

Міністерство освіти і науки України  
Донбаська державна машинобудівна академія

Бондаренко Віталій Миколайович

УДК 004.032.26:621.311

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ  
ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА З  
ІДЕНТИФІКАТОРОМ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ,  
ПОБУДОВАНИМ НА БАЗІ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат магістерської роботи

Краматорськ 2019

Робота виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації Донбаської державної машинобудівної академії Міністерства освіти і науки України, м. Краматорськ.

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, доцент  
Шеремет Олексій Іванович,  
Донбаська державна машинобудівна  
академія, завідувач кафедри  
«Електромеханічні системи  
автоматизації».

**Рецензент:**

---

---

---

Захист відбудеться «\_\_\_» грудня 2019 р. о \_\_\_ годині на засіданні державної екзаменаційної комісії за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» в Донбаській державній машинобудівній академії на кафедрі ЕСА за адресою: 84313, м. Краматорськ, бульвар Машинобудівників, 39, 2-й корпус, ауд. 2133.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### **Актуальність теми.**

Нейронні мережі – це один з напрямків досліджень в області штучного інтелекту, заснований на спробах відтворити нервову систему людини. А саме: здатність нервової системи навчатися і виправляти свої помилки, що має можливість змодельовати, хоча і досить грубо, роботу людського мозку.

У нейронних мереж багато важливих властивостей, але ключова з них – це здатність до навчання. Навчання нейронної мережі в першу чергу полягає в зміні «сили» синаптичних зв'язків між нейронами. На сьогоднішній день нейронні мережі є одним з пріоритетних напрямків досліджень в області штучного інтелекту.

Розвиток виробничої діяльності людини в сучасних умовах неминуче супроводжується ускладненням промислових технологій, удосконаленням систем керування. Суттєва роль при цьому відводиться системному розвитку систем керування виробничими лініями підприємства, одним з напрямів якого є дослідження, що базуються на теорії штучного інтелекту.

Прикладні інтелектуальні системи, орієнтовані на обробку та використання знань, знаходить все більше застосування в задачах виробництва та ефективного використання енергії та природних ресурсів. Важливу роль у вирішенні таких задач можуть грати нейромережеві моделі та технології, що отримали свій розвиток на початку 90-х років ХХ сторіччя та продовжують інтенсивно розвиватись у наш час.

Нейронні мережі не програмуються в звичному сенсі цього слова, вони навчаються. Можливість навчання – одна з головних переваг нейронних мереж перед традиційними алгоритмами. Ця перевага усуває можливі помилки програмування і оцінки керованого об'єкта. Технічно навчання полягає в знаходженні коефіцієнтів зв'язків між нейронами. В процесі навчання нейронна мережа здатна виявляти складні залежності між вхідними

даними і вихідними сигналами, а також виконувати узагальнення. Це означає, що при успішному навчанні мережа зможе повернути вірний результат на підставі даних, які були відсутні в навчальній вибірці, а також при неповних і (або) «зашумлених», частково спотворених даних.

В даний час нейронні мережі досить успішно застосовуються для синтезу систем керування динамічними об'єктами. Нейронні мережі мають ряд унікальних властивостей, що роблять їх потужним інструментом для створення систем управління: здатністю до навчання на прикладах і узагальнення даних, здатністю адаптуватися до зміни властивостей об'єкта управління та зовнішнього середовища, придатністю для синтезу нелінійних регуляторів, високою стійкістю до пошкоджень своїх елементів в силу спочатку закладеного в нейромережеву архітектуру паралелізму.

Виконана робота є актуальною, оскільки за допомогою моделювання синтезовано і досліджено в статичних і динамічних режимах нейроконтролер з 20 нейронами в прихованому шарі; отримані результати можуть бути успішно застосовані для практичної реалізації сучасної системи ідентифікації впливу зовнішніх збурень.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Вибір напрямку досліджень здійснено у відповідності до Закону України від 11.07.2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» та змінам до цього закону від 09.09.2010 р. № 2519-VI (2519-17), а також постанови Президії Національної Академії Наук України від 22.10.2010 р. № 294 «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року».

Робота виконана в рамках держбюджетної теми кафедри «Електромеханічні системи автоматизації» ДДМА, «Розробка та дослідження електронних та електромеханічних систем перетворення електричної енергії з використанням сучасних цифрових засобів автоматизації».

