

НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ СТРУМУ ВИТОКУ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ЧАСОВИХ РЯДІВ

В. П. Герасименко, кандидат технічних наук, старший викладач

В. В. Василенко, доктор технічних наук, професор

Н. В. Майбородіна, кандидат фізико-математичних наук, доцент

ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут"

О. В. Ковальов, кандидат технічних наук, старший викладач

Таврійський державний агротехнологічний

університет імені Дмитра Моторного

E-mail: syavagvp@gmail.com

Анотація. Серед сучасних електротехнічних засобів моніторингу стану ізоляції електродвигунів є пристрої моніторингу величини струму витоку, яка відображає поточний стан ізоляції електродвигуна. Застосування досконаліших пристроїв, що не тільки фіксують небезпечну величину струму витоку, відключаючи електродвигун, але й прогнозують можливість досягнення небезпечної величини струму витоку, дають можливість інформувати обслуговуючий персонал про можливу небезпеку, зменшувати час на простій обладнання під час технологічного процесу за рахунок можливості завчасного обслуговування, заміни чи ремонту електродвигунів у технологічну паузу, ще до виходу їх з ладу. Нейронні мережі, що застосовуються для прогнозування надійності електродвигунів, в основному виконуються як математичні моделі паралельних обчислень, що мають у своєму складі прості процесорні елементи, що взаємодіють між собою і називаються штучними нейронами. Нелінійність нейронних мереж дозволяє встановлювати нелінійні залежності між майбутніми та фактичними значеннями процесів. Іншими важливими перевагами є масштабованість – паралельна структура штучних нейронних мереж прискорює обчислення, що є вкрай актуальним в промислових масштабах, коли необхідно обробляти терабайти даних.

Створена на основі теорії часових рядів нейронна мережа перевірена на технологічну придатність для прогнозування струму витоку електродвигуна. Синтезована нейронна мережа може бути основою для створення системи прогнозування струмів витоку електродвигунів на основі теорії часових рядів. Система прогнозування включає нейронну мережу на основі теорії часових рядів, засоби вимірювання струму витоку електродвигунів та базу даних. Ключове рішення в розробленій системі приймає людина.

Ключові слова: струм витоку, теорія часових рядів, нейронна мережа

Актуальність. Сучасні технічні способи контролю стану електродвигунів використовують величину струму витоку, як одну з основних характеристик про стан ізоляції електродвигуна [1, 2].

Застосування більш досконалих пристроїв, що мають можливість не тільки фіксувати, але і прогнозувати досягнення небезпечних значень струму витоку, дає можливість попереджати і завчасно інформувати обслуговуючий персонал про можливу небезпеку. Зменшувати час на простій обладнання, надаючи можливість обслуговувати, замінювати чи ремонтувати електродвигуни в технологічну паузу, не чекаючи їхньої повної відмови.

Оскільки значення струму витоку можна розглядати як часовий ряд, то для покращення прогнозування варто комбінувати класичний підхід використання нейронних мереж із математичним апаратом теорії часових рядів [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомі наукові праці, в яких пропонується використання нейронних мереж для прогнозування [4, 5, 6].

Метод прогнозування є послідовність дій, в наслідок виконання якої визначається модель прогнозування конкретного часового ряду. На першому етапі класифікації методи можна умовно поділити на дві групи: інтуїтивні та формалізовані (рис. 1).

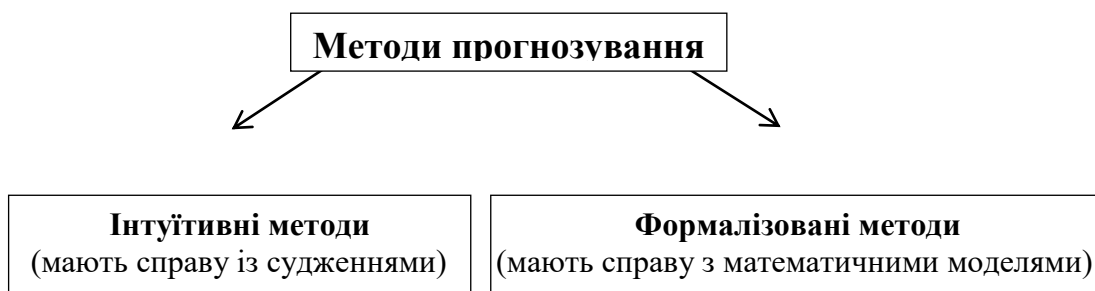


Рис. 1. Класифікація методів прогнозування

Інтуїтивні методи прогнозування мають справу з судженнями і оцінками експертів. Нині вони часто застосовуються в маркетингу, економіці, політиці, так як

система, поведінка якої необхідно спрогнозувати, чи дуже складна і не піддається математичному опису, або дуже проста і такого опису не потребує.

