

*Герасименко В.П., к.т.н.,  
ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут"  
Майбородіна Н.В., к.ф.-м.н., доцент,  
ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут"*

## **ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗАХИСТУ ВІД СТРУМІВ ВИТОКУ**

Сучасний розвиток аграрної сфери України вимагає нового підходу до засобів захисту від струмів витоку. Не можливо уявити сучасного корівника, в якому не використовується захисту від такого небезпечного явища, як струми витоку, бо загально відомо про їх негативний вплив, як на організм та продуктивність корів так і на організм обслуговуючого персоналу. Сучасні цифрові технології відкривають нові можливості, для прогнозування величини струму витоку. Нейронні мережі, що використовуються для прогнозування надійності електродвигунів, мають вигляд математичної моделі паралельних обчислень, яка складається з простих процесорних елементів, що взаємодіють між собою і мають назву штучні нейрони. Синтезована нейронна мережа за технологічними параметрами має бути основою для побудови системи прогнозування струму витоку електродвигуна за технологічними параметрами. Система прогнозування на основі нейронної мережі за технологічними параметрами повинна включати в себе засоби вимірювання технологічних параметрів, параметрів функціонування електродвигуна та базу даних. Оператор даної системи буде приймати ключове рішення.

Відомі наукові праці, в яких пропонується використання нейронних мереж для прогнозування стану електродвигуна [1 - 5].

Нейронні мережі, що використовуються для прогнозування надійності електродвигунів, мають вигляд математичної моделі паралельних обчислень, яка складається з простих процесорних елементів, що взаємодіють між собою і мають назву штучні нейрони. Вони є розпаралеленими системами, здатними до навчання шляхом аналізу позитивних та негативних дій. В основному активаційні функції всіх нейронів у нейронній мережі фіксовані, а ваги є параметрами нейронної мережі і можуть змінюватися. У порівнянні з класичними методами аналізу ці нейронні мережі мають певні переваги [6].

В даній роботі досліджено синтез нейронної мережі на основі вибраних технологічних параметрів і проведено її перевірка на технологічну прийнятність для прогнозування струму витоку електродвигунів. Матеріали даної роботи допоможуть в подальших наукових дослідженнях з даної тематики.

Проведений статистичний аналіз результатів пасивного експерименту, що хоча вплив деяких факторів незначний, проте в сукупності зі зміною інших параметрів він підсилюється, тому при побудові моделі прогнозування доцільно враховувати всі отримані дані пасивного експерименту. Попередній статичний аналіз показав нелінійний взаємозв'язок між параметрами. Тому для прогнозування значення струму витoku електродвигунів вирішено використовувати нейронні мережі.

Для вирішення даної задачі прогнозування вирішено застувати традиційну структуру нейронної мережі – багат шаровий перцептрон. Для синтезу та дослідження відповідних нейронних мереж використовуємо програмний пакет Statistica Neural Networks. На рис. 1 представлено алгоритм створення нейронної мережі для прогнозування струму витoku електродвигуна. Для ефективного моделювання (рис.2) у пакеті Statistica Neural Networks вхідні дані автоматично розбиваються на три блоки: навчальні, контрольні, тестові. Тестовий блок дає шанс впевнитись, що не відбулося “перенавчання” (overfitting) мережі.



Рис. 1 – Алгоритм створення нейронної мережі для прогнозування струму витoku електродвигуна

Выборки	Описательные статистики (прогнозСВ)					
	Температура у приміщенні Вхід	Вологість у приміщенні Вхід	Концентрація аміаку у приміщенні Вхід	Напруга живлення(4кВт) В Вхід	Споживаний струм (4кВт), А Вхід	Струм витоку (4кВт), мА Целевая
Минимум (Обучающая)	4,00000	40,10000	0,004000	165,0000	7,50000	2,70000
Максимум (Обучающая)	15,00000	88,60000	0,025000	380,0000	70,70000	20,30000
Среднее (Обучающая)	9,70122	61,25259	0,015591	368,7167	11,05895	4,39520
Стандартное отклонение (Обучающая)	2,90268	8,28042	0,004122	12,9097	7,30943	2,27351
Минимум (Контрольная)	4,00000	40,40000	0,004000	258,0000	7,50000	2,70000
Максимум (Контрольная)	15,00000	87,20000	0,025000	380,0000	67,80000	19,40000
Среднее (Контрольная)	9,48762	60,87000	0,015856	369,0968	10,62127	4,29095
Стандартное отклонение (Контрольная)	2,91482	8,03041	0,004120	10,8871	5,77607	1,89753
Минимум (Тестовая)	4,00000	40,20000	0,006000	266,0000	7,50000	2,70000
Максимум (Тестовая)	15,00000	86,40000	0,024000	380,0000	69,80000	20,00000
Среднее (Тестовая)	9,68333	61,65683	0,015510	368,4270	10,89841	4,44841
Стандартное отклонение (Тестовая)	2,87662	8,40277	0,004182	9,6643	6,64516	2,28519
Минимум (Пропущенные)						
Максимум (Пропущенные)						
Среднее (Пропущенные)						
Стд (Пропущенные)						
Минимум (Общий)	4,00000	40,10000	0,004000	165,0000	7,50000	2,70000
Максимум (Общий)	15,00000	88,60000	0,025000	380,0000	70,70000	20,30000
Среднее (Общее)	9,66650	61,25583	0,015618	368,7302	10,96921	4,38755
Стандартное отклонение (Общее)	2,90161	8,26627	0,004107	12,5548	7,02697	2,22726

