

Міністерство освіти і науки України  
Донбаська державна машинобудівна академія

Пащенко Владислав Володимирович

УДК 004.032.26:621.311

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ СИСТЕМИ  
ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА  
ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО  
КОМПЛЕКСУ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат магістерської роботи

Краматорськ 2020

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

**Науковий керівник:**

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

**Рецензент:**

---

---

---

Захист відбудеться «22» грудня 2020 р. о 10:00 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

Нейронні мережі останнім часом набувають все більшої популярності, і інтерес до їх використання зростає як серед виробників, так і у замовників. Вбудовані системи машинного зору нового покоління на основі глибоких нейронних мереж можуть бути застосовані в реальних проектах для задач промисловості та безпеки.

Поточний стан справ в області нейронних мереж характеризують чотири основні напрями, які спостерігаються у світі:

1. Глибокі змагальні мережі для імітації даних (GAN, Domain Transfer Learning, Zero-Shot Learning). Такі мережі істотно допомагають вирішити проблему з додатковим створенням навчальної вибірки для нейронних мереж, які вже займаються розпізнаванням.

2. Інтерпретація динамічної візуальної інформації на природній мові (Action Detection and Prediction, Video Annotation, Video and Language Understanding, Text-to-Video, VQA).

3. Навчання глибоких мереж як активних агентів (Reinforcement Learning, Lifelong Learning). Мається на увазі навчання мережі без вчителя.

4. Глибоке навчання з використанням структурних моделей, баз знань і програм логічного висновку (Graph Structured CNN, Deep Visual Reasoning). Також був здійснений великий ривок в сфері Activity and Behavior Recognition. «Розуміння сцени» – це саме високоінтелектуальне, що може бути в системі відеоспостереження. Комп'ютер буде описувати те, що відбувається в деякій спостережуваній області. Це новий рівень взаємодії людини з комп'ютером і розуміння комп'ютером того, що відбувається в навколишньому середовищі.

Окремі можливості сучасних нейронних мереж використовуються для здійснення імітаційного моделювання та прогнозування параметрів електротехнічних комплексів промислового підприємства.

**Зв'язок роботи з планами і темами кафедри.** Робота була виконана на кафедрі електромеханічних систем автоматизації Донбаської державної машинобудівної академії відповідно до тематичного плану держбюджетної науково-дослідної роботи ДР № 0117U007402 «Розробка та дослідження електронних та електромеханічних систем перетворення електричної енергії з використанням сучасних цифрових засобів автоматизації» згідно з напрямком наукової роботи кафедри.

**Актуальність** застосування нейронних мереж багаторазово зростає, коли з'являється необхідність вирішення погано формалізованих задач. Основні області застосування нейронних мереж: автоматизація процесу класифікації, автоматизація прогнозування, автоматизація процесу розпізнавання, автоматизація процесу прийняття рішень; управління,

кодування і декодування інформації; апроксимація залежностей та багато інших.

**Метою** роботи є розробка та дослідження нейромережевої системи для здійснення імітаційного моделювання та прогнозування параметрів електротехнічного комплексу промислового підприємства.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні **задачі**:

- вивчити загальні відомості про штучні нейронні мережі;
- розглянути основні поняття та визначення інтелектуального аналізу даних;
- сформулювати основні задачі інтелектуального аналізу даних;
- розглянути імітаційне моделювання та умови, при яких рекомендується його застосування;
- здійснення багатоваріантної оцінки керованих змінних нейромережевої імітаційної моделі;
- побудування нейромережевої моделі в задачі передбачення параметрів для керування поведінкою об'єкта;
- розробити автоматизовану систему для визначення раціональної кількості електротранспорту на міських пасажирських лініях.

**Об'єкт дослідження** – нейромережевої системи для здійснення прогнозування змінюваних в часі параметрів складних технологічних процесів.

**Предмет дослідження** – імітаційна модель нейромережевої системи прогнозування параметрів керування електротехнічного комплексу промислового підприємства.

**Методи досліджень.** В роботі використано загальні положення та методи теорії нейронних мереж, теорії електроприводу, лінійної алгебри, числові методи розв'язання диференціальних рівнянь для розрахунків параметрів систем автоматичного керування електроприводами, перевірка ефективності отриманих теоретичних результатів здійснювалася засобами чисельного моделювання в програмному середовищі для дослідження нейронних мереж – NeuroSolutions з використанням сучасних засобів автоматизації математичних і інженерних розрахунків.

