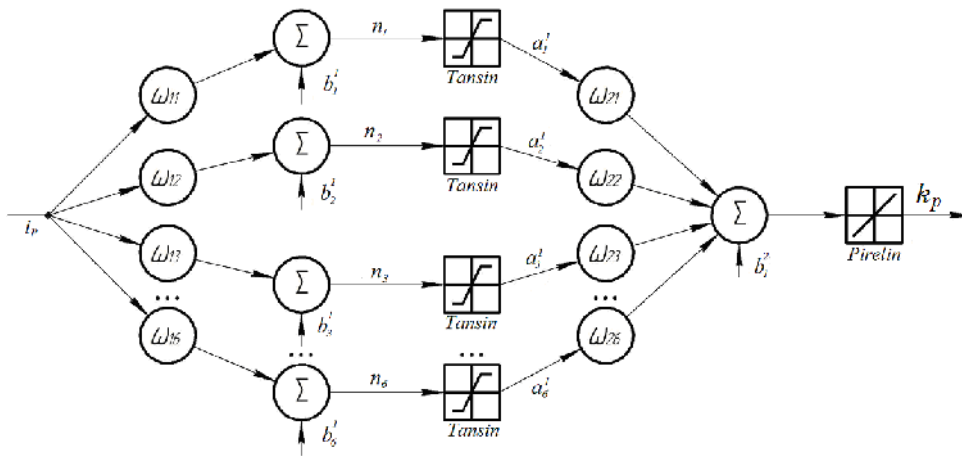


Рисунок 2 – Нейромережа, що забезпечує корекції коефіцієнта диференційної складової PD-регулятора в режимі регулювання швидкості гідроциліндра

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 (рисунок 1), рівняння сил на поршні 5 (2), на золотнику регулятора 2 (3), на золотнику підпірного клапана 7 (4), рівняння нерозривності потоків для гідролінії між насосом 1 та пропорційним 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 підпірного клапана 7 та його золотником (9), між гідроциліндром 4 та підпірного 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).

$$I \frac{d^2 \gamma}{dt^2} = p_n \cdot f_b \cdot l - p_e \cdot f_4 \cdot l - 2 \cdot b_\gamma \cdot l \cdot \cos \gamma + 26,41 - 3,17 \cdot \left(\frac{p_n - 9 \cdot 10^6}{7 \cdot 10^6} \right) - 9,86 \cdot \left(\frac{Q_n - 0,67 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \right) - 2,2 \cdot \left(\frac{p_n - 9 \cdot 10^6}{7 \cdot 10^6} \right) \cdot \left(\frac{Q_n - 0,67 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \right); \quad (1)$$

$$m_c \frac{dv}{dt} = p_c \cdot F_c \pm N - \pi \cdot (q_0 + k_q \cdot p_c) \cdot (D_c + d_s) \cdot \text{sign} v - p_p \cdot F_p; \quad (2)$$

$$m_p \frac{d^2 z}{dt^2} = p_n \cdot \frac{\pi \cdot d_g^2}{4} - k_m \cdot i_m - \left(\frac{\pi \cdot \rho \cdot v \cdot d_m \cdot l_p}{\varepsilon_p} \right) \cdot \frac{dz}{dt}; \quad (3)$$

$$m_b \frac{d^2 y}{dt^2} = p_b \cdot \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} - c_b \cdot (H_b + y) - T_b \cdot \text{sign} \frac{dy}{dt} - R_b \cdot y - \frac{\pi \cdot \rho \cdot v \cdot d_b \cdot l_b}{\varepsilon_0} \cdot \frac{dy}{dt}; \quad (4)$$

$$Q_n - k_n \cdot p_n = c_1 + c_2 \cdot f_g(h) + c_3 \cdot f_g^2(h) + c_4 \cdot p_n + \pi \cdot d_g \cdot z \cdot \sin \frac{\alpha_p}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_n - p_0)}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_n - p_0) + \beta \cdot W_n \frac{dp_n}{dt}; \quad (5)$$

$$c_1 + c_2 \cdot f_g(h) + c_3 \cdot f_g^2(h) + c_4 \cdot p_n = F_c \cdot v + \beta \cdot W_c \frac{dp_c}{dt}; \quad (6)$$

