

ДАНИЛЬЧЕНКО ДМИТРО ОЛЕКСІЙОВИЧ – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7912-1849>; e-mail: dmytro.danylchenko@khi.edu.ua

ЦЮПА ВЛАДИСЛАВ МИКОЛАЙОВИЧ ✉ – аспірант кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4269-1941>; e-mail: vladyslav.tsiupa@ieec.khi.edu.ua

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У СИСТЕМАХ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ

У статті досліджено можливість застосування штучних нейронних мереж у системах релейного захисту електропостачання з метою підвищення надійності, швидкодії та адаптивності розпізнавання аварійних і передаварійних режимів роботи електричних мереж. Показано, що традиційні пристрої релейного захисту, побудовані на основі фіксованих уставок і логічних алгоритмів, мають обмежені можливості щодо адаптації до зміни параметрів системи електропостачання, топології мережі та режимів навантаження, що може призводити до помилкових або надлишкових спрацювань. Для розв'язання зазначеної проблеми запропоновано використання нейромережевого підходу, заснованого на аналізі миттєвих значень фазних струмів і напруг. Імітаційну модель системи електропостачання реалізовано в середовищі MATLAB/Simulink із використанням стандартних бібліотек електротехнічних компонентів. У процесі моделювання відтворювалися нормальні та аварійні режими роботи, зокрема режими, спричинені однофазними короткими замиканнями, що дозволило сформулювати репрезентативні навчальні та тестові вибірки. У роботі наведено структуру штучної нейронної мережі, описано процес її навчання з використанням алгоритму зворотного поширення похибки та виконано аналіз збіжності навчального процесу за середньоквадратичною похибкою. Проведено тестування навченої нейромережевої моделі та досліджено процес її перенавчання за умов зміни параметрів системи електропостачання. Отримані результати підтверджують здатність нейронної мережі ефективно розпізнавати режими роботи системи та зберігати коректність функціонування після повторного навчання. Зроблено висновок про доцільність застосування штучних нейронних мереж як інтелектуального елемента систем релейного захисту електропостачання з метою підвищення їх адаптивності, зменшення ймовірності помилкових спрацювань та забезпечення стійкої роботи електроенергетичних систем за змінних умов експлуатації.

Ключові слова: релейний захист; система електропостачання; штучна нейронна мережа; аварійні режими; імітаційне моделювання; MATLAB/Simulink; машинне навчання.

Вступ. У сучасних системах електропостачання надійність та безперервність енергозабезпечення споживачів значною мірою визначаються ефективністю функціонування пристроїв релейного захисту. Питання підвищення надійності та швидкодії релейного захисту детально розглядаються у працях, присвячених класичним принципам побудови та експлуатації захисних пристроїв електроенергетичних систем [1, 2]. Разом з тим, зростання складності сучасних електричних мереж та поява нових режимів роботи зумовлюють необхідність розвитку інтелектуальних методів захисту.

У процесі експлуатації електрообладнання можливе виникнення аварійних і передаварійних режимів, що супроводжуються різким зростанням струмів та істотним зниженням напруги. Основними причинами таких режимів є короткі замикання, які можуть призводити до термічного пошкодження елементів мережі та порушення нормального електропостачання споживачів [3]. Для локалізації пошкоджень та запобігання розвитку аварій застосовуються автоматичні пристрої релейного захисту, ефективність яких безпосередньо впливає на загальну надійність системи електропостачання.

Класичні релейні захисти, як правило, реалізуються на основі фіксованих уставок та логічних алгоритмів, параметри яких визначаються заздалегідь на етапі проєктування [2]. За умов зміни режимів роботи, топології мережі або характеристик навантаження це може призводити до зниження

селективності та появи помилкових або надлишкових спрацювань. Проблеми адаптації релейного захисту до змінних умов експлуатації відзначаються в ряді наукових досліджень [4].

Одним із перспективних напрямів розвитку релейного захисту є застосування методів штучного інтелекту, зокрема штучних нейронних мереж. У наукових публікаціях відзначається здатність нейромережевих моделей ефективно розпізнавати аварійні режими на основі аналізу електричних сигналів та адаптуватися до зміни параметрів системи шляхом навчання і перенавчання [5, 6]. Застосування таких підходів розглядається як основа для створення інтелектуальних та адаптивних систем релейного захисту нового покоління.

Мета статті. Метою даної наукової статті є комплексне дослідження можливостей застосування штучних нейронних мереж у складі систем релейного захисту електропостачання для підвищення ефективності виявлення аварійних і передаварійних режимів роботи електричних мереж. Особлива увага приділяється аналізу здатності нейромережевих алгоритмів до обробки багатовимірних електричних сигналів, зокрема миттєвих значень струмів і напруг, а також до формування коректних керуючих рішень за умов зміни параметрів системи.