**Мета і задачі дослідження.**

Метою роботи є розробка та дослідження системи регулювання швидкості асинхронного електропривода з ідентифікатором впливу зовнішніх збурень, побудованим на базі штучної нейронної мережі.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

- здійснена аналітична оцінка можливостей застосування нейромережевих моделей;
- проаналізовано основні напрямки сучасних досліджень із застосування штучних нейронних мереж в автоматизованих електромеханічних системах;
- розроблено специфічну методику синтезу нейронних мереж;
- здійснено дослідження роботи нейромережевого спостерігача в системі керування частотою асинхронного двигуна за допомогою інвертора з широтно-імпульсною модуляцією;
- запропонована система векторного керування асинхронним двигуном з використанням моделі потоку статора;
- розроблена модель непрямого векторного керування асинхронним двигуном на основі ПІ-регулятора;
- оцінена ефективність векторного керування при використанні нейромережевого регулятора.

**Об'єктом дослідження** є система регулювання швидкості асинхронного електропривода.

**Предметом** є нейроконтрольний ідентифікатор впливу зовнішніх збурень.

**Методи досліджень** – методи математичного моделювання, чисельні методи обчислень, методи навчання нейронних мереж, методи математичної статистики.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Розроблено та досліджено структурні схеми нейромережевого спостерігача з різною кількістю нейронів в середньому шарі в системі частотного регулювання асинхронного двигуна для вимірювання поведінки струму ротора, заснованого на завданні струму статора. Показано, що при заданому рівні похибки існує оптимум на кількість нейронів по часу навчання..

2. Синтезовано і досліджено в статичних і динамічних режимах нейроконтролер з 20 нейронами в прихованому шарі. Результати отримані для наступних режимів роботи: пуск на холостому ході і з навантаженням, раптовий накид навантаження в усталеному режимі. Показано, що за величинами струму двигуна, обертового моменту і швидкості ефективність нейроконтролера виявилася кращою, ніж у ПІ-регулятора швидкості.

**Практичне значення отриманих результатів:**

Виконані дослідження мають практичну цінність, оскільки вони дозволяють підвищити експлуатаційну надійність та безвідмовність електричної частини електроприводів завдяки ідентифікації впливу зовнішніх збурень, що діють на асинхронні промислові електроприводи.

**Особистий внесок здобувача** полягає у здійсненні розробки та проведенні досліджень системи регулювання швидкості асинхронного електропривода з ідентифікатором впливу зовнішніх збурень, побудованим на базі штучної нейронної мережі.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Результати досліджень обговорювались на щорічній науковій конференції студентів ДДМА, м. Краматорськ, 2019 р.

**Публікація результатів наукових досліджень.**

Матеріали магістерської роботи опубліковано в науковій статті у фаховому виданні «Вісник Донбаської державної машинобудівної академії» (перереєстровано – Наказ МОН України № 326 від 04.04.2018).

**Структура і обсяг магістерської роботи.** Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи складається із 114 сторінок (97 сторінок основної частини), 38 рисунків, 24 таблиці. Список використаних джерел містить 75 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Вступ** містить обґрунтування актуальності теми дослідження, її основну мету, наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** виконується аналітична оцінка можливостей застосування нейромережових моделей.

Зазвичай під нейронними мережами (НМ) розуміється набір елементарних нейроноподібних перетворювачів інформації – нейронів, з'єднаних один з одним каналами обміну інформацією для їх спільної роботи. До теперішнього моменту сформувалося два напрямки досліджень.

Перший, нейробіологічний, ґрунтується на моделюванні роботи живого мозку, має на меті пояснити, яким чином в мозку відображаються складні об'єкти та зв'язки між ними, як встановлюється відповідність між інформацією, що зберігається та надходить ззовні, як мозок навчається і інші питання, що стосуються функціонування мозку.

Другий напрямок досліджень формується для вирішення за допомогою НМ задач обробки інформації в різних областях знань, особливо в тих, які складно формалізуються, де існуючі моделі суб'єктивні і неадекватні.

До теперішнього моменту запропоновано і вивчено велику кількість моделей нейромереж. Однак основними є тільки три принципово різних типи мереж, які відповідають трьом відомим методам навчання:

- самоорганізації;
- послідовному підкріпленню знань;
- навчання з учителем.