Формалізовані методи – описані в літературі методи прогнозування, в результаті яких будують моделі прогнозування, тобто визначають таку математичну залежність, яка дозволяє обчислити майбутнє значення процесу, тобто зробити прогноз.

У цій роботі розглядаються формалізовані методи. Метод прогнозування містить дії за оцінкою якості прогнозних значень. Загальний ітеративний підхід до побудови математичної моделі прогнозування складається з певних кроків [7].

Для часових рядів моделі можуть бути поділені на статистичні та структурні:

- у статистичних моделях залежність майбутнього значення від минулого задається в вигляді деякого рівняння. До них відносяться: регресійні моделі (лінійна регресія, нелінійна регресія); авторегресійні моделі (ARIMAX, GARCH, ARDLM); модель експоненціального згладжування; модель за вибіркою максимальної правдоподібності.

- у структурних моделях залежність майбутнього значення від минулого задається у вигляді певної структури і правил переходу за нею. До них відносяться: нейромеревеві моделі; моделі на базі ланцюгів Маркова; моделі на базі класифікаційно-регресійних дерев.

Нейронні мережі, що застосовуються для прогнозування надійності електродвигунів, в основному виконуються як математичні моделі паралельних обчислень, що мають у своєму складі прості процесорні елементи, що взаємодіють між собою і називаються штучними нейронами. За основу береться, що активаційні функції наявних нейронів у нейронній мережі сталі, а ваги є параметрами нейронної мережі та можуть змінюватися [8].

Мета дослідження – створити нейронну мережу на основі теорії часових рядів, перевіривши її на технологічну прийнятність для системи захисту шляхом прогнозування появи небезпечного струму витоку електродвигуна.

Матеріали та методи дослідження. Експериментальне дослідження величини струмів витоку електродвигунів у вигляді пасивного експерименту проводилося в

системі електроживлення з глухозаземленою нейтраллю напругою 0,38 кВ у корівниках із груповим, безприв'язним утриманням корів та молодняка.

Для зберігання та отримання даних використовувався підключений до ноутбука через USB пристрій УБЗ-302, що фіксував такі параметри: напруга живлення, струм споживання, струм витoku.

На основі теорії часових рядів та за допомогою використання пакету прикладних математичних програм "Statistica" для опрацювання даних електродвигуна потужністю 3 кВт початково створено комплекс нейронних мереж (рис. 2):

- НМ радіальнобазисної функції із двісті одинадцятьма нейронами у прихованому шарові;
- НМ радиальнобазисної функції із сто сімдесят сімома нейронами у прихованому шарові;
- багатошаровий перцептрон із п'ятьма нейронами у прихованому шарові.

Net. ID	Net. name	Training perf.	Test perf.	Algorithm	Error funct.	Hidden act.	Output
1	RBF 1-211-1	0,094406	0,090988	RBFT	SOS	Gaussian	Id
2	RBF 1-177-1	0,095424	0,093459	RBFT	SOS	Gaussian	Id
3	MLP 1-5-1	0,025934	0,023753	BFGS 2	SOS	Logistic	Id

Рис. 2. Комплекс нейронних мереж під час вибору кращої мережі для прогнозування струму витoku на основі теорії часових рядів для електродвигуна потужністю 3 кВт

Більш ефективно спрогнозувала на навчальній та тестовій вибірках НМ багатошаровий перцептрон із п'ятьма нейронами у прихованому шарі (рис. 2): середньоквадратична похибка навчання – 0,025934 у.о. (2,6 %), середньоквадратична похибка тестування – 0,023753 у.о (2,4%). Така нейромережа і буде застосовуватись у подальших дослідженнях.

На рис 3 наведено ефективність прогнозування нейронної мережі на основі теорії часових рядів струму витікання електродвигуна потужністю 3 кВт.