У межах поставленої мети розглядається можливість використання штучних нейронних мереж як інтелектуального елемента релейного захисту, здатного доповнювати або частково замінювати

© Д. О. Данильченко, В. М. Цюпа, 2025



Ця робота ліцензується відповідно до **Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)**
Конфлікт інтересів: Автори заявили про відсутність конфлікту

традиційні порогові та логічні алгоритми. Передбачається, що застосування методів машинного навчання дозволить підвищити адаптивність захисних пристроїв до змін режимів роботи, топології електричної мережі та характеристик навантаження, що є суттєвим недоліком класичних релейних захистів.

Досягнення поставленої мети передбачає аналіз принципів побудови та функціонування штучних нейронних мереж, вибір їх архітектури для задачі розпізнавання режимів роботи електроенергетичної системи, а також дослідження процесів навчання та перенавчання нейромережевої моделі на основі даних, отриманих шляхом імітаційного моделювання аварійних режимів. Окремо розглядається питання збереження адекватності роботи нейронної мережі при зміні параметрів системи електропостачання, що моделює реальні умови експлуатації електричних мереж.

Крім того, метою дослідження є оцінка ефективності застосування нейромережевого підходу з точки зору зменшення ймовірності помилкових та надлишкових спрацювань релейного захисту, а також підвищення чутливості захисних пристроїв до початкових ознак розвитку аварійних процесів. Реалізація зазначених підходів розглядається як передумова переходу від традиційних захисних схем до інтелектуальних та адаптивних систем релейного захисту нового покоління.

Таким чином, поставлена мета спрямована на обґрунтування доцільності використання штучних нейронних мереж у системах релейного захисту електропостачання та визначення напрямів їх подальшого впровадження з урахуванням вимог надійності, швидкодії та адаптивності.

Теоретичні засади застосування штучних нейронних мереж. Штучні нейронні мережі належать до класу інтелектуальних обчислювальних моделей, принцип функціонування яких базується на імітації процесів обробки інформації в біологічних нейронних системах. У загальному випадку нейронна мережа являє собою сукупність взаємопов'язаних елементарних обчислювальних вузлів — штучних нейронів, які здійснюють перетворення вхідних сигналів у вихідні відповідно до заданої архітектури та параметрів [7].

Окремий штучний нейрон є базовим елементом нейромережевої моделі та виконує функцію обробки і передавання інформації. Узагальнена структура штучного нейрона наведена на рис. 1. Нейрон складається з вхідних зв'язків (синапсів), суматора та нелінійного перетворювача — функції активації.

На входи нейрона надходять сигнали

$$x_1, x_2, \dots, x_n,$$

кожен з яких множиться на відповідний ваговий коефіцієнт

$$w_1, w_2, \dots, w_n.$$

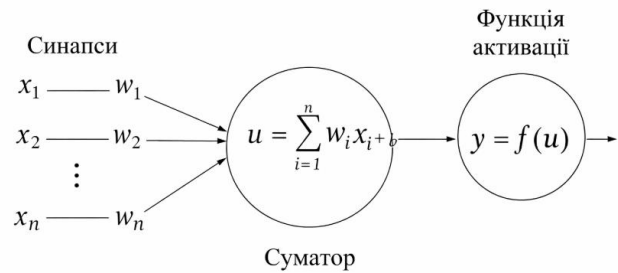


Рисунок 1 – Структура штучного нейрона

Зважені вхідні сигнали надходять до суматора, у якому формується узагальнений внутрішній сигнал

$$u = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b,$$

де b — параметр зміщення, що визначає поріг активації нейрона. Отримане значення u подається на вхід функції активації, у результаті чого формується вихідний сигнал нейрона

$$y = f(u).$$

Функція активації забезпечує нелінійність перетворення та визначає здатність нейронної мережі до розв'язання складних задач класифікації. У задачах аналізу режимів роботи електроенергетичних систем найчастіше застосовуються сигмоїдальні, гіперболічні або кусочно-лінійні функції, які забезпечують стійкість навчання та достатню чутливість до зміни вхідних параметрів [8].

Архітектура нейронної мережі визначається кількістю шарів та характером міжнейронних зв'язків. Найбільш поширеними у практичних застосуваннях є багатошарові нейронні мережі прямого поширення сигналу, що включають вхідний, один або декілька прихованих та вихідний шари. Саме такі структури доцільно використовувати для задачі розпізнавання режимів роботи систем електропостачання на основі вимірюваних електричних величин.

