

# РЕГУЛЯТОР НА БАЗІ ШТУЧНИХ НЕЙРОМЕРЕЖ ДЛЯ ГІДРОСИСТЕМИ МАНІПУЛЯТОРА ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

*Розглянута будова регулятора для електрогідролічної гідросистеми маніпулятора вантажного автомобіля. Регулятор формує основну складову сигналу керування з використанням нейромережі класичного типу з прямим розповсюдженням сигналу. В регуляторі також використана корегувальна складову сигналу керування на основі узагальнено-регресійної нейромережі. Представлена методика навчання нейромереж, що входять до складу регулятора.*

**Ключові слова:** гідросистема, вантажний автомобіль, маніпулятор, регулятор, нейромережі.

## Вступ

В Україні налагоджено випуск спецтехніки на базі вантажних автомобілів та колісних тракторів. Така спецтехніка оснащується маніпуляторами з гідравлічним приводом. Це дозволяє застосовувати ці машини для виконання широкої номенклатури операцій на протязі всіх сезонів року [1,2]. В таких машинах часто виникає потреба суміщати роботу двох гідродвигунів, які забезпечують роботу виконавчого механізму. Найкраще така можливість забезпечується при використанні гідросистем з електрогідролічним керуванням, оснащених пропорційними регуляторами [4,5]. Так, наприклад, при виконанні операції буріння шурфів за допомогою шнека необхідно забезпечувати певне співвідношення між частотою обертання шнека та його подачею. При необхідного співвідношення виникає явище заштибовування шнека, процес буріння необхідно припинити, підняти шнек із шурфу і вручну видалити ґрунт. Це суттєво зменшує продуктивність роботи машини. Пропорційний регулятор електрогідролічної системи на основі сигналів від датчиків тиску, встановлених на вході в гідродвигуни приводів шнека, за певним алгоритмом обчислює необхідне співвідношення між частотою обертання і подачею шнека. У цьому випадку заштибовуванню можна запобігти, що забезпечить безперервність процесу буріння шурфу і відповідно буде збільшена продуктивність роботи машини.

## Результати дослідження

Перспективним є створення пропорційних регуляторів для електрогідролічних гідросистем на основі штучних нейромереж [6]. Такі регулятори можуть забезпечувати алгоритми керування сформовані на основі процесу навчання по базах даних визначених в процесі імітаційних або експериментальних досліджень гідросистем. Вони можуть забезпечувати адаптацію режимів роботи гідросистеми до зміни навантажень або умов роботи та зміну виконуваних операцій. На рис. 1 представлено схему регулятора на основі двох нейромереж, який формує сигнал керування подачею гідроциліндра шнека в залежності від частоти обертання шнека та навантаження на ньому [3]. Регулятор включає блок 1 формування корегувальної складової сигналу керування, блок 2 переключення режимів роботи, блок 3 формування сигналу холостого ходу, блок 4 формування сигналу керування величиною подачі, блок 5 формування похідної, нейромережу 6 корегувальної складової та нейромережу 7 основної складової сигналу керування. Регулятор формує сигнал  $U_m$  для керування величиною подачі шнека за залежністю:

$$U_m = F_1(i_p) - F_2(i_p, i_h) \cdot \frac{di_p}{dt},$$

де  $F_1(i_p)$  – передавальна функція нейромережі основної складової сигналу регулятора;  
 $F_2(i_p, i_h)$  – передавальна функція нейромережі корегувальної складової сигналу регулятора.

