

Всеукраїнська науково-практична конференція
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в
аграрному секторі в період воєнного часу»

Список використаних джерел:

1. Машиновикористання в землеробстві / В.Ю. Ільченко, Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос та ін.; За ред. В.Ю. Ільченка і Ю.П. Нагірного. – К.: Урожай, 1996. – 384 с.
2. Панов І.М. Сучасний стан і шляхи розвитку техніки для нових технологій вирощування с.г. культур / І.М. Панов // серія «трактори і с.г. машини», 2000, №5.
3. Шалагін В.В. Комплексне підвищення ефективності МТА з енергонасиченими тракторами / В.Н. Шалагін // Трактори і сільськогосподарські машини, 2003, №5.
4. Юдкін В.В. Оптимізація швидкості руху і ширини захоплення землеобробних агрегатів / В.В. Юдкін // Механізація і електрифікація сільського господарства, 2005, №4.
5. Надикто В.Т. Обґрунтування деяких конструктивних параметрів транспортного МТА на основі модульного енергетичного засобу (МЕЗ) / В.Т. Надикто, С.В. Кислицин // Вдосконалення тягово-енергетичних засобів сільськогосподарського призначення: Зб. наукових праць МПСП. – К., 2010.
6. Прокладання технологічного шляху при боронуванні зернових / В.Д. Черепухін, В.Т. Надикто, С.М. Чеботарьов та ін. // Техніка в сільському господарстві, 2000, №2.

© Волянський М.С., Козаченко Н.В., Шкода І.С. 2023

УДК 621.31:004.89

**РОЗРОБКА КРИТЕРІЮ ВИБОРУ СИНТЕЗОВАНИХ
НЕЙРОМЕРЕЖ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ
ЗНАЧЕНЬ СТРУМУ ВИТОКУ**

Герасименко В. П., к. т. н., доцент

Василенко В. В., д. т. н., професор

*Майбородіна Н. В., к. фізико-математичних н., доцент
ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут",
м. Ніжин E-mail: syavagvr@gmail.com*

Всеукраїнська науково-практична конференція
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в
аграрному секторі в період воєнного часу»

Анотація. Засоби вимірювання та контролю струму витоку продемонстрували свою ефективність як технічний метод для моніторингу стану ізоляції електродвигуна. Використання пристроїв, які не лише реєструють, але й передбачають можливість досягнення небезпечних значень струму витоку, надає можливість своєчасно інформувати обслуговуючий персонал про потенційну небезпеку. Це, в свою чергу, дозволяє зменшити час простою електрообладнання і використати технологічну перерву для обслуговування, ремонту або заміни електродвигунів, не чекаючи їхньої повної відмови.

На основі зібраних експериментальних даних були розроблені нейронні мережі, як за участю технологічних параметрів, так і врахуванням теорії часових рядів. В порівнянні робочих характеристик обох типів нейромереж виявлено, що перший тип ефективніше працює при різких викидах прогнозованого струму витоку, в той час як другий більш точно моделює значення прогнозованої величини, особливо поблизу середніх її показників.

Необхідність визначення критерію вибору, який визначатиме найефективнішу з синтезованих нейромереж у конкретний момент часу, впливає з особливостей прогнозування цих нейронних мереж.

Ключові слова: *струм витоку, технологічні параметри, теорія часових рядів, нейронна мережа, критерій вибору.*

Актуальність. Сучасні методи моніторингу стану електродвигунів використовують величину струму витоку як ключовий показник для оцінки ізоляції електродвигуна [1, 2]. Оскільки прогнозування значень струму витоку може здійснюватися різними типами нейронних мереж, і вхідні параметри для прогнозування можуть бути різними, то для покращення точності прогнозу слід розглядати можливість поєднання традиційного підходу до синтезу нейронних мереж з використанням математичних інструментів теорії часових рядів.

Нейронні мережі представляють собою паралельні системи, які можуть навчатися через аналіз позитивних та негативних взаємодій. В основному, активаційні функції всіх нейронів у нейронній мережі фіксовані, а ваги виступають параметрами мережі і можуть змінюватися. У порівнянні з класичними методами аналізу, нейронні мережі мають свої переваги [3].

Мета дослідження – аналіз функціональних характеристик синтезованих нейронних мереж, заснованих на технологічних параметрах і часових рядах, що виконується для створення критерію вибору найточнішого прогнозу.

Всеукраїнська науково-практична конференція
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в
аграрному секторі в період воєнного часу »

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В наукових дослідженнях доведено можливість використання нейронних мереж для прогнозування, де в якості традиційної структури використовується багат шаровий персептрон [4-7].