Однією з ключових властивостей нейронних мереж є здатність до навчання, тобто налаштування вагових коефіцієнтів на основі аналізу навчальної вибірки. У випадку навчання з учителем для кожного вектора вхідних даних заздалегідь відомий еталонний вихідний сигнал, що дозволяє оцінювати похибку функціонування мережі та здійснювати корекцію параметрів з метою мінімізації помилки [9].

Для кількісної оцінки якості навчання зазвичай використовується середньоквадратична похибка

$$E = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_k^{\text{ст}} - y_k)^2,$$

де $y_k^{\text{ст}}$ — еталонне значення вихідного сигналу,

y_k – фактичне значення, сформоване нейронною мережею,

N – кількість навчальних прикладів.

Таким чином, штучні нейронні мережі завдяки своїй здатності до навчання, узагальнення та адаптації можуть ефективно застосовуватися для аналізу складних нелінійних процесів, характерних для електроенергетичних систем, і розглядатися як перспективний інструмент у складі інтелектуальних систем релейного захисту.

Методика дослідження та імітаційне моделювання системи електропостачання. Для дослідження можливості застосування штучних нейронних мереж у системах релейного захисту було використано метод імітаційного моделювання. Такий підхід дозволяє відтворювати різні режими роботи системи електропостачання, у тому числі аварійні та передаварійні, а також формувати навчальні та тестові вибірки для подальшого навчання нейромережевої моделі [10].

Імітаційну модель системи електропостачання реалізовано у програмному середовищі MATLAB із використанням пакета Simulink та стандартних бібліотек електротехнічних компонентів. Обрана платформа забезпечує можливість детального моделювання електричних процесів у часовій області та є широко застосовуваною у наукових дослідженнях електроенергетичних систем.

Структура імітаційної моделі, наведена на рис. 2, включає джерело живлення, елементи електричної мережі, навантаження та блоки вимірювання електричних величин. У процесі моделювання імітувалися аварійні режими, спричинені короткими замиканнями, зокрема однофазними замиканнями на землю. Такі режими є найбільш поширеними у практиці експлуатації систем електропостачання та становлять значний інтерес з точки зору релейного захисту.

У результаті імітаційного моделювання отримувалися миттєві значення фазних струмів та напруг

$$I_A(t), I_B(t), I_C(t), U_A(t), U_B(t), U_C(t),$$

які використовувалися як вхідні дані для штучної нейронної мережі. Отримані сигнали формували багатовимірний вектор вхідних параметрів, що відображає поточний режим роботи електричної системи.

Для кожного набору вхідних даних задавався відповідний вихідний параметр, який характеризує стан системи електропостачання. Нормальному режиму роботи відповідало значення

$$y = 0,$$

а аварійному режиму – значення

$$y = 1.$$

Таким чином, задача розпізнавання режимів формулювалася як задача бінарної класифікації.

З метою оцінки здатності нейронної мережі адаптуватися до зміни параметрів системи електропостачання проводилося моделювання декількох варіантів системи з різними значеннями параметрів елементів мережі та навантаження. Для кожного варіанта формувалася окрема навчальна вибірка, що дозволяло здійснювати повторне навчання нейромережевої моделі та аналізувати зміну показників якості її роботи.

Сформовані в середовищі MATLAB/Simulink навчальні та тестові вибірки використовувалися на наступному етапі дослідження для побудови та навчання штучної нейронної мережі, призначеної для розпізнавання режимів роботи системи електропостачання [10, 11].

На основі сформованих у середовищі MATLAB/Simulink навчальних вибірок було побудовано штучну нейронну мережу, призначену для розпізнавання режимів роботи системи електропостачання. Архітектура нейромережевої моделі визначалася з урахуванням кількості вхідних параметрів, характеру задачі та вимог до швидкодії і точності релейного захисту.