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

$$\mu \cdot f_e \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_0 - p_e)}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_0 - p_e) = \beta \cdot W_e \frac{dp_e}{dt} + \frac{\pi \cdot d_4 \cdot \varepsilon_4^3 \cdot p_e}{12 \cdot v \cdot \rho \cdot (l_4 - l \cdot \sin \gamma)} - f_4 \cdot l \cdot \cos \gamma \cdot \text{sign} \frac{d\gamma}{dt}; \quad (8)$$

$$\mu \cdot f_b \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_p - p_b)}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_p - p_b) = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{\pi \cdot d_b \cdot \varepsilon_b^3 \cdot p_e}{12 \cdot v \cdot \rho \cdot (l_b - y)} + \beta \cdot W_b \cdot \frac{dp_b}{dt}; \quad (9)$$

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

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

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

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

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

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 гідроліній за час 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 зливі робочої рідини від гідроциліндра 4 не враховувались.

В 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, y – координати положення золотника регулятора 2 та золотника підпірного клапана 7;

v – швидкість руху поршня гідроциліндра 4;

γ – кут повороту планшайби регульованого насоса 1;

f_{gp}, 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 – 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;
 i_m, i_p, i_h – струм в обмотках електромагніта регулятора 2, на виході датчика тиску 10 та датчику положення 9;
 U_e – 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 підпірному клапані 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} – передавальна 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'язані в середовищі MATLAB-Simulink.

Для забезпечення необхідної передавальної функції F_{NN} при корекції коефіцієнтів k_p або k_n диференційної складової PD-регулятора, нейромережа 14 повинна бути відповідним чином навчена[4]. Сформовано бази навчальних даних при корекції коефіцієнта диференційної складової по величині тиску p_c на вході в гідроциліндр k_p , а також по величині h відкриття золотника пропорційного гідророзподільника k_h . По математичній моделі проведено серію досліджень, в якій при ряді фіксованих значень p_c змінювалось значення величини коефіцієнта k_p . Знаходились значення k_p , при яких в гідросистемі забезпечується мінімальний час регулювання t_p . База навчальних даних, що складається з пар значень p_c та k_p , при яких мінімізується час регулювання t_p . Результати досліджень по математичній моделі для визначення коефіцієнта k_p від величини тиску p_c представлені на рис. 3.

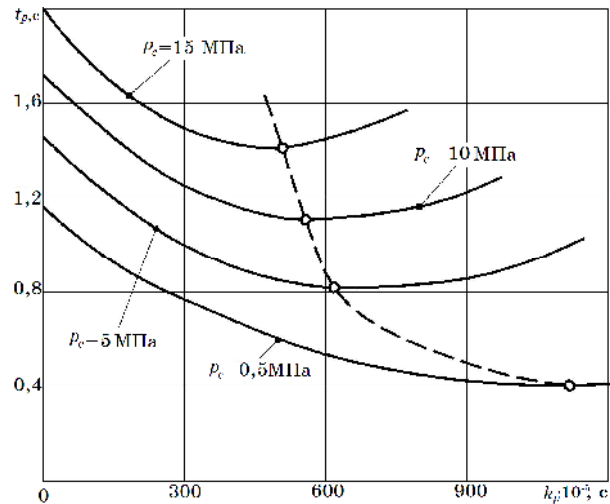


Рисунок 3 – Визначення коефіцієнта корекції k_p в залежності від величини тиску p_c на вході в гідроциліндр

Величина коефіцієнта корекції k_p змінюється нейромережею 14 в діапазоні від $450 \cdot 10^{-5}$ - $1200 \cdot 10^{-5}$ с, при зміні тиску p_c від 0 до 15 МПа.

Проведені також дослідження роботи мехатронної гідросистеми в яких при ряді фіксованих значень h змінювалось значення величини коефіцієнта k_h . При цьому знаходились значення k_h , при яких забезпечується мінімальний час регулювання t_p . Результати досліджень представлені на рис. 4.

