

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА**

**КОРПОРАЦІЯ ПІДПРИЄМСТВ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ  
УКРАЇНИ «УКРЕЛЕКТРОТРАНС»**

**ДЕПАРТАМЕНТ ІНФРАСТРУКТУРИ ХАРКІВСЬКОЇ  
МІСЬКОЇ РАДИ**

**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ  
«ПОЛІТЕХНОСЕРВІС»**

**КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

## **МАТЕРІАЛИ**

**всеукраїнської науково-практичної конференції**

**«СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ  
ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ»**

**(23-25 листопада 2022 року, м. Харків)**

**Кафедра електричного транспорту**

**ХАРКІВ – 2022**

УДК 629.43+629.3:621.331](06)

C76

**Редакційна колегія:**

*Кульбашна Надія Іванівна*, к-т техн. наук, старший викладач кафедри електричного транспорту ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,

*Коваленко Андрій Віталійович*, к-т техн. наук, доцент кафедри електричного транспорту ХНУМГ ім. О. М. Бекетова.

C76      Стан та перспективи розвитку електричного транспорту : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., Харків, 23–25 листоп. 2022 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова [та ін. ; редкол.: Н. І. Кульбашна, А. В. Коваленко]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 178 с.

УДК 629.43+629.3:621.331](06)

Розглядаються проблеми, перспективи, кадрове та нормативне-правове забезпечення електротранспорту і розробка пропозицій з впровадження нових видів транспорту, інформаційних технологій, вдосконалення конструкції і експлуатації транспортних засобів та оновлення інфраструктури транспорту.

© Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова, 2022

## ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ТЯГОВИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

ПАНЧЕНКО В. В., к. т. н., доцент,

ТУРЕНКО О. Г., аспірант

*Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків*

*aleksandrturenko97@gmail.com*

На теперішній час штучні нейронні мережі (ШНМ) широко застосовуються для рішення різноманітних задач, особливо там де звичайні алгоритми являються неефективними або взагалі неможливими. В системі керування електротранспортом можливе застосування ШНМ, наприклад, в якості блока автоналаштування для ПД-регулятора або в якості окремого нейрорегулятора в системі керування тяговим електроприводом, а також для машинного зору у складовій автопілоту.

Існуючі методи синтезу систем автоматичного керування електроприводами дозволяють створювати системи з достатньо високими показниками регулювання, однак практична реалізація таких систем з деякими труднощами. До них можна віднести необхідність вимірювання складно вимірюваних координат. Також може мати місце неможливість на практиці реалізувати синтезовані параметри через прийняття допущень в імітаційних моделях, через наявність в реальних електроприводах певних обмежень по тим чи іншим величинам. Тому цілком справедливо виникає ідея замінити лінійні регулятори нелінійними, які дозволяють при меншій кількості вхідних сигналів вимірюваних координат забезпечувати необхідний керуючий вплив на об'єкт регулювання. Таку можливість може забезпечити нелінійний регулятор на основі нейроконтролера, який представляє собою нейронну мережу, яка функціонує за принципом біологічних нейронних мереж [1].

В основі ШНМ лежить модель нейрона (рисунок 1), який являє собою одиницю обробки інформації в нейронній мережі. В даній моделі можна виділити три основні елементи:

Набір синапсів, кожен з яких характеризується своєю вагою. В даному випадку сигнал  $x_j$  на вході синапса  $j$ , зв'язаний з нейроном  $k$  помножується на вагу  $w_{kj}$ ;

Суматор, який сумує вхідні сигнали, зважені відносно відповідних синапсів нейрона;

Функція активації, яка обмежує амплітуду вихідного сигналу нейрона. Звичайно діапазон амплітуд вихідного сигналу лежить в інтервалі  $[0,1]$  або  $[-1,1]$

В модель нейрона також може включатися пороговий елемент  $b_k$ . Ця величина показує збільшення або зменшення вхідного сигналу, що подається на функцію активації. Функція активації може бути представлена у вигляді одиничної, кусково-лінійної або сигмоїдної функції [2].