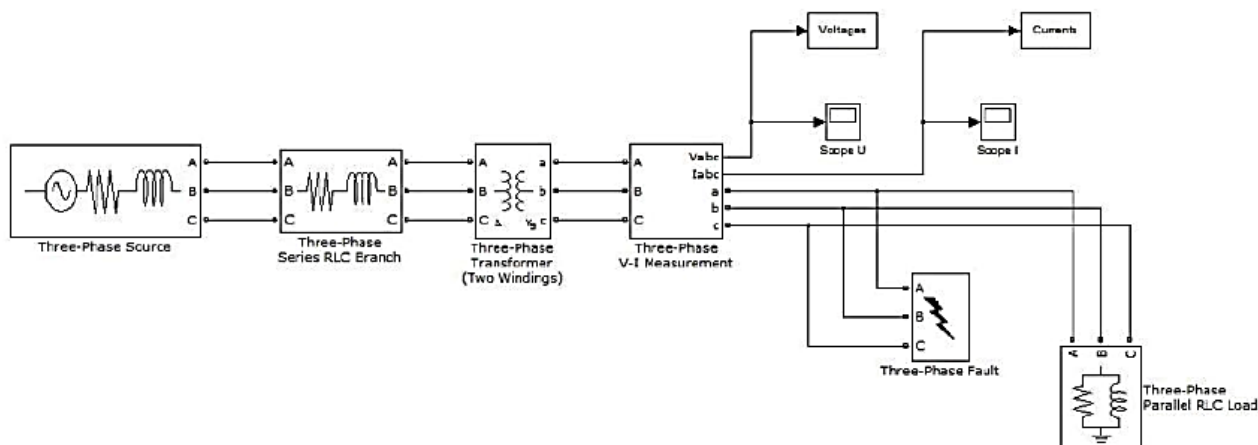


Рисунок 2 – Імітаційна модель системи електропостачання, реалізована в середовищі MATLAB/Simulink

Структура штучної нейронної мережі, наведена на рис. 3, включає вхідний шар, прихований шар та вихідний шар. На входи мережі подаються миттєві значення фазних струмів та напруг, сформовані у вигляді векторів вхідних даних. Прихований шар забезпечує нелінійне перетворення інформації та підвищує здатність мережі до розпізнавання складних режимів роботи електричної системи. Вихідний шар формує сигнал, що характеризує стан системи електропостачання [12].

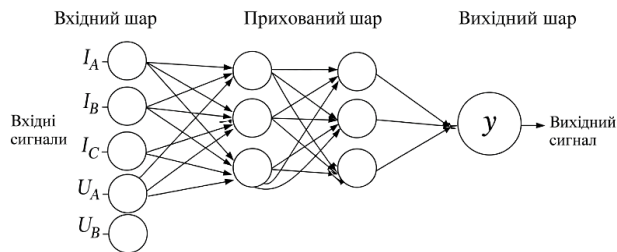


Рисунок 3 – Структура штучної нейронної мережі

Навчання нейронної мережі здійснювалося з використанням пакета Neural Network Toolbox у середовищі MATLAB. У якості алгоритму навчання застосовано метод зворотного поширення похибки, який дозволяє ітераційно коригувати вагові коефіцієнти з метою мінімізації функції похибки. Початкові значення вагових коефіцієнтів задавалися випадковим чином [13].

Для оцінювання процесу навчання аналізувався графік залежності середньоквадратичної похибки від кількості епох навчання, наведений на рис. 4. Зменшення значення похибки у процесі навчання свідчить про поступове наближення вихідних сигналів нейронної мережі до еталонних значень. Критерієм завершення навчання слугувало досягнення мінімального значення середньоквадратичної похибки або відсутність її істотного зменшення при подальших ітераціях.

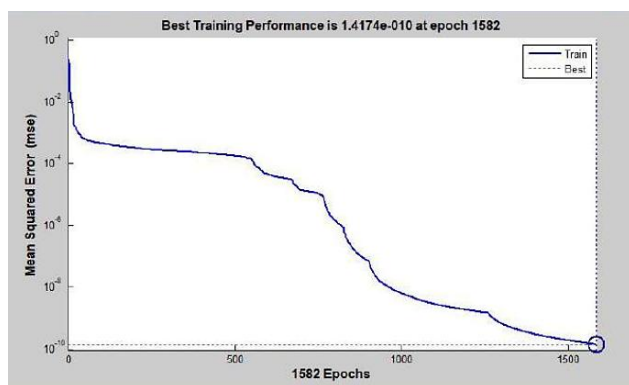


Рисунок 4 – Графік залежності середньоквадратичної похибки від кількості епох навчання нейронної мережі

Отримані результати навчання підтверджують коректність обраної архітектури нейронної мережі та доцільність використання нейромережевого підходу для задачі розпізнавання аварійних режимів. Навчена модель характеризується високою точністю

класифікації режимів та стабільною збіжністю алгоритму навчання [14].

Після завершення процесу навчання нейронної мережі було проведено перевірку адекватності її роботи на тестових даних, що не використовувалися під час навчання. Результати тестування дозволяють оцінити здатність нейромережевої моделі до узагальнення та коректного розпізнавання режимів роботи системи електропостачання в умовах, наближених до реальної експлуатації.

Аналіз результатів тестування та перенавчання нейронної мережі. Після завершення процесу навчання штучної нейронної мережі було проведено перевірку адекватності її роботи з використанням тестових вхідних даних, які не входили до складу навчальної вибірки. Такий підхід дозволяє оцінити здатність нейромережевої моделі до узагальнення та коректного розпізнавання режимів роботи системи електропостачання.