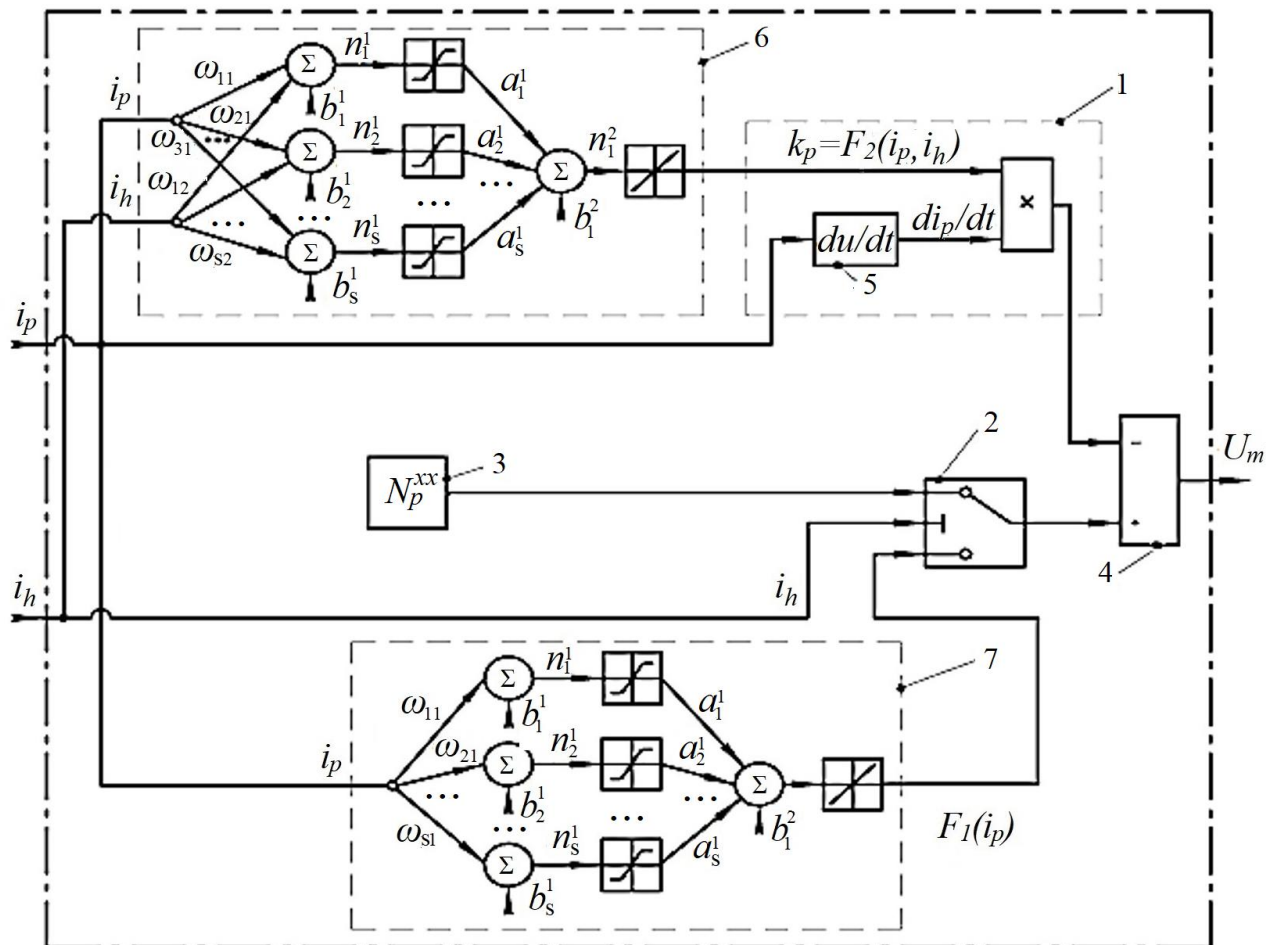


Рис. 1. Структурна схема адаптивного регулятора на основі нейромереж

Запропонований регулятор реалізовано в середовищі MATLAB-Simulink. Основну складову сигналу керування (нейромережа 7) реалізовано функцією:

$$\text{net} = \text{newff}(\text{PR}, [\text{S1}, \text{S2} \dots \text{SN1}] \text{TF1}, \text{TF2} \dots \text{TFN1}, \text{BTF}, \text{BLF}, \text{PF}),$$

де PR – значення сигналів на вході і виході нейромережі із бази даних;

[S1, S2...SN1] – кількість нейронів в прихованих шарах нейромережі;

TF1, TF2...TFN1 – функції активації для прихованих шарів;

BTF – функція навчання нейромережі;

BLF – функція налаштування вагових коефіцієнтів та зміщень;

PF – функція похибки.

Для newff використана функція активації нейронів прихованого шару  $\text{tansin}$ , а для вихідного нейрона –  $\text{purelin}$ , функція навчання –  $\text{trasngd}$ , функція для вагових коефіцієнтів на зменшень  $\text{learnngdm}$ , для похибки –  $\text{mse}$ .