#### **Наукова новизна роботи:**

1. Розроблено методику досліджень, яка дозволила встановити, що застосування нейромережевого імітаційного моделювання є ефективним не тільки для аналізу, прогнозування, а й управління технологічними процесами, оскільки при нейромережевому імітаційному моделюванні

з'являються можливості значного збільшення кількості дослідів або експериментів, а також більш повного використання наявної інформації.

2. Розроблено алгоритм функціонування нейромережевої імітаційної моделі для здійснення прогнозування змінюваних в часі параметрів складних технологічних процесів.

3. Розроблено методику оцінки керованих змінних в завданні імітаційного моделювання. Запропоновано три варіанти оцінки змінних, в основі кожного з яких лежать загальні питання теорії прийняття рішень. По кожному з варіантів запропонована нейромережева реалізація представлення керованих змінних в процесі імітаційного моделювання.

4. Запропоновано методику обробки оцінок експертів, що дозволяє оптимізувати навчальну вибірку і здійснити прогнозування вектору керуючих параметрів моделі.

5. За допомогою нейронної мереж розв'язана актуальна науково-практична задача управління кількістю тролейбусів на лініях міста (в якості фактора оптимальності прийнято мінімізацію енергоспоживання).

**Практична цінність роботи.** Сучасні умови існування суб'єктів господарської діяльності характеризуються нестабільністю соціальних та економічних процесів, що вимагає вдосконалення методів аналізу та прогнозування енергоспоживання, в тому числі і на базі нейронних мереж, отже магістерська робота має суттєву **практичну цінність**.

**Наукова апробація роботи.** Результати досліджень доповідались та обговорювались на наукових конференціях регіонального та міжнародного рівня: IV Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод» (16-18 квітня 2020 року), XLII Науково-технічна конференція науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів, магістрантів і студентів (23-27 листопада 2020 року).

**Публікація результатів наукових досліджень.** Матеріали магістерської роботи опубліковано у двох тезах доповідей регіональних та міжнародних науково-технічних конференцій і одній науковій статті у фаховому виданні «Вісник Донбаської державної машинобудівної академії» (перереєстровано – Наказ МОН України № 326 від 04.04.2018).

**Особистий вклад здобувача.** Усі основні результати магістерської роботи, що виносяться на захист, здобувач отримав особисто. Зокрема, вивчено загальні відомості про штучні нейронні мережі, розглянуто основні поняття та визначення інтелектуального аналізу даних, сформульовано основні задачі інтелектуального аналізу даних, розглянуто імітаційне моделювання та умови, при яких рекомендується його застосування, здійснено багатоваріантну оцінку керованих змінних нейромережевої

імітаційної моделі, побудовано нейромережеву модель для задачі передбачення параметрів об'єкта, розроблено автоматизовану систему для визначення раціональної кількості електротранспорту на міських пасажирських лініях.

**Структура та обсяг магістерської роботи.** Магістерська кваліфікаційна робота складається з вступу, шести розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел.

Загальний обсяг магістерської роботи становить 116 сторінок, в тому числі 31 таблиці по тексту, 19 рисунків по тексту, перелік використаних джерел із 26 найменувань на 2 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У **першому розділі** виконана аналітична оцінка можливостей застосування нейронних мереж (НМ) для розв'язання технічних задач.

Для різних цілей розроблено широкий діапазон моделей штучних нейронних мереж, які, хоч і відрізняються структурою, реалізацією і принципами функціонування, однак мають спільні ознаки. Загалом штучні нейронні мережі є обчислювальними системами, побудованими на численних простих сильно взаємоз'язаних елементах оброблення сигналів або інформації (штучних нейронах), що характеризуються такими ознаками:

1. Оброблення інформації і пам'ять розподіляються по усій структурі мережі, а тому у такій структурі розділяти апаратну і програмну частини важко. Фактично нейронні мережі для виконання поставленої задачі швидше навчаються, ніж програмуються.

2. Штучні нейрони мають багато взаємозв'язків, а тому стан одного нейрона впливає на потенціали великої кількості нейронів, з якими він зв'язаний відповідно до ваг (або сили) зв'язків.