Результати тестування нейронної мережі подано у вигляді тестового вихідного сигналу, наведеного на рис. 5. Аналіз форми вихідного сигналу свідчить про чітке розділення нормального та аварійного режимів роботи системи. Вихідний сигнал нейронної мережі стабільно набуває значень, що відповідають заданим еталонним класам, що підтверджує правильність функціонування навченої моделі.

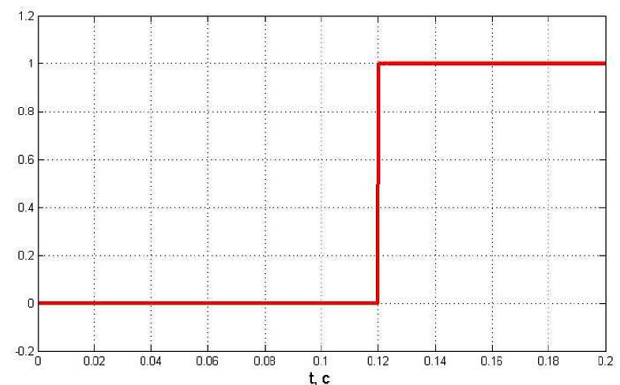


Рисунок 5 – Тестовий вихідний сигнал нейронної мережі при розпізнаванні режимів роботи системи електропостачання

Для дослідження здатності нейронної мережі адаптуватися до зміни параметрів системи електропостачання було проведено додатковий етап перенавчання. З цією метою параметри елементів імітаційної моделі змінювалися, після чого формувалася нова навчальна вибірка на основі змінених режимів роботи системи. Отримані дані використовувалися для повторного навчання нейромережевої моделі [15, 16].

Процес перенавчання оцінювався за графіком залежності середньоквадратичної похибки від кількості епох, наведеним на рис. 6. Як видно з графіка, перенавчання нейронної мережі супроводжується зменшенням значення похибки до малих величин, що свідчить про збіжність алгоритму та збереження

стабільності навчального процесу навіть за умов зміни параметрів системи.

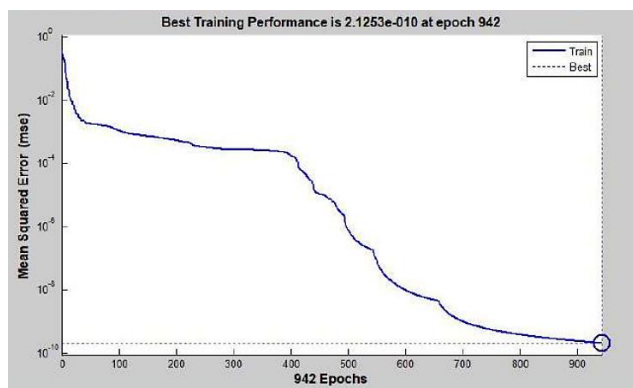


Рисунок 6 – Графік залежності середньоквадратичної похибки від кількості епох при перенавчанні нейронної мережі

Після завершення перенавчання було проведено повторне тестування нейронної мережі. Тестовий вихідний сигнал перенавченої моделі наведено на рис. 7. Отримані результати показують, що нейронна мережа зберігає здатність до коректного розпізнавання режимів роботи системи електропостачання, а форма вихідного сигналу відповідає заданим критеріям класифікації [17].

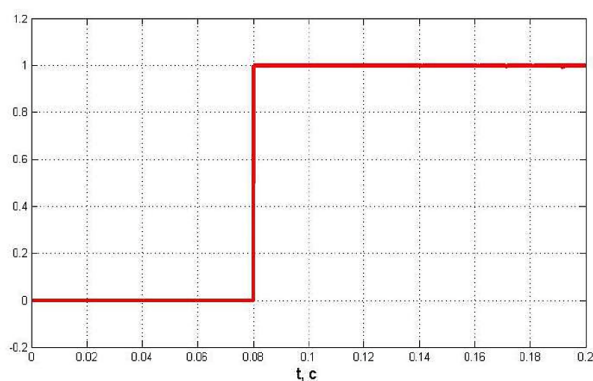


Рисунок 7 – Тестовий вихідний сигнал перенавченої нейронної мережі

Порівняльний аналіз результатів тестування до та після перенавчання дозволяє зробити висновок про високу адаптивність нейромережевої моделі. Застосування процедури перенавчання забезпечує корекцію вагових коефіцієнтів з урахуванням нових умов експлуатації, що є важливою перевагою у порівнянні з традиційними пристроями релейного захисту з фіксованими уставками.