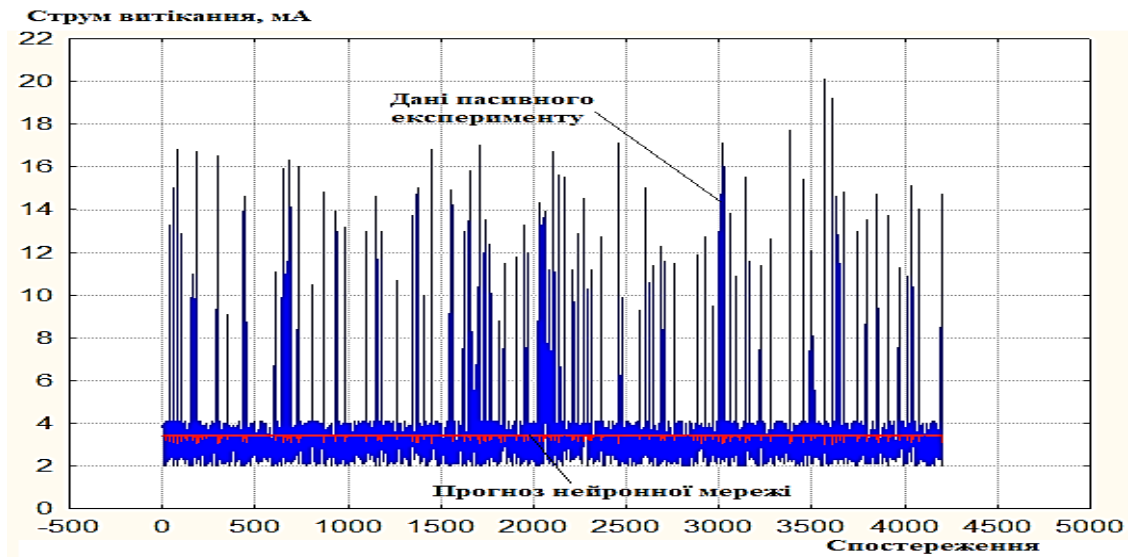


Рис 3. Ефективність прогнозування нейронної мережі на основі теорії часових рядів струму витікання електродвигуна потужністю 3 кВт

За алгоритмом зворотного розповсюдження похибки отримані оптимізовані вагові коефіцієнти нейронної мережі на основі теорії часових рядів для електродвигуна потужністю 3 кВт, які зображені на рис. 4.

Weight ID	Network weights (Струм витікання)	
	Connections 3.MLP 1-5-1	Weight values 3.MLP 1-5-1
1	input bias --> hidden neuron 1	0.066179
2	input bias --> hidden neuron 2	0.021806
3	input bias --> hidden neuron 3	-0.082976
4	input bias --> hidden neuron 4	0.043585
5	input bias --> hidden neuron 5	-0.147037
6	hidden neuron 1 --> Var12	0.172862
7	hidden neuron 2 --> Var12	0.163241
8	hidden neuron 3 --> Var12	-0.191620
9	hidden neuron 4 --> Var12	0.070455
10	hidden neuron 5 --> Var12	-0.085434
11	hidden bias --> Var12	0.004038

Рис 4. Оптимізовані вагові коефіцієнти нейронної мережі на основі теорії часових рядів для електродвигуна потужністю 3 кВт

Аналіз ефективності демонструє, що нейронна мережа на основі теорії часових рядів найкраще прогнозує відносно усереднені значення, в той же час така математична модель фактично не відслідковує потенційні флуктуаційні викиди досліджуваної величини (струму витікання) (рис. 5).