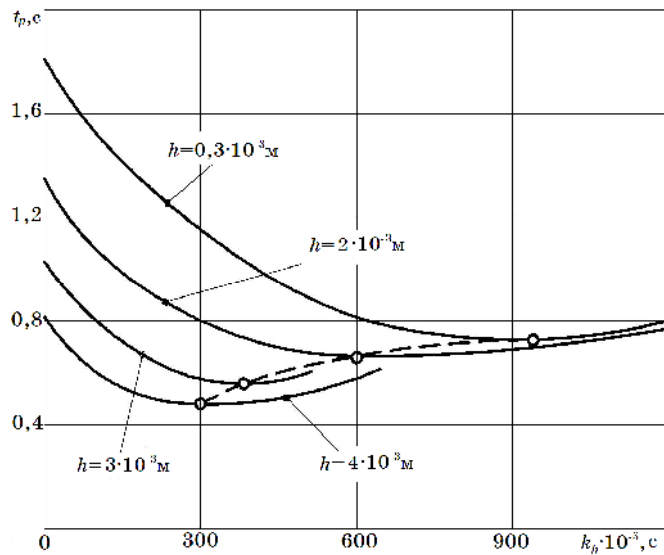


Рисунок 4 – Визначення коефіцієнта корекції k_h в залежності від величини h відкриття золотника пропорційного гідророзподільника

База навчальних даних, що складається з пар значень h , k_h , при яких мінімізується час регулювання t_p використана для навчання нейромережі. Величина коефіцієнта корекції k_h диференційної складової PD-регулятора забезпечується нейромережею з $300 \cdot 10^{-3}$ с до $950 \cdot 10^{-5}$ с при зміні

величини відкриття золотника пропорційного гідророзподільника до $4 \cdot 10^{-3}$ м.

На рисунку 5 представлений перехідний процес в мехатронній гідросистемі розрахований при ступінчатій зміні величини навантаження N від 0 до 14000 Н та значенні відкриття золотника пропорційного гідророзподільника $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м, при величині коефіцієнта $k_p=0$. Наведені залежності величини тиску p_n на виході регульованого насоса 1 та координати z золотника регулятора 2 від часу. Час регулювання складає $t_p = 0,72$ с.

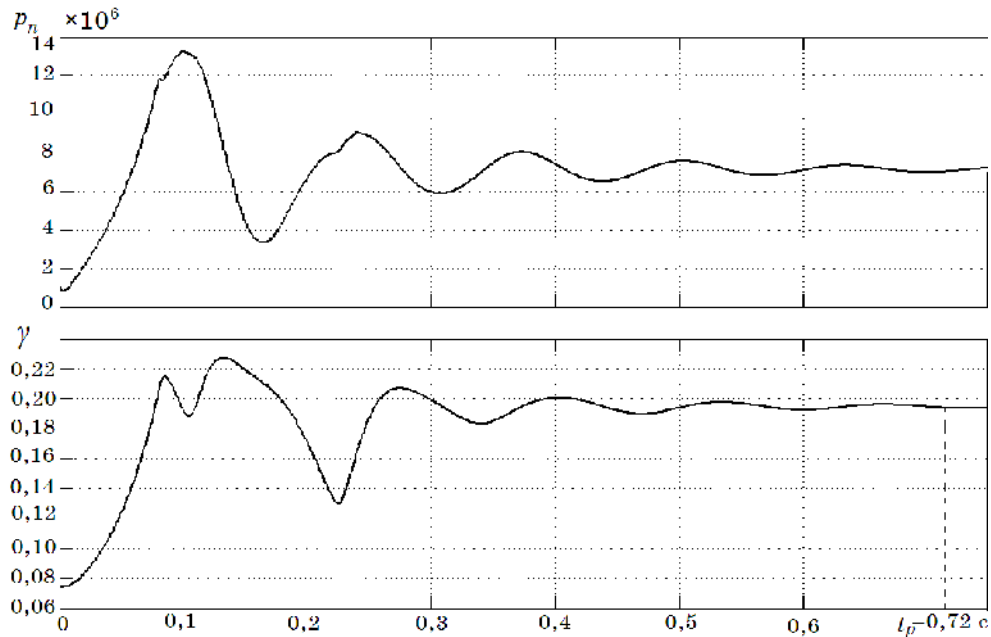


Рисунок 5 – Перехідний процес в мехатронній гідросистемі при $N = 14000$ Н $h = 3 \cdot 10^{-6}$ м без корекції коефіцієнта диференційної складової PD-регулятора