Таким чином, отримані результати підтверджують доцільність використання штучних нейронних мереж у системах релейного захисту електропостачання для підвищення надійності розпізнавання аварійних та передаварійних режимів, а також для забезпечення адаптації захисних алгоритмів до зміни параметрів електричної системи.

Висновки. У даній науковій роботі досліджено можливість застосування штучних нейронних мереж у системах релейного захисту електропостачання з

метою підвищення надійності та адаптивності розпізнавання аварійних і передаварійних режимів. Проведений аналіз показав, що традиційні пристрої релейного захисту з фіксованими уставками мають обмежені можливості щодо адаптації до змін параметрів електричних мереж та режимів їх роботи.

У межах дослідження було розроблено імітаційну модель системи електропостачання в середовищі MATLAB/Simulink, яка дозволила відтворювати різні режими роботи, зокрема аварійні режими, спричинені короткими замиканнями. На основі результатів імітаційного моделювання сформовано навчальні та тестові вибірки, що використовувалися для побудови та навчання штучної нейронної мережі.

Запропонована нейромережна модель продемонструвала здатність ефективно розпізнавати режими роботи системи електропостачання за миттєвими значеннями фазних струмів і напруг. Аналіз результатів навчання показав стабільну збіжність алгоритму та досягнення малих значень середньоквадратичної похибки, що свідчить про коректність обраної архітектури нейронної мережі та методу навчання.

Додатково було досліджено процес перенавчання нейронної мережі за умов зміни параметрів системи електропостачання. Отримані результати підтвердили, що нейромережна модель зберігає здатність до коректного розпізнавання режимів після повторного навчання, що вказує на її високу адаптивність. Це є суттєвою перевагою у порівнянні з класичними релейними захистами, які не здатні автоматично враховувати зміну умов експлуатації.

Таким чином, застосування штучних нейронних мереж у системах релейного захисту електропостачання є перспективним напрямом розвитку інтелектуальних захисних пристроїв. Використання нейромережових алгоритмів дозволяє зменшити ймовірність помилкових та надлишкових спрацювань, підвищити чутливість до початкових ознак аварійних процесів та забезпечити адаптацію захисту до змін параметрів електричних мереж.

Отримані результати можуть бути використані при розробці інтелектуальних та адаптивних систем релейного захисту нового покоління, а також слугувати основою для подальших досліджень у напрямі впровадження методів машинного навчання у практику експлуатації електроенергетичних систем.

Список літератури

1. Данильченко Д. О., Цюпа В. М. Спосіб реалізації цифровізації релейного захисту та автоматики для електроенергетичних об'єктів розподілення з напругою 6-10 кВ. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. 2025. № 1(10). С. 40–46. DOI: [https://doi.org/10.20998/erec.2025.1\(10\).334222](https://doi.org/10.20998/erec.2025.1(10).334222).
2. Дослідження перспектив розвитку технології «розумних енергосистем» із застосуванням розподілених баз даних / В. М. Павленко та ін. *Енергетика і автоматика*. 2024. № 5. С. 66–76. DOI: [https://doi.org/10.31548/energiya5\(75\).2024.066](https://doi.org/10.31548/energiya5(75).2024.066).
3. Danylchenko D., Potryvai A., Tsiupa V. Regional automation server for distribution points. 2025 *IEEE 6th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 6–10 October 2025. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1109/khpiweek61436.2025.11288627>.