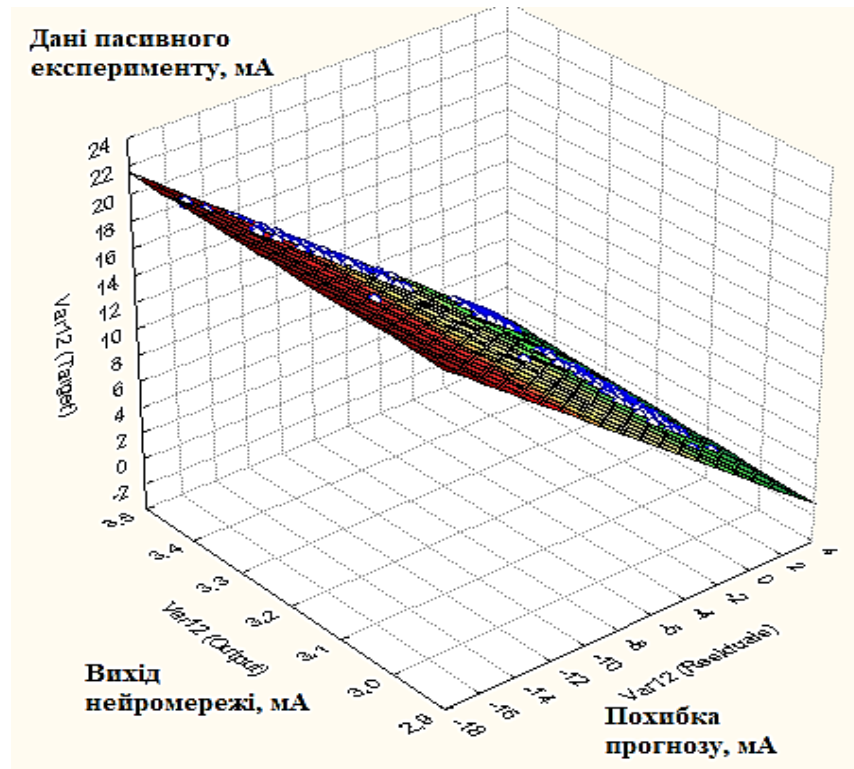


Рис. 5. Оцінка розподілення значень струму витоку для електродвигуна потужністю 3 кВт та ефективності прогнозування нейронної мережі на основі теорії часових рядів

Система захисту на основі прогнозування величини струму витоку електродвигуна включає в себе засоби вимірювання величини струму витоку та під час своєї роботи створює базу даних. У базу даних записують ся інформація про величини параметри функціонування електродвигунів та величину зпрогнозованого струму нейромережею. Завдяки цьому нейромережева модель має можливість донавчання в процесі функціонування. Донавчання нейромережі здійснюється шляхом змінюванням значень вагових коефіцієнтів. Ключове рішення в такій системі приймає людина.

Висновки і перспективи. Отже, в цьому дослідженні доведена технологічна прийнятність застосування синтезованої нейронної мережі на основі теорії часових рядів. Підтверджена можливість використання такої системи для захисту від небезпечних струмів витоку. Найкраще на навчальній та тестовій вибірках даних спрацювала синтезована нейронна мережа MLP 1-5-1 (середньоквадратична похибка навчання 2,6 %, середньоквадратична похибка тестування – 2,4 %).

Список використаних джерел

1. Gerasymenko V., Kozyrskyi V., Maiborodina N., Kovalov O. Mathematical Model Changing the Value of the Process of Leakage Current in 0.38 kV Networks. Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 339 – 348. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_38
2. Герасименко В. П. Інтелектуальна система контролю та прогнозування величини струму витoku електрообладнання установок для теплової обробки і сушіння зернової маси. Енергетика і автоматика. 2020. №6. С. 109 – 117. DOI 10.31548/energiya2020.06.109
3. Лисенко В. П., Заєць Н. А., Штепа В. М., Дудник А. О. Нейромережеве прогнозування часових рядів температури навколишнього природного середовища. Біоресурси і природокористування. К.:НААН, 2011. №3 – 4. С. 102 – 108.
4. Zagirnyak M., Prus V., Somka O. Reliability Models of Electric Machines with Structural Defects Proceedings 2015 16th International Conference on “Computational Problems of Electrical Engineering” CPEE 2015. Lviv, 2015. P. 249 – 251.
5. Кондратенко І. П., Заєць Н. А., Штепа В. М. Наукові основи керування електротехнічними комплексами неперервних виробництв із прогнозуванням нештатних ситуацій: монографія. Київ: Прінтеко, 2020. 256 с.
6. Герасименко В. П. Апаратно-програмна реалізація інтелектуальної комп'ютерно-інтегрованої системи контролю та прогнозування величини струму витoku електрообладнання тваринницького приміщення. Енергетика і автоматика. 2020. №2. С. 77 – 85. DOI 10.31548/energiya2020.02.077
7. Feinberg E. A., Dora Genethlio. Load Forecasting. Chapter 12. P. 269 – 285.
8. Лисенко В. П., Решетюк В. М., Штепа В. М., Заєць Н. А. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм. К., 2014. 336 с.