Доцільне використання градієнтного алгоритму навчання GD. Для припинення процесу навчання використані наступні параметри:  $\text{epochs}$  – максимальна кількість циклів,  $\text{goal max-fail}$  – максимальне значення функціонала навчання,  $\text{min-grad}$  – мінімальне значення градієнта. В якості функціонала навчання використана величина відхилення сигналу, що генерується нейромережею від бажаних значень сигналу.

$$j = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q \sum_{i=1}^{S^M} (t_i^q - a_i^{S^M})^2,$$

де  $Q$  – об'єм вибірки навчання;

$M$  – число шарів мережі;

$q$  – номер елемента вибірки;

$a^q = \begin{bmatrix} a_i^{q^m} \end{bmatrix}$  – вектор сигналу на вході мережі;

$t^q = \begin{bmatrix} t_i^q \end{bmatrix}$  – вектор значення сигналу на виході мережі.

Цей функціонал має назву похибки навчання, а процес навчання є процесом знаходження параметрів нейромережі мінімізуючих функціонал навчання

Для реалізації корегувальної складової сигналу регулятора застосовано нейромережу узагальнено-регресійного типу. Нейромережа корегувальної складової сигналу регулятора реалізована функцією newgrnn (P, T, spread). Тут позначено P, T – вхідних та вихідних даних для нейромережі; spread – параметр для навчання нейромережі. Функція активації нейрона має вигляд  $\text{radbas}(n) = e^{-n^2}$ . Нейромережа має два прихованих шари: радіально-базисний шар та лінійний. Число нейронів у радіально-базисному шарі дорівнює числу пар навчальних даних. Для навчання узагальнено-регресійної нейромережі основним параметром є spread. Чим більше значення spread, тим більше число нейронів реагують на вхідні значення і в підсумку залежність, що генерується нейромережею стає більш плавною і наближеною до бажаної.

При застосуванні нейромережі необхідно зібрати базу даних для проведення їх навчання. Нейромережа працює з числовими даними взятими з діапазону, що відповідає робочому діапазону зміни параметрів та режимів роботи гідропривода. На рис. 2 подано алгоритм проведення навчання нейромереж, що входять до складу адаптивного регулятора.

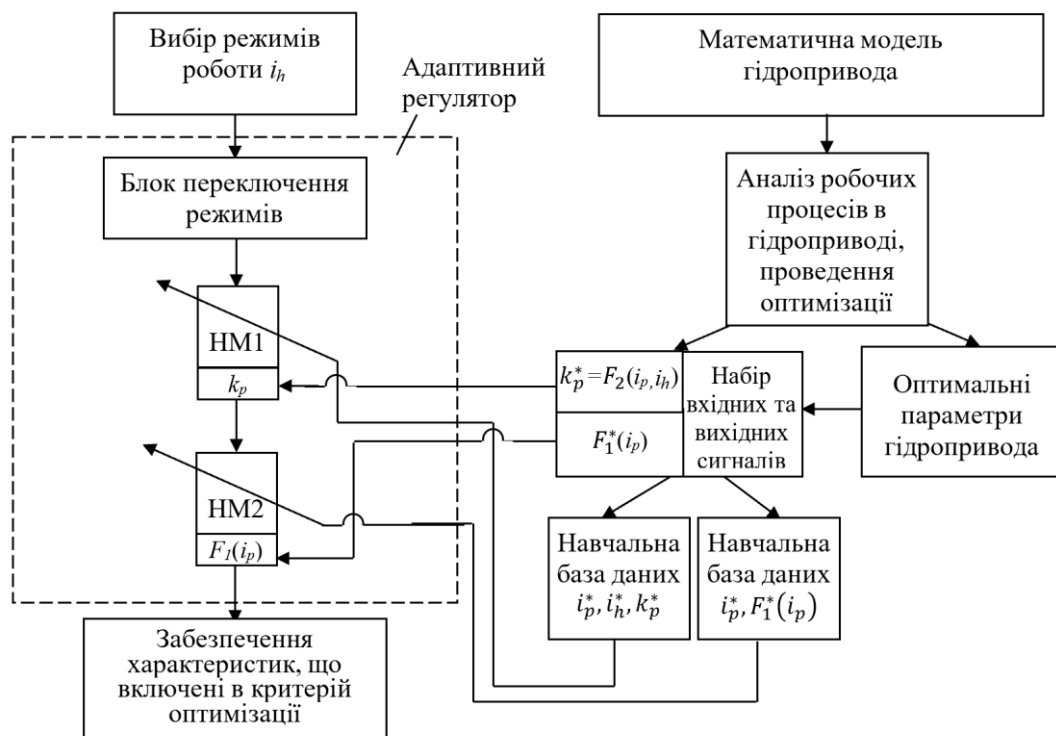


Рис. 2. Алгоритм навчання нейромереж адаптивного регулятора

Основою для створення бази даних навчання нейромережі є математична модель гідропривода. В процесі оптимізації визначені параметри гідропривода, сполучення яких забезпечує найкраще значення розробленого критерію оптимізації. При оптимальному сполученні параметрів гідропривода необхідно провести дослідження по створенню баз даних для навчання нейромереж.