4. Lai L. L. Application of neural networks to fault classification and protection. *APSCOM-97. International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, Hong Kong, 11–14 November 1997. P. 72–76. DOI: <https://doi.org/10.1049/cp:19971807>.
5. Artificial intelligence based fault diagnosis and relay protection technology in power systems. *Journal of Electrotechnology, Electrical Engineering and Management*. 2024. Vol. 7, no. 2. P. 38–46. DOI: <https://doi.org/10.23977/jeeem.2024.070206>.
6. Alnaib I. I., Alsammak A. N. B., Sabry S. Protection relay performance comparison for faults detection and classification based on ANN and ANFIS. *3rd International Conference on Control, Instrumentation and Mechatronics Engineering (CIM2022)*: Lecture Notes in Electrical Engineering (LNEE, volume 921), 2–3 May 2022. Singapore, 2022. P. 545–555. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3923-5_47.
7. An intelligent overcurrent relay to protect transmission lines based on artificial neural network / N. A.-A.-B. Al-Jawady et al. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*. 2023. Vol. 14, no. 2. P. 1290–1299. DOI: <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v14.i2.pp1290-1299>.
8. Venu N. Design analysis and classification of digital transmission based composite relay and artificial neural network approach. *IJFANS International Journal of Food and Nutritional Sciences*. 2023. Vol. 12, no. 1. P. 680–693.
9. Reliability assessment of protective relays in harmonic-polluted power systems / J. Jedrzejczak et al. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2017. Vol. 32, no. 1. P. 556–564. DOI: <https://doi.org/10.1109/tpwrd.2016.2544801>.
10. Hamoodi A. N., Ibrahim M. A., Salih B. M. An intelligent differential protection of power transformer based on artificial neural network. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2022. Vol. 11, no. 1. P. 93–102. DOI: <https://doi.org/10.11591/eei.v11i1.3547>.
11. Design of an adaptive identification method for faulty operating states of power system relay protection devices / Z. Guo et al. *Results in Engineering*. 2025. Vol. 28. 107568. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107568>.
12. Suo N., Zhou Z. Computer assistance analysis of power grid relay protection based on data mining. *Computer-Aided Design & Applications*. 2021. Vol. 18, S4. P. 61–71.
13. Chopdar S. M., Koshti A. K. Fault detection and classification in power system using artificial neural network. *2022 International Conference on Intelligent Technologies (CONIT)*, Hubli, India, 24–26 June 2022. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/conit55038.2022.9848016>.
14. An improved method for fault detection electric power system protection using SVMCNN model / N. M. G. Kumar et al. *2024 International Conference on Electronics, Computing, Communication and Control Technology (ICECCC)*, Bengaluru, India, 2–3 May 2024. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/iceccc61767.2024.10593976>.
15. Rezaei S. An adaptive bidirectional protective relay algorithm for ferroresonance in renewable energy networks. *Electric Power Systems Research*. 2022. Vol. 212. 108625. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108625>.
16. Application of machine learning methods in fault detection and classification of power transmission lines: a survey / F. M. Shakiba et al. *Artificial Intelligence Review*. 2022. Vol. 56, no. 7. P. 5799–5836. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10296-0>.
17. Rezapour H., Jamali S., Bahmanyar A. Review on artificial intelligence-based fault location methods in power distribution networks. *Energies*. 2023. Vol. 16, no. 12. 4636. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16124636>.
- pp. 66–76, Dec. 2024, doi: [https://doi.org/10.31548/energiya5\(75\).2024.066](https://doi.org/10.31548/energiya5(75).2024.066) (in Ukrainian)
3. D. Danylchenko, A. Potryvai, and V. Tsiupa, “Regional automation server for distribution points,” in *2025 IEEE 6th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, Oct. 6–10, 2025. IEEE, 2025, doi: <https://doi.org/10.1109/khpiweek61436.2025.11288627>
4. L. L. Lai, “Application of neural networks to fault classification and protection,” in *APSCOM-97. International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, Hong Kong, Nov. 11–14, 1997. IET, 1997, pp. 72–76, doi: <https://doi.org/10.1049/cp:19971807>
5. “Artificial intelligence based fault diagnosis and relay protection technology in power systems,” *Journal of Electrotechnology, Electrical Engineering and Management*, vol. 7, no. 2, pp. 38–46, 2024, doi: <https://doi.org/10.23977/jeeem.2024.070206>
6. I. I. Alnaib, A. N. B. Alsammak, and S. Sabry, “Protection relay performance comparison for faults detection and classification based on ANN and ANFIS,” in *3rd International Conference on Control, Instrumentation and Mechatronics Engineering (CIM2022)*, May 2–3, 2022. Singapore: Springer, 2022, pp. 545–555, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3923-5_47
7. N. A.-A.-B. Al-Jawady, M. A. Ibrahim, L. A. Khalaf, and M. N. Abed, “An intelligent overcurrent relay to protect transmission lines based on artificial neural network,” *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 14, no. 2, pp. 1290–1299, Jun. 2023, doi: <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v14.i2.pp1290-1299>
8. N. Venu, “Design analysis and classification of digital transmission based composite relay and artificial neural network approach,” *IJFANS International Journal of Food and Nutritional Sciences*, vol. 12, no. 1, pp. 680–693, 2023.
9. J. Jedrzejczak, G. J. Anders, M. Fotuhi-Firuzabad, H. Farzin, and F. Aminifar, “Reliability assessment of protective relays in harmonic-polluted power systems,” *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 1, pp. 556–564, Feb. 2017, doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrd.2016.2544801>
10. A. N. Hamoodi, M. A. Ibrahim, and B. M. Salih, “An intelligent differential protection of power transformer based on artificial neural network,” *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 11, no. 1, pp. 93–102, Feb. 2022, doi: <https://doi.org/10.11591/eei.v11i1.3547>
11. Z. Guo, W. Luo, J. Wei, and J. Wang, “Design of an adaptive identification method for faulty operating states of power system relay protection devices,” *Results in Engineering*, vol. 28, Oct. 2025, Art. no. 107568, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107568>
12. N. Suo and Z. Zhou, “Computer assistance analysis of power grid relay protection based on data mining,” *Computer-Aided Design & Applications*, vol. 18, S4, pp. 61–71, 2021.
13. S. M. Chopdar and A. K. Koshti, “Fault detection and classification in power system using artificial neural network,” in *2022 International Conference on Intelligent Technologies (CONIT)*, Hubli, India, Jun. 24–26, 2022. IEEE, 2022, doi: <https://doi.org/10.1109/conit55038.2022.9848016>
14. N. M. G. Kumar, S. S. Priya, V. Varghese, R. K. J. P. Patra, and N. Nishant, “An improved method for fault detection electric power system protection using SVMCNN model,” in *2024 International Conference on Electronics, Computing, Communication and Control Technology (ICECCC)*, Bengaluru, India, May 2–3, 2024. IEEE, 2024, doi: <https://doi.org/10.1109/iceccc61767.2024.10593976>
15. S. Rezaei, “An adaptive bidirectional protective relay algorithm for ferroresonance in renewable energy networks,” *Electric Power Systems Research*, vol. 212, Nov. 2022, Art. no. 108625, doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108625>
16. F. M. Shakiba, S. M. Azizi, M. Zhou, and A. Abusorrah, “Application of machine learning methods in fault detection and classification of power transmission lines: A survey,” *Artificial Intelligence Review*, vol. 56, no. 7, pp. 5799–5836, Nov. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10296-0>
17. H. Rezapour, S. Jamali, and A. Bahmanyar, “Review on artificial intelligence-based fault location methods in power distribution networks,” *Energies*, vol. 16, no. 12, Jun. 2023, Art. no. 4636, doi: <https://doi.org/10.3390/en16124636>