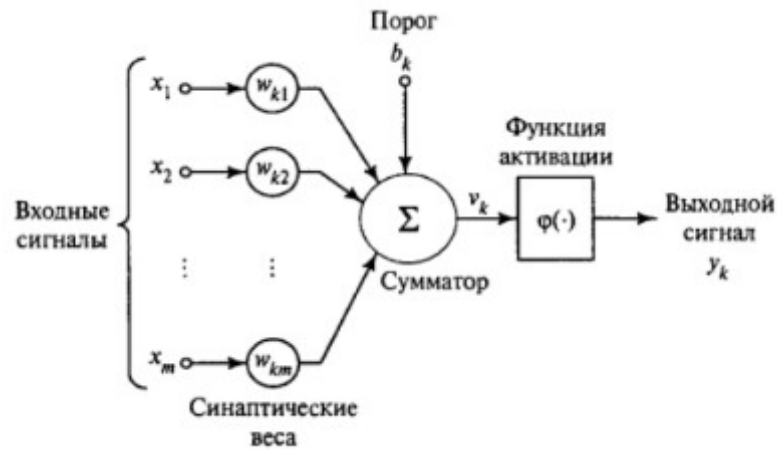


Рисунок 1 – Нелінійна модель нейрона

Математично функціонування нейрона можна описати наступними рівняннями:

$$v_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j + b_k$$

$$u_k = \varphi(v_k)$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_m$  – вхідні сигнали;  $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$  – синаптичні ваги нейрона  $k$ ;  $u_k$  – лінійна комбінація вхідних впливів;  $b_k$  – поріг;  $\varphi(\cdot)$  – функція активації;  $u_k$  – вихідний сигнал нейрона.

Для виконання задач керування складними об'єктами, як тяговий електропривод необхідно використовувати так звані рекурентні мережі зі зворотними зв'язками (рисунок 2). Наявність таких зв'язків безпосередньо впливає на можливість навчання таких мереж та їх продуктивність.

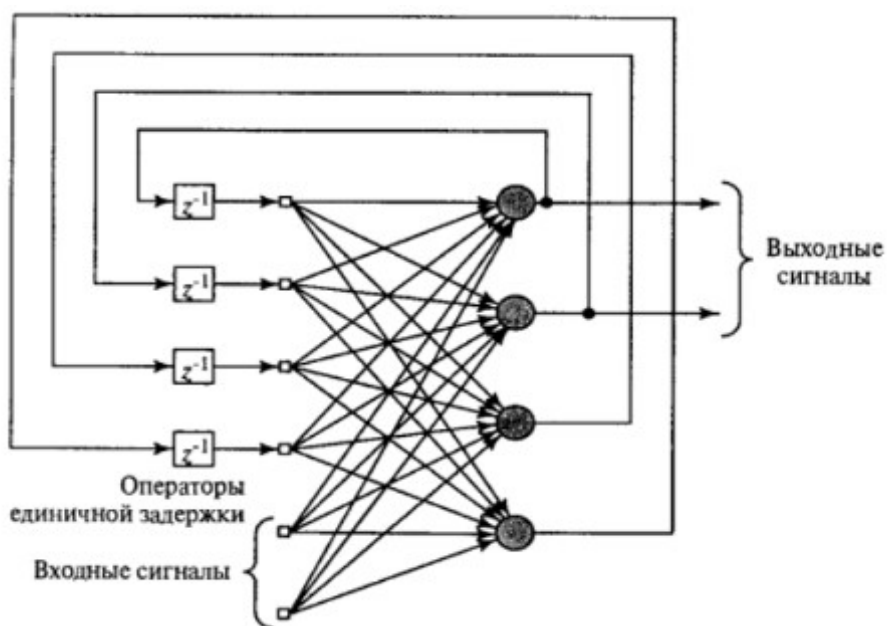


Рисунок 2 – Рекурентна мережа з одним шаром прихованих нейронів

Під навчанням ШНМ розуміють процес налаштування вагових коефіцієнтів її базових процесорних елементів, результатом чого являється виконання мережею конкретних задач. Нейронна мережа може функціонувати у двох варіантах. В першому нейронна мережа навчається та одночасно формує керуючий вплив на виконавчий пристрій системи керування. При цьому вона навчається в реальному часі. В іншому варіанті спочатку проходить етап попереднього навчання заданій функції керування, а потім етап відтворення апроксимації цієї функції в процесі керування заданим об'єктом. Такий варіант синтезу нейроконтролера та налаштування його параметрів протікають не в реальному часі. Вибір конкретного підходу до навчання залежить від специфіки задачі.

Розрізняють три основні стратегії навчання ШНМ: «з вчителем», «без вчителя» та змішана. В першому випадку нейронна мережа навчається за заданою вибіркою у відповідності до прийнятих правил та алгоритмів. У другому випадку нейронна мережа навчається спонтанно без участі експериментатора. При змішаній стратегії навчання частина вагових коефіцієнтів визначаються за заданою навчальною вибіркою, а інша частина – у відповідності з правилами навчання «без вчителя».