На рисунку 6 представлений перехідний процес при значеннях $N=14000$ Н, та $h = 3 \cdot 10^{-3}$ м, при наявності PD-регулятора в якому нейромережа 14 забезпечує корекцію коефіцієнта диференційної складової k_p в залежності від зміни тиску p_c на вході в гідроциліндр. Час регулювання при наявності корекції коефіцієнта k_p диференційної складової PD-регулятора складає $t_p = 0,53$ с, що значно краще, ніж у випадку відсутності такої корекції.

Проведені розрахунки перехідних процесів в мехатронній гідросистемі показують, що при роботі з навантаженням на гідроциліндрі до 35000 Н, та величині відкриття h золотника гідророзподільника до $4 \cdot 10^{-3}$ м, час регулювання t_p при відсутності корекції коефіцієнтів k_p або k_h диференційної складової PD-регулятора знаходиться в межах 0,7...1,8 с.

Введення корекції коефіцієнта k_p в межах $(350...1150) \cdot 10^{-5}$ с в залежності від величини тиску p_c зменшує час регулювання до значень $(0,3...1,2)$ с, введення корекції коефіцієнта k_h в межах $(300...950) \cdot 10^{-5}$ с в залежності від величини h , зменшує час регулювання до значень

(0,46...1,2) с. З урахуванням зміни режимів роботи мехатронної гідросистеми (величини навантаження N та відкриття золотника гідророзподільника h) при введенні корекції коефіцієнтів k_p або k_h , що забезпечується нейромережами, час регулювання t_p зменшується на 30...50 %.

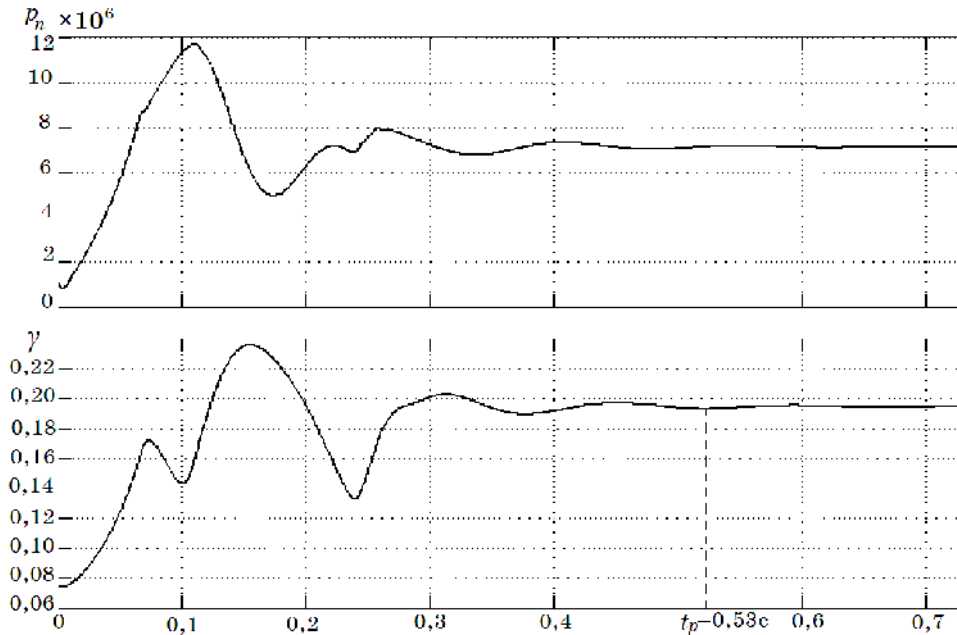


Рисунок 6 – Перехідний процес в мехатронній гідросистемі при $N = 14000 \text{ Н}$ $h = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ при корекції коефіцієнта диференційної складової PD-регулятора