Більшість інших поширених нейромереж складаються з елементів, характерних для мереж трьох основних типів: карт Кохонена, мереж Хопфілда і мереж прямого поширення (персептронів).



У **другому розділі** досліджуються основні напрямки сучасних досліджень із застосування штучних нейронних мереж в автоматизованих електромеханічних системах.

Деякі дослідники зосереджуються на використанні штучних нейронних мереж в галузі керування асинхронним електроприводом без застосування датчиків. Ця центральна ідея була розбивається на два основних компоненти:

- оцінка швидкості асинхронних двигунів з використанням штучних нейронних мереж;

- керування асинхронними двигунами з використанням штучних нейронних мереж.

Обидві ці області привертають увагу в останні роки, хоча до сьогодні було зроблено доволі велику кількість досліджень.

Як правило, експериментальні установка для тестування нейронних мереж включають в себе процесор цифрової обробки сигналів, наприклад Texas Instruments TMS320C30. Для вимірювання струму і швидкості в датчиках зворотного зв'язку і керування перемикачними аналого-цифрового перетворювача передбачають використання спеціальних інтерфейсних електричних кіл.

Розрахунки нейронної мережі виконуються в блоці процесора цифрової обробки сигналів. Експериментальні результати багатьох дослідників показали, що основним обмеженням в роботі контролера є область низьких швидкостей роботи (менше 200 обертів на хвилину), де помилки на виході нейронної мережі призводять до великої помилку в регулюванні швидкості.

Побудова спостерігача магнітного потоку в нейромережевому логічному базисі передбачає синтез і оптимізацію його структури: вибір числа шарів, кількості нейронів, функцій активації і т.д., які спільно визначають властивості, придбані нейронною мережею в процесі навчання.

Таким чином, виникає необхідність в розробці питань налаштування зазначених параметрів при вирішенні даного завдання.

У третьому розділі здійснюється дослідження роботи нейромережевого контролера в системах управління асинхронними двигунами в якості спостерігача та ідентифікатора впливу зовнішніх збурень.

Побудова спостерігача магнітного потоку в нейромережевому логічному базисі передбачає синтез і оптимізацію його структури: вибір числа шарів, кількості нейронів, функцій активації і т.д., які спільно визначають властивості, придбані нейронною мережею в процесі навчання.

У розпорядженні дослідника є набір функцій активації, з яких можна вибрати найбільш підходящу для вирішення завдання.

У якості першої задачі взято дослідження роботи нейромережевого спостерігача в системі керування частотою асинхронного двигуна за допомогою інвертора з широтно-імпульсною модуляцією.

В роботі використовується тришарова модель нейронної мережі. У вхідному шарі знаходиться сім нейронів, а в вихідному шарі використовується один нейрон. Також представляє інтерес оцінка впливу кількості нейронів в середньому прихованому шарі на величину похибки передбачення.

Розроблено та проаналізовано реалізації інтелектуального контролера для векторного керування швидкістю асинхронного двигуна. Описана і прорахована в програмі MATLAB повна математична модель асинхронного двигуна.

Для векторного управління швидкістю асинхронного двигуна був використаний нейромережевий регулятор.

У **четвертому розділі** здійснено техніко-економічне обґрунтування виконаних досліджень. Розраховано оціночні результати вкладу магістра у наукові дослідження по магістерському проекту.

У **п'ятому розділі** наведено результати аналізу з охорони праці, а саме аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, заходи щодо забезпечення безпечних умов праці і дії при надзвичайних ситуаціях.

## ВИСНОВКИ

За допомогою моделювання в програмі MATLAB Simulink проведено дослідження роботи штучної нейронної мережі в системах частотного керування швидкістю асинхронного електроприводу в якості спостерігача і регулятора.

Розроблено та досліджено структурні схеми нейромережевого спостерігача з різною кількістю нейронів в середньому шарі в системі частотного регулювання асинхронного двигуна для вимірювання поведінки струму ротора, заснованого на завданні струму статора. Показано, що при заданому рівні похибки існує оптимум на кількість нейронів по часу навчання.