Для синтезу та аналізу таких нейронних мереж ми вирішили використовувати програмний пакет Statistica Neural Networks. Оптимальний критерій для нас - це мінімізація похибки нейронної мережі. У процесі ефективного моделювання в Statistica Neural Networks вхідні дані автоматично розбиваються на три блоки: навчальний, контрольний та тестовий. Хоча наявність трьох блоків не є обов'язковою, тестовий блок поліпшує якість подальшої роботи, надаючи можливість впевнитись, що не відбулося "перенавчання" (overfitting) мережі.

На рисунку 1 наведено алгоритм створення нейронної мережі для прогнозування струму витоку електродвигуна.



Рис. 1. Алгоритм створення нейронної мережі для прогнозування струму витоку електродвигуна

Всеукраїнська науково-практична конференція
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в
аграрному секторі в період воєнного часу»

Матеріали та методи дослідження.

Проведемо синтез нейромереж на основі технологічних параметрів та на основі теорії часових рядів.

Нейромережеве прогнозування струму витоку на основі технологічних параметрів (НМТП) [8]. Репрезентативність навчальної вибірки для нейронної мережі гарантується за допомогою 4200 вимірів вхідних даних. За допомогою алгоритму, наведеного на рис. 1, створено модель прогнозування для електродвигунів потужністю 4 кВт в програмному пакеті Statistica Neural Networks. Оптимальним вибором виявилася мережа MLP 5-8-1, яка демонструє найвищий рівень продуктивності на всіх вибірках, досягаючи близько 96% (рис. 2).

Параметри роботи електродвигунів та функціонування нейронної мережі реєструються в базі даних, що відкриває можливості для додаткового навчання нейромережевої моделі та прогнозування у процесі експлуатації, з урахуванням змін вагових коефіцієнтів системи в залежності від точності прогнозу струму витоку. Система прогнозування включає в себе інструменти для вимірювання технологічних параметрів, функціональних характеристик електродвигуна і базу даних.

Итоги моделей (прогнозСВ)											
N	Архитектура	Производительность обуч.	Контр. производительность.	Тест. производительность.	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Тестовая ошибка	Алгоритм обучения	Функция ошибки	Ф-я актив. скрытых нейр.	Ф-я актив. выходных нейр.
1	MLP 5-3-1	0,895205	0,845081	0,880086	0,113321	0,114477	0,105905	BFGS 22	Сум. квадр.	Логистическая	Экспонента
2	MLP 5-6-1	0,897317	0,857186	0,873854	0,103574	0,177586	0,132336	BFGS 30	Сум. квадр.	Гиперболическая	Экспонента
3	MLP 5-3-1	0,880803	0,829294	0,872409	0,183785	0,162125	0,138982	BFGS 53	Сум. квадр.	Экспонента	Гиперболическая
4	MLP 5-3-1	0,891220	0,843740	0,880721	0,132886	0,122093	0,102520	BFGS 20	Сум. квадр.	Логистическая	Логистическая
5	MLP 5-8-1	0,954240	0,944940	0,942398	0,071332	0,095830	0,094271	BFGS 86	Сум. квадр.	Гиперболическая	Гиперболическая

Рис. 2. Результати створення моделей прогнозування в програмному пакеті Statistica Neural Networks

Прогнозування струму витоку за допомогою нейромережі на основі теорії часових рядів (НМЧР) [9]. Використовуючи теорію часових рядів та програмний пакет "Statistica" для обробки даних електродвигуна потужністю 4 кВт, спочатку створено комплекс нейронних мереж.

Найкращу ефективність на навчальних та тестових наборах даних проявила багатошарова нейронна мережа з чотирма нейронами у прихованому шарі, і саме ця модель взята за основну для подальших досліджень. Згідно

алгоритму зворотного розповсюдження помилок, отримані оптимізовані вагові коефіцієнти нейронної мережі на основі теорії часових рядів для електродвигуна потужністю 4 кВт представлені на рис. 3.