References

1. Gerasymenko, V., Kozyrskyi, V., Maiborodina, N., Kovalov, O. (2019). Mathematical Model Changing the Value of the Process of Leakage Current in 0.38 kV Networks. Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations. Cham: Springer International Publishing, 339 – 348.
2. Gerasymenko, V. P. (2020). Aparatno-prohramna realizatsiia intelektualnoi komp'uterno-intehrovanoi systemy kontroliu ta prohnozuvannia velychyny strumu vytoku elektroobladnannia tvarynnytskoho prymishchennia. [Hardware and software implementation of intelligent computer-integrated control system and prediction of leakage current of electrical equipment of livestock premises]. Enerhetyka i avtomatyka, 2, 77 – 85.
3. Lysenko, V. P., Zayets, N. A. Shtepa, V. M., Dudnyk, A. O. (2011). Neiromerezheve prognozuvannia chasovih riadiv temperaturi navkolishniogo prirodnogo seredovishcha [Neural network forecasting of time series of external temperature], Bioresursy i pryrodokorystuvannia, №3 – 4, 102 – 108.
4. Gerasymenko, V. P. (2020). Intelektualna systema kontroliu ta prohnozuvannia velychyny strumu vytoku elektroobladnannia ustanovok dlia teplovoi obrobky i sushinnia zernovoi masy [Intelligent control system and prediction of the amount of leakage current

of electrical equipment for heat treatment and drying of grain mass]. Enerhetyka i avtomatyka, 6, 109 – 117.

5. Zagirnyak, M., Prus, V., Somka, O. (2015). Reliability Models of Electric Machines with Structural Defects Proceedigs 2015 16th International Conference on "Computational Problems of Electrical Engineering" CPEE – 2015. Lviv, 249-251.

6. Kondratenko, I. P., Zaiets, N. A., Shtepa, V. M. (2020). Naukovi osnovy keruvannia elektrotekhnichnyimi kompleksami neperervnykh vyrobnytstv iz prohnorozuvanniam neshtatnykh sytuatsii: monohrafiya [Scientific bases of management of electrotechnical complexes of continuous productions with forecasting of abnormal situations: monograph]. Kyiv: Printeko, 256.

7. Feinberg E. A and Dora Genethlio. Load Forecasting. Chapter 12, 269 – 285.

8. Lysenko. V. P., Reshetiuk, V. M., Shtepa, V. M., Zaiets, N. A. (2014). Systemy shtuchnoho intelektu: nechitka lohika, neironni merezhi, nechitki neironni merezhi, henetychnyi alhorytm [Artificial intelligence systems: fuzzy logic, neural networks, fuzzy neural networks, genetic algorithm]. Kyiv, 336.

NEURAL NETWORK PREDICTION OF LEAKAGE CURRENT BASED ON THE THEORY OF TIME SERIES FORECASTING

V. Gerasymenko, V. Vasylenko, N. Maiborodina, O. Kovalov

Abstract. *Among the modern electrotechnical means of monitoring the state insulation electric motors are devices for monitoring the magnitude the leakage current, which reflects the current state insulation electric motor. The use of more sophisticated devices that not only fix the dangerous value the leakage current by turning off the electric motor, but also predict the possibility of reaching a dangerous value the leakage current make it possible to inform the service personnel about the possible danger, reduce the time for simple equipment during the technological process due to the possibility of early maintenance, replacement or repair of electric motors during a technological pause, even before they fail. Neural networks, used for predicting the reliability electric motors, are mainly performed as mathematical models of parallel calculations, which have in their composition simple processing elements that interact with each other and are called artificial neurons. Non-linearity of neural networks allows establishing non-linear dependencies between future and actual values of processes. Other important advantages are scalability - the parallel structure of artificial neural networks accelerates calculations, which is extremely relevant on an industrial scale, when it is necessary to process terabytes of data.*

The neural network created on the basis the theory of time series forecasting is a technological suitability test for predicting the leakage current of an electric motor. The synthesized neural network can be the basis for creating a system for predicting the leakage currents of electric motors based on the theory of time series forecasting. The forecasting system includes a neural network based on the theory of time series, means of measuring the leakage current of electric motors and a database. The key decision for the developed system is made by a person.

Key words: *leakage current, theory of time series forecasting, neural network*