3. Ваги зв'язків (синаптичні сили) є, як правило, адаптивними. Оскільки адаптація може траплятися скрізь у структурі мережі, то говорять про розподілену пам'ять. Ваги зв'язків адаптуються відповідно до певних адаптивних (або оптимізаційних) алгоритмів.

4. Оброблювальні елементи (нейрони), містять, як правило, нелінійні активаційні функції, тобто новий стан нейрона є нелінійною функцією сигналів, утворених активністю спалахів інших нейронів.

5. Хоча мережі часто використовують неточні і ненадійні елементи, завдяки використанню високонадлишкової розподіленої структури вони характеризуються високою жорсткістю (нечутливістю) до затлумлених вхідних даних і збоїв функціонування елементів. Інакше кажучи, нейронні мережі демонструють сильну жорсткість, оскільки їхня функціональність не залежить від зміни параметрів у широкому діапазоні.

Відомо багато способів з'єднання штучних нейронів (оброблювальні елементи) у великі мережі. Такі зв'язки між нейронами називаються архітектурами або структурами. Архітектури штучних нейронних мереж грубо можна поділити на три великі категорії:

- а) багатошарові мережі без зворотних зв'язків;
- б) рекурентні мережі із зворотними зв'язками;
- в) клітинні (сотові) мережі.

Як і їхні біологічні прообрази, НМ можуть навчатися, тобто поліпшувати свою роботу під впливом навколишнього середовища, що змінює їх параметри. Існує безліч визначень терміна “навчання”, однак стосовно до НМ найбільше підходить наступне, дане Менделем і Маклареном:

Навчання – це процес, при якому вільні параметри нейронної мережі адаптуються в результаті її безперервної стимуляції зовнішнім оточенням. Тип навчання визначається тим способом, яким здійснюються зміни параметрів.

У сучасній літературі крім терміна “навчання” також використовуються рівноправні поняття “тренування мережі” і “настроювання параметрів мережі”. У загальному випадку можна виділити два основних види навчання : контрольоване навчання (supervised learning) і самонавчання (self-organized learning). Перший вид має на увазі наявність “учителя”, що спостерігає реакцію мережі і направляє зміни її параметрів. В другому випадку мережа самоорганізується під дією зовнішнього середовища і вивчає його самостійно, без допомоги “учителя”.

У **другому розділі** розглядаються сучасні методи інтелектуального аналізу даних.

Суть та мету технології інтелектуального аналізу даних (Data Mining) можна охарактеризувати так: це технологія, яка призначена для пошуку у великих обсягах даних неочевидних, об'єктивних і корисних на практиці закономірностей.

Неочевидних – це означає, що знайдені закономірності не виявляються стандартними методами обробки інформації або експертним шляхом.

Об'єктивних – це означає, що виявлені закономірності будуть повністю відповідати дійсності, на відміну від експертної думки, яке завжди є суб'єктивним.

Практично корисних – це означає, що висновки мають конкретне значення, котрому можна знайти практичне застосування.

Знання – сукупність відомостей, яка утворює цілісний опис, відповідне деякому рівню обізнаності про описуваному питанні, предметі, проблемі і т.д.

Використання знань означає дійсне застосування знайдених знань для досягнення конкретних переваг (наприклад, в конкурентній боротьбі за ринок).



У третьому розділі здійснено імітаційне моделювання та прогнозування параметрів керування електротехнічного комплексу промислового підприємства.

До теперішнього часу імітаційний підхід ще строго не формалізований, проте, проглядаються два основних етапи імітаційного моделювання:

– вивчення властивостей модельованої системи і її реакцій на зміну вихідних параметрів;

– пошук оптимальних рішень для систем з вивченими властивостями при заданому поєднанні вихідних параметрів.

Якщо розглядати перший етап імітаційного моделювання з точки зору застосування нейронних мереж, то слід зазначити, що властивості будь-якої модельованої системи, в тому числі і технічної, характеризуються наявністю досить великої кількості характеристик і параметрів. Відомо, що нейронна мережа має високі апроксимуючі здібності і потенційні можливості до виконання аналізу даних. Тому, в даному розділі представлені алгоритми вивчення властивостей модельованої системи за допомогою використання нейронної мережі.

Умови, при яких рекомендується застосовувати імітаційне моделювання:

1. Не існує закінченої математичної постановки даної задачі, або ще не розроблені аналітичні методи рішення сформованої моделі.