Навчальна база для нейромережі основної складової сигналу регулятора включає сукупність значень  $i_p^*$  та  $F_1^*(i_p)$ , які визначаються на основі імітаційних досліджень.

Навчальна база для нейромережі корегувальної складової включає сукупність значень  $i_p^*$  та  $i_h^*$ , яким відповідає сукупність даних  $k_p^*$ . Необхідна залежність між цими величинами визначається на основі результатів досліджень по математичній моделі [3]. Як правило, для опису  $k_p^*$  використовується його середнє значення та середньоквадратичне відхилення.

Результатом навчання є кількість прихованих шарів, кількість нейронів у них та параметри нейромереж, які при відомих значеннях сигналів  $i_p, i_h$  на вході регулятора забезпечують формування необхідного сигналу  $U_m$  на виході регулятора. При знайдених залежностях сигналу керування  $U_m$  від сигналів  $i_p, i_h$  буде забезпечуватись робота гідропривода з характеристиками, що були включені в критерій оптимізації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мережа Internet: Продукція підприємства «Завод спецтехніки «Технокомплект»». Режим доступу: <https://thk.kiev.ua/>
2. Мережа Internet: Продукція підприємства «Будагромаш». Режим доступу: <https://budagromash.com.ua/>
3. Leonid Kozlov, Algorithm of Controlling an Adaptive Hydraulic Circuit for Mobile Machines. /Leonid Kozlov, Yuri Buriennikov, Oana Rusu, Volodymyr Pyliavets, Vadym Kovalchuk, Oleksandr Petrov, Ioan Rusu, International Journal of Modern Manufacturing Technologies, Special Issue, Vol. XIII, No. 3 / 2021, pp. 79-86.
4. Ніконов О. Я. Електрогідрравлічні слідуючі приводи з нейрокеруванням для транспортних машин високої прохідності / О. Я. Ніконов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2007. – № 3, Ч.1. – С. 184 – 189.
5. Takao Nishiumi. Hydraulic servo control using a neural net / Takao Nishiumi, Shizuro Konami, John Watton // Proceedings of the 2nd International scientific forum on the. Developments in Fluid Power Control of Machinery and Manipulators. – Cracow, 2000. – Mode of access: URL: <http://fpn.mech.pk.edu.pl/polish/docs/publicat/ksiazki/83-86219-71-8-3.html>.
6. М.А. Новотарський, Б.Б. Нестеренко. Штучні нейронні мережі: обчислення // Праці Інституту матем. НАН України. – Т50. – Київ: Ін-т математики НАН України, 2004. – 408 с.

**Кашканов Андрій Альбертович** – докт. техн. наук, професор, директор інституту аспірантури та докторантури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [a.kashkanov@gmail.com](mailto:a.kashkanov@gmail.com)

**Козлов Сергій Леонідович** – аспірант, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [serhii.kozlov@gmail.com](mailto:serhii.kozlov@gmail.com)

### *The regulator based on artificial neural networks for the hydraulic system of the truck manipulator*

#### **Abstract**

*The structure of the regulator for the electro-hydraulic hydraulic system of the truck manipulator is considered. The regulator forms the main component of the control signal using a neural network of the classical type with direct signal propagation. The controller also uses a corrective component of the control signal based on a generalized regression neural network. The method of training neural networks included in the regulator is presented.*

**Key words:** hydraulic system, vintage car, manipulator, regulator.

**Kashkanov Andrii** – doct. tech. sciences, prof. Director of the Institute of Postgraduate and Doctoral Studies, Vinnitsa National Technical University, e-mail: [a.kashkanov@gmail.com](mailto:a.kashkanov@gmail.com).

**Kozlov Serhii** - postgraduate student, Vinnitsa National Technical University, e-mail: [serhii.kozlov@gmail.com](mailto:serhii.kozlov@gmail.com)