**Рис. 2 – Статистичний аналіз результатів пасивного експерименту в програмному пакеті Statistica Neural Networks**

На всіх етапах під час прогнозування велика увага приділяється глибині прогнозу. Репрезентативність навчальної вибірки для нейронної мережі забезпечується набором вхідних даних у кількості 4200 вимірів. На рис. 3 наведено фрагмент результатів прогнозу струму витоку в програмному пакеті Statistica Neural Networks. На рис. 4 наведено статистику передбачених значень струму витоку в програмному пакеті Statistica Neural Networks.

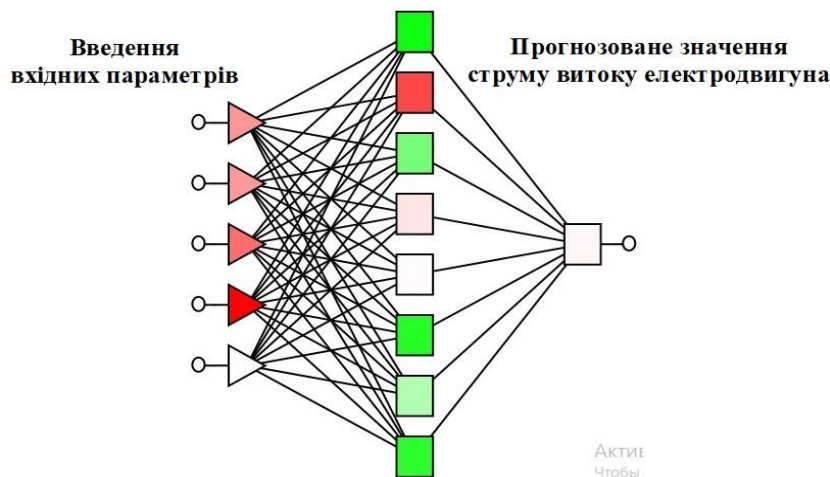
Наблюд. номер #	Выборки: Обучающая, Тестовая, Тестовая						
	Выборка	Струм витоку (4кВт), мА Целевая	Струм витоку (4кВт), мА - Выход 1. MLP 5-3-1	Струм витоку (4кВт), мА - Выход 2. MLP 5-6-1	Струм витоку (4кВт), мА - Выход 3. MLP 5-3-1	Струм витоку (4кВт), мА - Выход 4. MLP 5-3-1	Струм витоку (4кВт), мА - Выход 5. MLP 5-8-1
1	Тестовая	3,30000	4,00100	4,02306	3,77656	4,03341	3,94408
2	Обучающая	4,40000	3,99565	4,02306	4,21618	3,99881	4,05441
3	Обучающая	4,60000	3,99512	4,02306	3,94703	3,82980	3,98563
4	Обучающая	5,30000	3,99657	4,02306	4,08063	3,99107	5,01750
5	Обучающая	2,80000	3,99497	4,02306	4,21736	3,90740	3,03447
6	Обучающая	3,50000	3,99608	4,02306	3,92319	3,90505	3,94119
7	Тестовая	3,60000	3,99506	4,02306	4,56538	3,91059	3,62776
8	Тестовая	2,90000	3,99493	4,02306	3,57804	3,86644	2,89885
9	Тестовая	3,30000	3,99885	4,02306	3,86887	3,96001	3,87882
10	Обучающая	5,00000	3,99679	4,02306	3,99135	4,01594	4,99784
11	1	3,30000	3,99490	4,02306	4,40195	3,92219	3,66716
12	Тестовая	4,80000	3,99542	4,02306	3,69443	3,91425	4,49255
13	Обучающая	5,20000	3,99533	4,02306	4,24824	3,94470	4,45781
14	Обучающая	4,40000	3,99750	4,02306	4,23706	3,99973	4,05585
15	Обучающая	3,20000	3,99517	4,02306	3,91577	3,87016	3,97044
16	Обучающая	4,30000	3,99557	4,02306	4,06670	4,01187	4,01228
17	Обучающая	18,30000	15,22578	15,56132	14,95978	15,61173	18,41659
18	Обучающая	4,50000	4,00215	4,02306	4,04254	4,03255	4,42700
19	1	4,10000	3,99494	4,02306	3,52884	3,87301	3,84934
20	Тестовая	3,90000	3,99497	4,02306	4,18386	3,96399	4,02395
21	Обучающая	2,80000	3,99494	4,02306	4,24267	3,97389	3,04168
22	Обучающая	2,70000	3,99510	4,02306	4,17175	3,91701	3,00862