Предметна область нейронних мереж лежить на перетині багатьох наук. Її коріння сягає нейробіології, математики, статистики, фізики, науки про комп'ютери та інженерію. Здатність нейронних мереж до навчання на даних за допомоги вчителя або без нього зробила їх неоціненним інструментом в таких різноманітних областях застосування, як моделювання, аналіз часових рядів, розпізнавання образів, обробка сигналів та керування. Зокрема, нейронні мережі можуть бути ефективними, коли рішення задачі стає складним через нелінійність системи, через статистичний розкид даних або відсутність фізичного чи статистичного розуміння системи.

Нейронні мережі мають такі переваги при застосуванні їх у системах керування тяговим електроприводом, як адаптивність та стійкість до відмов. Адаптивність системи обумовлена можливістю нейронних мереж підлаштовувати свої синаптичні ваги відносно зовнішніх збурень, що дозволяє функціонування системи при нестационарних режимах роботи. Стійкість до відмов характеризується тим, що нейронні мережі у формі електронних компонентів при несприятливих умовах потенційно продуктивність системи падає незначно.

Навчання нейронних мереж наповнює всі рівні інтелектуальних систем у дедалі більшій кількості областей застосування, тому застосування технологій на основі нейронних мереж в проектуванні систем керування є перспективним напрямком досліджень.

#### Література

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер.с англ. Вильямс, 2006. 1104 с.
2. Каллан Р. Нейронные сети. Краткий справочник. Вильямс, 2017. 288 с.

КРАШЕНІНІН О. С., ШАПАТІНА О. О. Запровадження сучасних Транспортних технологій в міському господарстві.....	136
ЛУКАШОВА Н. П. Застосування сучасних комутаційних апаратів для надійної роботи тягової мережі електричного транспорту.....	138
АНАНЬЄВА О. М., БАБАЄВ М. М., БЛИНДЮК В. С. Алгоритми оцінки інформаційних сигналів параметрів іскріння тягових двигунів локомотивів.....	139
БОЙКО С. М., КОТОВ О. Б., ПРОКОПЕНКО Д. В. До питання впровадження сучасних ресурсозберігаючих технологій на транспорті.....	140
СИДОРЕНКО А. М., магістр, ВАЩЕНКО Я. В., ЯЦЬКО С. І. Технологія обміну електроенергії в системі електричної тяги з накопичувачем енергії.....	142
ЄСАУЛОВ С. М., БАБЧЕВА О. Ф., ЗАКУРДАЙ В. О. Застосування нейромережових моделей у системах економного витрачання електроенергії електротранспортом.....	143
ЖУКОВ О. А., ПАЯНОК О. А., СІЛАГІН О. Г. Аспекти сучасних вимог до об'єктів інфраструктури електротранспорту.....	145
ЄСАУЛОВ С. М., БАБЧЕВА О. Ф., КЛІМОВ Е. С. Нейромережовий оптимізатор параметрів ПІД-регулятора для керування електромеханічним обладнанням.....	146
ГЕРАСИМЕНКО В. А., ШПІКА М. І. Впровадження регульованого самозбудження генераторів послідовного збудження в системах електричного гальмування трамвайних вагонів.....	148
ВОРОТІЛІН О. С., ПАЛАНТ О. Ю. Економічні аспекти оновлення інфраструктури та реконструкції електротранспорту міста Харкова.....	150
КОЛОТІЛО В. І., ДОНЕЦЬ О. В., ЄРШОВ В. Підвищення якості регулювання ліфтів під час модернізації.....	152
ПЕТРЕНКО О. М., НЕМЧІНОВА К. Визначення ефективності електрорухомого складу.....	155
ПАНЧЕНКО В. В., ТУРЕНКО О. Г. Застосування штучних нейронних мереж в системі керування тяговим електроприводом.....	158
ФУРТАТ О. В., ФУРТАТ С. О., ЗІНЧЕНКО О. В. Пілотний проект транспортно-енергетичної системи - тролейбусної лінії з живленням від нетрадиційних джерел енергії.....	161
ГОЛОТА О. О. Методи контролю динамічних показників магнітно- левітаційного транспорту.....	164
ПУЗИР В. Г., ЗАЛАТА А. С., КАРПЕНКО В. В. Досвід організації випробувань силового обладнання рухомого складу електротранспорту.....	165
ЧУПРИНА Є. М. Сучасні методи балансування накопичувачів енергії транспортних засобів.....	168
ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ В. А. Розробка комплексу контролю параметрів зарядження електромобіля на базі мікрокомп'ютера Arduino та розроблення принципової схеми.....	169
КОВАЛЬОВ Я. І. Розробка принципової схеми блока живлення та підключення мікропроцесора.....	172