2. Аналітичні моделі є, але процедури їх застосування настільки складні і трудомісткі, що імітаційне моделювання дає більш простий спосіб вирішення завдання.

3. Аналітичні рішення існують, але їх реалізація неможлива внаслідок недостатньої математичної підготовки наявного персоналу.

Застосування нейромережевого імітаційного моделювання ефективно не тільки для аналізу, прогнозування, а й управління. Включення нейронних мереж в систему дослідження поведінки об'єктів дозволить усунути суб'єктивність і суперечливість знаходження власних шляхів розв'язання поставленого завдання. Впровадження в практику моделювання на НМ не потребують значних грошових витрат. При нейромережевому імітаційному моделюванні з'являються можливості значного збільшення кількості дослідів або експериментів, а також більш повного використання наявної інформації. Така модель дозволяє враховувати зовнішні фактори, оцінювати рівень їх впливу на перебіг процесу, і, отже, підвищити якість дослідів.

Імітаційне нейромережеве моделювання повинно включати в себе два основних процеси: перший – конструювання моделі реальної системи,

другий – постановка експериментів на цій моделі. При цьому передбачається досягнення наступних цілей:

- вивчити поведінку досліджуваної системи;
- обрати стратегію, яка забезпечить найбільш ефективне функціонування досліджуваної системи.

Таким чином, основною перевагою нейромережевого імітаційного моделювання слід вважати те, що з його допомогою можна вирішувати більш складні завдання. Дані моделі дозволяють досить просто враховувати випадкові впливи та інші фактори, які створюють труднощі при аналітичному дослідженні.

Здатність НМ формувати досить складні функції дозволяє судити про можливість їх застосування і в задачах імітаційного моделювання. Однією з позитивних якостей на користь розробки і подальшого використання нейромережевих імітаційних моделей, в порівнянні з традиційними, слід вважати незначні витрати по їх створенню. До недоліку застосування даних видів моделей слід віднести хибну імітацію. Однак, хибна імітація може бути усунена за допомогою донавчання нейромережевої моделі. Ще одним недоліком нейромережевої імітаційної моделі є прояв хибної імітації за межами отриманих нею знань про об'єкт.

За аналогією з традиційними імітаційними моделями, представимо структуру і функціональні особливості нейромережевої моделі. Це дозволить розробити ряд підходів до формування імітаційних моделей і алгоритмів реалізації завдань планування і управління.

**У четвертому розділі** виконано визначення раціональної кількості електротранспорту на міських пасажирських лініях.

Розроблено структуру нейромережевої моделі імітаційного моделювання, що дозволяє імітувати поведінку об'єкта дослідження.

Розроблено метод оцінки значень незалежних змінних в завданні нейромережевого імітаційного моделювання. В основу методу покладено експертні оцінки, що дозволять адекватним чином відобразити вплив зовнішніх впливів на об'єкт дослідження.

Розроблено методик оцінки керованих змінних в завданні імітаційного моделювання. Запропоновано три варіанти оцінки змінних, в основі кожного з яких лежать загальні питання теорії прийняття рішень. По кожному з варіантів запропонована нейромережева реалізація представлення керованих змінних в процесі імітаційного моделювання.

Запропоновано методик обробки оцінок експертів, що дозволяє прогнозувати вектор керуючих параметрів моделі.

З метою дослідження можливостей управління об'єктом за допомогою нейронної мережі:

- розроблена нейромережева модель прогнозування параметрів керування електротехнічним комплексом підприємства;
- стосовно до реальних умов, за допомогою моделі нейромережевого управління, було досягнуто раціональне рішення щодо забезпечення пасажироперевезень.

У **п'ятому розділі** здійснено техніко-економічне обґрунтування виконаних досліджень. Розраховано оціночні результати вкладу магістра у наукові дослідження по тематиці кваліфікаційної роботи магістра.

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

## ВИСНОВКИ

Поставлена мета – розробка та дослідження нейромережевої системи для здійснення імітаційного моделювання та прогнозування параметрів електротехнічного комплексу промислового підприємства – є успішно досягнутою в результаті роботи, виконано наступне:

1. Розроблено структуру нейромережевої моделі імітаційного моделювання, що дозволяє імітувати поведінку об'єкта дослідження.

2. Розроблено метод оцінки значень незалежних змінних в завданні нейромережевого імітаційного моделювання. В основу методу покладено експертні оцінки, що дозволять адекватним чином відобразити вплив зовнішніх впливів на об'єкт дослідження.