**Рис. 3 – Фрагмент результатів прогнозу струму витоку в програмному пакеті Statistica Neural Networks**

Статистики	Статистики предсказ. значений (прогнозСВ) Целевая: Струм витоку (4кВт), мА				
	1.MLP 5-3-1	2.MLP 5-6-1	3.MLP 5-3-1	4.MLP 5-3-1	5.MLP 5-8-1
<b>Минимум предсказ. знач. (Обучающая)</b>	<b>3,9949</b>	4,0229	3,2528	3,8128	3,2852
Максимум предсказ. знач. (Обучающая)	15,2258	15,5677	19,6488	15,6160	19,2900
Минимум предсказ. знач. (Контрольная)	3,9949	4,0230	3,3205	3,8192	3,3213
Максимум предсказ. знач. (Контрольная)	15,2258	15,5677	18,6749	15,6160	18,3677
Минимум предсказ. знач. (Тестовая)	3,9949	4,0229	3,1708	3,8190	3,3040
Maximum prediction (Тестовая)	15,2258	15,5677	18,9826	15,6160	17,5360
Минимум предсказ. знач. (Пропущенные)					
Максимум предсказ. знач. (Пропущенные)					
Минимум остатков (Обучающая)	-11,6258	-11,3952	-8,6959	-12,0160	-9,2653
Максимум остатков (Обучающая)	13,2333	13,3768	8,9579	12,3838	6,9371
Минимум остатков (Контрольная)	-3,7258	-7,4390	-3,9954	-5,5623	-4,1677
Максимум остатков (Контрольная)	11,0838	8,7020	12,3358	10,4772	13,2249
Минимум остатков (Тестовая)	-4,6860	-5,0675	-6,2832	-4,7494	-7,0360
Максимум остатков (Тестовая)	11,2994	11,5488	9,3564	10,5549	9,3391
Минимум стандар. остатков (Обучающая)	-16,2266	-16,0580	-11,3811	-16,4605	-13,4957
Максимум стандар. остатков (Обучающая)	18,4703	18,8504	11,7241	16,9644	10,1045
Минимум стандар. остатков (Контрольная)	-5,1944	-10,7643	-5,3290	-7,6981	-5,8028
Максимум стандар. остатков (Контрольная)	15,4528	12,5919	16,4532	14,5001	18,4137
Минимум стандар. остатков (Тестовая)	-6,0201	-6,3726	-7,8603	-6,1186	-9,1272
Максимум стандар. остатков (Тестовая)	14,5163	14,5233	11,7049	13,5978	12,1147

**Рис. 4 – Статистики передбачених значень струму витоку в програмному пакеті Statistica Neural Networks**

На рис. 5 наведено архітектуру нейромережі MLP 5-8-1 прогнозування струму витоку електродвигуна. Задавши 200 наборів дослідних даних, на яких мережа не навчалася, було отримано 94 % ефективності функціонування, що також доводить можливість її подальшого використання.



**Рис. 5 – Архітектура нейромережі MLP 5-8-1 прогнозування струму витоку електродвигуна**

Параметри функціонування електродвигунів та роботи нейронної мережі записуються в базу даних, що дає можливість донавчання нейромережевої моделі та прогнозування у процесі функціонування (змінюванням значень вагових коефіцієнтів) системи залежно від достовірності прогнозу струму витоку.



Завдяки розвитку сучасних цифрових технологій стало можливим розробити нейронну мережу, що працює на основі технологічних параметрів та є основною частиною системи прогнозування струму витoku електродвигуна за технологічними параметрами. Система прогнозування на основі нейронної мережі технологічних параметрів включає в себе: засоби вимірювання технологічних параметрів та параметрів функціонування електродвигуна і базу даних в яку ведеться запис всіх отриманих і спрогнозованих значень. Ключове рішення приймає оператор даної системи.

Прогрес сучасних цифрових технологій і їх застосування в агропромисловому комплексі України відбувається неперервно. Дане дослідження буде цікаво тим хто постійно слідкує за новітніми технологіями і намагається використовувати їх у своїй професійній діяльності.

### Список використаних джерел:

1. 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. DOI: [10.1109/CPEE.2015.7333389](https://doi.org/10.1109/CPEE.2015.7333389)
2. 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. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_38)
3. Герасименко В.П., Василенко В.В., Майбородіна Н.В., Ковальов О.В. Нейромережеве прогнозування струму витoku на основі технологічних параметрів. Енергетика і автоматика. 2022. №3. С. 109 – 118. DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2022.03.109>
5. 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](https://doi.org/10.31548/energiya2020.02.077)
4. 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., 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.