Weight ID	Network weights (Струм витоку)	
	Connections 1.MLP 1-4-1	Weight values 1.MLP 1-4-1
1	input bias --> hidden neuron 1	0,076243
2	input bias --> hidden neuron 2	0,112308
3	input bias --> hidden neuron 3	0,036109
4	input bias --> hidden neuron 4	-0,087147
5	hidden neuron 1 --> Var6	0,064662
6	hidden neuron 2 --> Var6	-0,033235
7	hidden neuron 3 --> Var6	-0,004441
8	hidden neuron 4 --> Var6	0,080285
9	hidden bias --> Var6	0,045030

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

Порівняльний аналіз характеристик НМТП та НМЧР вказує на такі аспекти:

- Перший вид нейромереж виявляється більш ефективним при різких викидах прогнозованого струму витоку.
- Другий вид нейромереж точніше моделює значення прогнозованої величини, особливо близько до усереднених показників.

Відомо, що для точного прогнозування необхідно вирішувати питання вибору найбільш ймовірного прогнозу за конкретними показниками. Обов'язковою умовою є наявність спектра прогнозних оцінок для одного і того ж показника, отриманих різними моделями. Для вибору оптимальної моделі, яка найточніше описує динаміку прогнозованого показника, використаємо наступний критерій:

$$(|\text{Похибка}_{\text{НМТП}}| - |\text{Похибка}_{\text{НМЧР}}|) = \text{Критерій}_{\text{вибору}}, \quad (1)$$

У випадку, коли критерій (1) виявляється позитивним, рекомендується використовувати нейромережі, засновані на теорії часових рядів (НМЧР), а у випадку негативного значення цього критерію - віддавати перевагу нейромережам на основі технологічних параметрів (НМТП).

Всеукраїнська науково-практична конференція
«Шляхи вирішення проблем механізації, енергоефективності та логістики в
аграрному секторі в період воєнного часу»

Висновки. Обґрунтовано застосування синтезованих нейронних мереж, які продемонстрували прийнятну ефективність в передбаченні струму витoku в електрообладнанні тваринницьких приміщень. Аналіз характеристик цих синтезованих прогнозних нейронних мереж свідчить, що нейромережі на основі технологічних параметрів проявляють більшу ефективність при різких викидах прогнозованого струму витoku, тоді як нейромережі на основі теорії часових рядів точніше моделюють значення прогнозованого параметра навколо його середніх показників. Запропоновано критерій для вибору найбільш ефективної нейромережі в конкретний момент часу.

Список використаних джерел

1. Gerasymenko V., Kozyrskiy 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. DOI:10.1007/978-3-030-14918-5_35
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., 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.
4. Zagirnyak M., Prus V., Somka O. Reliability Models of Electric Machines with Structural Defects Proceedigs 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. 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.
7. Zaiets N., Kondratenko I. Development of an Intelligent System for Predicting the Reliability of Electric Motors. IEEE 39th International Conference on

Electronics and Nanotechnology (ELNANO). April 16 - 18, 2019, Kyiv. pp. 614 - 619.

8. Герасименко В. П., Василенко В. В., Майбородіна Н. В., Ковальов О. В. Нейромережеве прогнозування струму витоку на основі технологічних параметрів. Енергетика і автоматика. 2022. №3. С. 109 – 118. DOI:[10.31548/energiya2022.03.109](https://doi.org/10.31548/energiya2022.03.109)

9. Герасименко В. П., Василенко В. В., Майбородіна Н. В., Ковальов О. В. Нейромережеве прогнозування струму витоку на основі теорії часових рядів. Енергетика і автоматика. 2022. №4. С. 86 – 93. DOI:[10.31548/energiya2022.04.086](https://doi.org/10.31548/energiya2022.04.086)

DEVELOPMENT OF SELECTION CRITERIA FOR SYNTHESIZED NEURAL NETWORKS TO IMPROVE THE ACCURACY OF LEAKAGE CURRENT VALUES PREDICTION

V. Gerasymenko, V. Vasylenko, N. Maiborodina

Abstract. Means of measurement and control of leakage current have demonstrated their effectiveness as a technical method for monitoring the condition of the insulation of an electric motor. The use of devices that not only register, but also predict the possibility of reaching dangerous values of the leakage current, provides an opportunity to timely inform the service personnel about the potential danger. This, in turn, allows you to reduce the downtime of electrical equipment and use a technological break for maintenance, repair or replacement of electric motors, without waiting for their complete failure.

Based on the collected experimental data, neural networks were developed, both with the participation of technological parameters and taking into account the theory of time series. Comparing the operating characteristics of both types of neural networks, it was found that the first type works more efficiently with sharp emissions of the predicted leakage current, while the second more accurately models the value of the predicted value, especially near its average values.

The need to define a selection criterion that will determine the most effective of the synthesized neural networks at a specific moment in time arises from the prediction features of these neural networks.

Key words: leakage current, technological parameters, theory of time series, neural network, selection criterion.