3. Розроблено методику оцінки керованих змінних в завданні імітаційного моделювання. Запропоновано три варіанти оцінки змінних, в основі кожного з яких лежать загальні питання теорії прийняття рішень. По кожному з варіантів запропонована нейромережева реалізація представлення керованих змінних в процесі імітаційного моделювання.

4. Запропоновано методику обробки оцінок експертів, що дозволяє прогнозувати вектор керуючих параметрів моделі.

5. З метою дослідження можливостей управління об'єктом за допомогою нейронної мережі:

– розроблена нейромережева модель прогнозування параметрів керування електротехнічним комплексом підприємства;

– стосовно до реальних умов, за допомогою моделі нейромережевого управління, було досягнуто раціональне рішення щодо забезпечення пасажиро перевезень.

## АНОТАЦІЯ

Пащенко В. В. Розробка та дослідження нейромережевої системи для здійснення імітаційного моделювання та прогнозування параметрів електротехнічного комплексу промислового підприємства.

Магістерська робота за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ, 2020.

Магістерська кваліфікаційна робота складається з вступу, шести розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел.

Загальний обсяг магістерської роботи становить 116 сторінок, в тому числі 31 таблиці по тексту, 19 рисунків по тексту, перелік використаних джерел із 26 найменувань на 2 сторінках.

Основні наукові результати магістерської роботи:

1. Розроблено методику досліджень, яка дозволила встановити, що застосування нейромережевого імітаційного моделювання є ефективним не тільки для аналізу, прогнозування, а й управління технологічними процесами, оскільки при нейромережевому імітаційному моделюванні з'являються можливості значного збільшення кількості дослідів або експериментів, а також більш повного використання наявної інформації.

2. Розроблено алгоритм функціонування нейромережевої імітаційної моделі для здійснення прогнозування змінюваних в часі параметрів складних технологічних процесів.

3. Розроблено методику оцінки керованих змінних в завданні імітаційного моделювання. Запропоновано три варіанти оцінки змінних, в основі кожного з яких лежать загальні питання теорії прийняття рішень. По кожному з варіантів запропонована нейромережева реалізація представлення керованих змінних в процесі імітаційного моделювання.

4. Запропоновано методику обробки оцінок експертів, що дозволяє оптимізувати навчальну вибірку і здійснити прогнозування вектору керуючих параметрів моделі.

5. За допомогою нейронної мереж розв'язана актуальна науково-практична задача управління кількістю тролейбусів на лініях міста (в якості фактора оптимальності прийнято мінімізацію енергоспоживання).

Ключові слова: НЕЙРОННА МЕРЕЖА, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ, ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА

## ANNOTATION

Pashchenko V. V. Research and development of a neural network system for simulation and parameters forecasting of the industrial enterprise electrical complex.

Master's thesis in specialty 141 – "Electricity, Electrical Engineering and Electromechanics", Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, 2020.

Master's thesis consists of an introduction, six sections, general conclusions, a list of sources used.

The total volume of the master's work is 116 pages, including 31 tables on the text, 19 figures on the text, the list of the used sources from 26 names on 2 pages.

The main scientific results of the master's thesis:

1. A research methodology has been developed, which allowed to establish that the use of neural network simulation is effective not only for analysis, forecasting, but also process control, because neural network simulation has the opportunity to significantly increase the number of experiments or experiments, as well as more complete use of available information.

2. The algorithm of functioning of the neural network simulation model for realization of forecasting of parameters of difficult technological processes changing in time is developed.

3. A method for estimating controlled variables in the simulation problem is developed. Three options for estimating variables are proposed, each of which is based on general questions of decision theory. According to each of the options, a neural network implementation of the representation of controlled variables in the process of simulation is proposed.

4. A method of processing expert assessments is proposed, which allows to optimize the training sample and to predict the vector of control parameters of the model.

5. With the help of neural networks the actual scientific and practical problem of managing the number of trolleybuses on the city lines is solved (minimization of energy consumption is accepted as a factor of optimality).

Keywords: NEURAL NETWORK, SIMULATION MODELING, INTELLECTUAL DATA ANALYSIS, EXPERT EVALUATION

Пащенко Владислав Володимирович

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ СИСТЕМИ  
ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА  
ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО  
КОМПЛЕКСУ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА**

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