

УДК 062-533

<https://doi.org/10.31474/2074-2630-2020-1-48-54>

Д.О. ОСТРЕНКО (аспірант)

Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
dmytro.ostrenko@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ, ЯКА ПРАЦЮЄ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ З МЕТОЮ ЗАПОБІГАННЯ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ

Анотація. Аварійні режими в електричних мережах, що виникають по різних причинах, ведуть за собою перерви в передачі електричної енергії на шляху від об'єкту генерації до споживача. В більшості випадків такі перерви в часі є неприпустимими (ступінь залежить від класу споживача). Тому ефективним вирішенням цієї проблеми є як боротьба з наслідками, застосування аварійного вводу резерву, так і запобігання цим аварійним ситуаціям шляхом прогнозування подій в електричній мережі. Проаналізувавши джерело [1], було зроблено висновок, що є декілька методів виконання прогнозу аварійних ситуацій в електромережах. Це може бути: технічний аналіз, оперативна обробка даних (або online analytical processing), нелінійні регресійні методи. Проте найбільшого застосування для вирішення поставлених задач здобула саме нейронна мережа.

В даній роботі проведено аналіз існуючих нейронних мереж, які застосовують для прогнозування процесів в електричних системах, проведено аналіз алгоритму навчання та запропоновано новий спосіб використання нейронних мереж для прогнозування в електричних мережах.

Прогнозування відіграє ключову роль при формуванні балансу електроенергії в енергосистемі, впливаючи на вибір режимних параметрів і розрахункових електричних навантажень. Баланс генерації і споживання електроенергії — це основа технологічної стійкості енергетичної системи, його порушення позначається на якості електроенергії (відбувається стрибки частоти та напруги в мережі), що знижує ефективність роботи обладнання. Також, правильний прогноз дозволяє забезпечити оптимальний розподіл навантаження між об'єктами енергосистеми. Як показує дослід [2], для прогнозування споживання електроенергії та побудови профілів клієнтів використовуються різні методи, зазвичай засновані на аналізі часової динаміки споживання електроенергії і діючих на нього факторів, виявленні статистичного зв'язку між ознаками і на побудові моделей. До недавнього часу найпоширенішими методами прогнозування були однофакторні прогнози по тимчасових рядах, засновані на регресійних методах. Однак такі прогнози нездійсненні враховувати вплив на споживання електроенергії таких нерегулярних факторів, як погодні явища, коливання цін на паливо, поломки обладнання, тому на практиці слід застосовувати багатфакторне прогнозування, що дозволяє будувати прогноз з точністю, яка значно перевищує точність за тимчасовими рядами.

Ключові слова: прогнозування, електрична мережа, штучний інтелект, smart grid, алгоритм навчання, нейронна мережа, перцептрон, моделювання, matlab, енергоживлення, системи автоматизації.

Мета роботи — вибрати архітектуру та створити нейронну мережу (НМ), що мала б структуру контролю за станом передачі в «розумних» системах електроживлення, з метою забезпечення її стабільної роботи завдяки прогнозуванню порушень (виникнення аварійних та передаварійних ситуацій). Для дослідження нейронної мережі використовується програмний пакет Matlab.

Аналіз стану питання. В [3] встановлено, що при короткостроковому прогнозуванні споживання електроенергії значне збільшення довжини передісторії не приводить до підвищення точності прогнозу. Стосовно до конкретного об'єкта прогнозування необхідно вибирати найбільш підходящий тип і структуру нейронної мережі. Облік додаткових факторів, що впливають сприяє підвищенню точності прогнозування.

«Розумна» мережа заснована на п'яти основних технологічних можливостях, серед них, мережева аналітика, автоматизоване зчитування показань приладів обліку, віддалений моніторинг обладнання, управління мобільними робочими пристроями та IP SCADA[4].

Створення "розумної" мережі мають на увазі віддалений моніторинг обладнання. Це рішення може продовжити термін використання критично важливою мережевої інфраструктури і поліпшити обслуговування клієнтів завдяки попередженню збоїв. Це відбувається по ряду причин:

1) Дистанційні датчики здатні відстежувати, параметри навантаження в мережі, її потужності і попереджати операторів в тому випадку, якщо який-небудь компонент почне функціонувати поза оптимальних рамок. Існує можливість відстежувати, чи не виходять потоки енергії за оптимальні рамки, оператори можуть навантажувати компоненти більше, ніж раніше.

2) Датчики здатні відстежувати випадки, коли ділянки мережі починають давати збої; наприклад, коли ізоляція трансформатора починає руйнуватися (що найчастіше відбувається, через тривалу перегріву). На підставі отриманих даних від датчиків центр контролю може змінювати конфігурацію мережі для того, щоб знизити навантаження на обладнання, яке наражається на небезпеку.

Управління енергосистемою зводиться до безперервного контролю параметрів, що визначають режими, і цілеспрямованого впливу на окремі елементи системи за допомогою спеціальних методів і технічних засоби.