Досліджувана штучна нейронна мережа була навчена на пасивному колі, до якого не прикладалася дія проти-ЕРС. Тому навчена на пасивному колі з незначною зміною частоти комутації штучна нейронна мережа, не в змозі адекватно впоратися з сигналами в системі релейний ШІМ-АД. Отже, навчання штучної нейронної мережі необхідно проводити на сигналах тієї системи (середовища або об'єкта), в якій передбачається її використання.

За допомогою моделювання в програмі MATLAB Simulink проведено дослідження роботи штучної нейронної мережі в системах векторного керування швидкістю АД в порівнянні з ПІ-регулятором. Синтезовано і досліджено в статичних і динамічних режимах нейроконтролер з 20 нейронами в прихованому шарі. Результати отримані для наступних режимів роботи: пуск на холостому ході і з навантаженням, раптовий накид навантаження в усталеному режимі. Показано, що за величинами струму двигуна, обертального моменту і швидкості ефективність нейроконтролера виявилася кращою, ніж у ПІ-регулятора швидкості.

## АНОТАЦІЯ

Бондаренко В.М. Розробка та дослідження системи регулювання швидкості асинхронного електропривода з ідентифікатором впливу зовнішніх збурень, побудованим на базі штучної нейронної мережі.

Магістерська робота за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2019.

Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг магістерської роботи складається із 114 сторінок (97 сторінок основної частини), 38 рисунків, 24 таблиці. Список використаних джерел містить 75 найменувань.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка та дослідження системи регулювання швидкості асинхронного електропривода з ідентифікатором впливу зовнішніх збурень, побудованим на базі штучної нейронної мережі.

Основні наукові та практичні результати магістерської роботи:

1. Розроблено та досліджено структурні схеми нейромережевого спостерігача з різною кількістю нейронів в середньому шарі в системі частотного регулювання асинхронного двигуна для вимірювання поведінки струму ротора, заснованого на завданні струму статора. Показано, що при заданому рівні похибки існує оптимум на кількість нейронів по часу навчання.

2. За допомогою моделювання в програмі MATLAB Simulink проведено дослідження роботи штучної нейронної мережі в системах векторного керування швидкістю асинхронного двигуна в порівнянні з пропорційно-інтегральним регулятором.

3. Синтезовано і досліджено в статичних і динамічних режимах нейроконтролер з 20 нейронами в прихованому шарі.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА, ШТУЧНА НЕЙРОННА МЕРЕЖА, СИНТЕЗ, ЗБУРЕННЯ, СПОСТЕРІГАЧ

## ANNOTATION

Bondarenko V.M. Development and research of an asynchronous electric drive speed control system with an external disturbance impact identifier built on the basis of an artificial neural network.

Master's work in specialty 141 – "Power engineering, electrical engineering and electromechanics", Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, 2019.

The master's thesis consists of an introduction, five sections, general conclusions, a list of sources used. The total volume of the master's thesis consists of 114 pages (97 pages of the main part), 38 figures, 24 tables. The list of sources used contains 75 items.

The purpose of the master's qualification work is to develop and research a system of regulation of the speed of an asynchronous electric drive with the identifier of the influence of external perturbations, built on the basis of an artificial neural network.

The main scientific and practical results of the master's work:

1. Structural diagrams of a neural network observer with different number of neurons in the middle layer in the system of frequency regulation of an induction motor to measure the behavior of the rotor current based on the problem of stator current are developed and investigated. It is shown that at a given level of error there is an optimum number of neurons at the time of training.

2. Using simulation in MATLAB Simulink, a study of the work of an artificial neural network in systems of vector control of the speed of an induction motor in comparison with the proportional-integral controller is carried out.

3. A neural controller with 20 neurons in a hidden layer is synthesized and investigated in static and dynamic modes.

Keywords: ELECTROMECHANICAL SYSTEM, ARTIFICIAL NEURAL NETWORK, SYNTHESIS, PERTURBATION, OBSERVER

Бондаренко Віталій Миколайович

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ  
ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА З  
ІДЕНТИФІКАТОРОМ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ЗБУРЕНЬ,  
ПОБУДОВАНИМ НА БАЗІ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ**

Підп. до друку

Формат 60×90/16

Офсетний друк

---

Умов. друк. арк. – 0,58

Тираж 1 прим.

Замовлення №

---

ДДМА, 84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72