References

1. D. Danylchenko and V. Tsyupa, “Method of implementing digitisation of relay protection and automation for power distribution facilities with a voltage of 6-10 kV,” *Bulletin of the National Technical University “KhPI”. Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency*, no. 1(10), pp. 40–46, Jul. 2025, doi: [https://doi.org/10.20998/eree.2025.1\(10\).334222](https://doi.org/10.20998/eree.2025.1(10).334222) (in Ukrainian)
2. V. Pavlenko, O. Volianyk, I. Ponomarenko, and D. Danylchenko, “Study of technology development prospects “intelligent energy systems” using distributed databases,” *Energy and Automation*, no. 5,

Надійшло (received) 22.12.2025

UDC 621.31

DANYLCHENKO DMYTRO OLEKSYOVICH – Professor, Department of Electrical Power Transmission, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7912-1849>; e-mail: dmytro.danylchenko@khti.edu.ua

TSYPA VLADISLAV MYKOLAIOVYCH ✉ – Postgraduate student, Department of Electrical Power Transmission, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4269-1941>; e-mail: vladyslav.tsiupa@ieec.khti.edu.ua

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN RELAY PROTECTION SYSTEMS OF POWER SUPPLY NETWORKS FOR FAULT CONDITION RECOGNITION.

The paper investigates the possibility of applying artificial neural networks in relay protection systems of power supply networks in order to improve the reliability, speed, and adaptability of recognizing emergency and pre-emergency operating conditions. It is shown that conventional relay protection devices based on fixed settings and logical algorithms have limited capability to adapt to changes in power system parameters, network topology, and load conditions, which may lead to false or unnecessary operations. To address this problem, a neural network-based approach is proposed, relying on the analysis of instantaneous values of phase currents and voltages. A simulation model of the power supply system was developed in the MATLAB/Simulink environment using standard electrical component libraries. During the simulation process, normal and fault operating modes were reproduced, including conditions caused by single-phase short circuits, which enabled the formation of representative training and testing datasets. The paper presents the structure of the artificial neural network, describes the training process using the backpropagation algorithm, and analyzes the convergence of the training procedure based on the mean squared error criterion. Testing of the trained neural network model was performed, and the retraining process under changing power system parameters was also investigated. The obtained results confirm the ability of the neural network to effectively recognize operating modes of the power supply system and to maintain correct performance after retraining. It is concluded that the application of artificial neural networks as an intelligent element of relay protection systems is a promising approach for increasing their adaptability, reducing the probability of false operations, and ensuring stable operation of power systems under varying operating conditions.

Keywords: relay protection; power supply system; artificial neural network; fault conditions; simulation modeling; MATLAB/Simulink; machine learning.