Прогнозування явищ в контрольованих об'єктах, моніторинг та своєчасне (передаварійне) виявлення потенційних ушкоджень об'єкта дозволяють сформувати попередження про наближення можливої аварії. Також до ознак, які оцінюються кількісно, іноді можна сформувати і евристичні, що використовують якісну інформацію від персоналу, який спостерігає за контрольованим об'єктом. Це служить основою попереджувальних функцій релейного захисту.

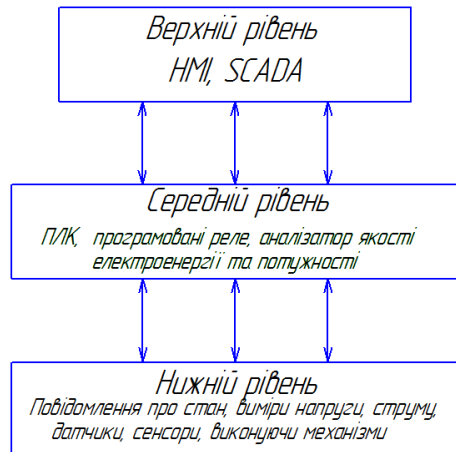


Рисунок 1 – Топологія системи автоматичного керування електричними мережами

На рисунку 1 представлена топологічна схема «розумної» мережі, можна зазначити що нейронна мережа в запропонованій схемі може знаходитися на середньому рівні або водночас на середньому та верхньому рівні. Таке поєднання можливе у випадку, коли ШНМ подана не просто у вигляді програмного коду, а у вигляді системи, яка може бути розроблена за допомогою засобів графічного програмування (наприклад, у програмному пакеті Matlab). Ця система вже буде мати певну систему візуалізацій, яка буде зрозуміла обслуговуючому персоналу, а не тільки у вигляді програмного коду.

Для того аби мати дані аварійних файлів, а разом і з цим потім мати можливість тренування нейронних мереж, необхідна алгоритм-схема (рисунок 2) для зчитування та аналізу даних і запису цих даних у внутрішню пам'ять.

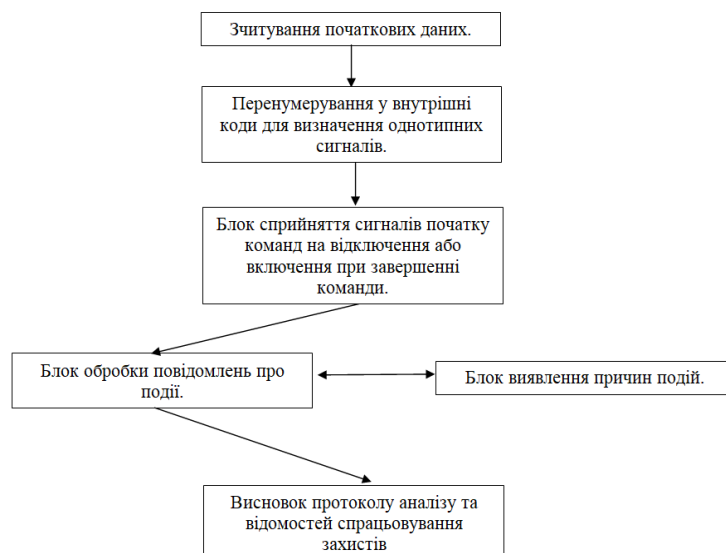


Рисунок 2 - Структурна схема програми аналізу ситуації.

Необхідно нагадати основний принцип, що закладений в роботу нейронної мережі. Кожна ШНМ складається з нейронів (елементарних процесорів), які отримують і передають сигнали. Всі процесори з'єднані в мережу зв'язками (синапсами), що мають певну вагу. Граничне значення вихідного сигналу нейрона використовується при обчисленні сигналу активації, рівного різниці між зваженою сумою вхідних значень (сигналів) і граничним значенням. У разі нульового порогу сигнал активації дорівнює зваженій сумі вхідних значень. Функція активації нейрона, або передавальна функція, перетворює сигнал активації для отримання на виході сигналу нейрона [5].

Вхідні дані перед подачею на входи нейронної мережі перетворюються до числового вигляду, мережа їх обробляє та на виході НМ видає числові дані, що за необхідністю можуть бути піддані зворотному перетворенню, наприклад в категоріальні дані або у вигляді смислового сигналу, що було розглянуто в [6].

Вибір потрібної нейронної мережі залежить від завдання, яке ставиться перед системою, а також від типу даних та їх обсягу. Є безліч класифікацій мереж (рисунок 3), але для вирішення типових для електричних мереж завдань найкраще застосовувати багатoshаровий персептрон (завдання прогнозування споживання енергії) і мережі Кохонена (завдання побудови клієнтського профілю споживання електроенергії), дані мережі були розглянуті в [7].