ВИСНОВКИ

1. Проведені дослідження виявили можливість зменшення часу регулювання t_p в мехатронній гідросистемі за рахунок введення корекції коефіцієнтів k_p або k_h диференційної складової PD-регулятора.
2. Нейромережі, що входять до складу нейроконтролера забезпечують зміну коефіцієнта k_p в діапазоні $(350...1150) \cdot 10^{-5} \text{ с}$, а коефіцієнта k_h в діапазоні $(300...950) \cdot 10^{-5} \text{ с}$.
3. Корекція значень коефіцієнтів k_p або k_h у вказаних діапазонах дозволяє зменшити час регулювання t_p на 30...50 % залежно від режимів роботи мехатронної гідросистеми.

USING NEURAL NETWORK FOR REGULATION TIME REDUCTION IN THE MECHATRONIC HYDRAULIC SYSTEM

Kozlov L. G.,
 Vinnytsia National Technical University,
 21021, Khmelnytske Shosse 95, Vinnytsia, Ukraine.
 E-mail: osna2030@gmail.com

Transition to hydraulic systems with proportional electrohydraulic control on the basis of controllers is a trend in the development of mobile machines. The paper presents a circuit of the mechatronic hydraulic system based on a neural controller, which was developed in Vinnytsia National Technical University. The neural controller includes two neural networks that provide the mechatronic hydraulic system operation in static and dynamic operation modes. A nonlinear

mathematical model of the mechatronic hydraulic system has been developed. On the basis of the mathematical model working processes in the dynamic modes were investigated. The possibility has been determined to reduce regulation time in the mechatronic hydraulic system through correction of k_p or k_h coefficients of PD regulator differential component. Regulation time reduction, achieved in the mechatronic hydraulic system, is 30...50 % depending on the operation modes.

Keywords: mechatronic hydraulic system, neural controller, network, correction of coefficient of PD-regulator, time of regulation.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВРЕМЕНИ РЕГУЛИРОВАНИЯ В МЕХАТРОННОЙ ГИДРОСИСТЕМЕ

Козлов Л. Г.,

Винницкий национальный технический университет,
21021, Хмельницкое шоссе 95, Винница, Украина.

E-mail: osna2030@gmail.com

Тенденцией развития мобильных машин является переход на гидросистемы с пропорциональным электрогидравлическим регулированием на базе контролеров. Приводится схема гидросистемы на базе нейроконтролера, разработанная в Винницком национальном техническом университете. Нейроконтролер включает две нейросети, которые обеспечивают работу мехатронной гидросистемы в статических и динамических режимах работы. Разработана нелинейная математическая модель мехатронной гидросистемы. По математической модели исследованы рабочие процессы в динамических режимах. Определена возможность уменьшения времени регулирования в мехатронной гидросистеме за счет применения коррекции коэффициентов k_p или k_h дифференциальной составляющей PD-регулятора. Коррекция реализуется нейросетями нейроконтролера. Уменьшение времени регулирования в мехатронной гидросистеме составляет 30...50 % в зависимости от режимов работы.

Ключевые слова: мехатронная гидросистема, нейроконтролер, нейросеть, коррекция коэффициентов PD-регулятора, время регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Козлов Л. Мехатронна гідросистема мобільної машини / Леонід Козлов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – №6, С 22-30.
2. Bosch Rexroth. The Drive and Control Company [Electronic resource]. - Mode of access: <http://www.boschrexroth.com>.
3. 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.
4. Медведев В.С., Потемкин В. Г. Нейронные сети. МАТЛАВ 6 / В. С. Медведев, В. Г. Потемкин. – М. : Диалог – МИФИ, 2002. – 496 с.

Надійшла до редакції 2 жовтня 2013 р.