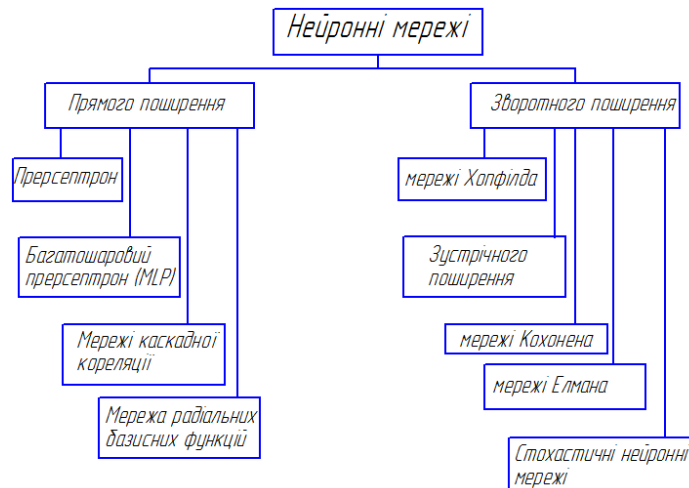


Рисунок 3 – Класифікація нейронних мереж

Для основних завдань, щодо забезпечення енергозбереження та енергоефективності з визначення оптимальних режимів навантаження електричних мереж першочергове значення має максимально точне прогнозування електроспоживання. У зв'язку з цим на даний момент розроблено велику кількість різних способів і технологій прогнозування споживання електричної енергії.

Однак така проблема створення універсальної методики прогнозування ще далека від остаточного рішення. Це пов'язано з деякими принциповими труднощами. Для планування і управління потрібні прогнози на різну перспективу: оперативний, короткостроковий, середньостроковий і довгостроковий. Також, для вирішення багатьох практичних завдань необхідні досить високі показники точності прогнозування. Найбільш часто для оцінки якості прогнозів використовуються такі показники, як середнє відхилення:

$$e_{св} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{n=1}^n \frac{|P_{np} - P_{ф}|}{P_{ф}} \cdot 100\%$$

і середнє квадратичне відхилення (СКО):

$$e_{скв} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{n=1}^n \frac{(P_{np} - P_{ф})^2}{P_{ф}^2} \cdot 100\%$$

де P_{np} , $P_{ф}$ - прогнозне та фактичне значення споживання електроенергії відповідно;

n - число окремих прогнозів (годинних, добових). Дані показники повинні знаходитися в межах 2-5%.

Також разом з такими середніми показниками, в деяких випадках потрібна висока точність в кожному поточному значенні прогнозів. Тому доцільно оцінювати точність прогнозування кількістю та відсотком попадання одержуваних прогнозів з похибками, що знаходяться в певних інтервалах:

$$\eta_i = \frac{n_i}{N} \cdot 100\%$$

де N – безліч одиничних (наприклад, годинних) прогнозів;

$n_i \in N$ – число прогнозів, похибка яких знаходиться в інтервалі, що визначається виразом.

$$\varepsilon_i = \frac{|P_{np} - P_{\phi}|}{P_{\phi}} \cdot 100\% \leq \Delta_i$$

Прогноз споживання електричної енергії залежить від багатьох факторів та умов. Споживачі електроенергії відрізняються як за масштабом, так і за характером, а від цього залежить набір факторів, що необхідно враховувати для забезпечення необхідної точності прогнозування. Для прогнозу споживання електроенергії в масштабі підприємства найбільш значущих чинників такі, як режим роботи підприємства, вид технологічних циклів. Складність проблеми породила безліч методів прогнозування, тому першочерговим завданням є вибір найбільш ефективного методу прогнозування. Найбільшого поширення набули такі методи:

- аналітичні та статистичні методи, до них належать метод авторегресії, метод сезонних кривих, факторний аналіз;

- еволюційний метод;
- методи, засновані на використанні фільтра;
- методи, засновані на використанні штучних нейронних мереж (ШНМ).

Застосування нейронних мереж потребують саме розумні електричні мережі. І тут варто порівняти роботу мережевих операторів традиційних та інтелектуальних енергосистем

Традиційні мережеві оператори реагують на зростання пікового навантаження, додаючи обладнання (лінії електропередачі, підстанції). При обмежених можливостях відстеження різких стрибків споживання електроенергії ці мережі повинні мати додаткові потужності для того, щоб впоратися з періодами пікового навантаження.

«Розумні» мережі пом'якшують зростання пікових навантажень за допомогою мережевих приладів обліку, які збирають тимчасові дані по споживання. Мережеві компанії можуть використовувати ці дані для впровадження почасових тарифів, стягуючи додаткову плату за споживання електроенергії в періоди пікових навантажень.

При інтелектуальному аналізі великих масивів інформації виникає необхідність багаторівневої обробки інформації, яка необхідна для отримання з аналізованих даних потрібних знань. Багаторівнева обробка інформації включає в себе:

- 1) передобробку даних, тобто їх фільтрацію;
- 2) перетворення передоброблених даних в знання нейронної мережі;
- 3) обробку інформації, отриману на виході нейронних мереж [8].

Слід виділити наступні типові завдання, що вирішуються за допомогою використання штучних нейронних мереж:

- Автоматизація процесу класифікації;
- Автоматизація процесу передбачення;
- Автоматизація прогнозування;
- Автоматизація процесу прийняття рішень;
- Управління процесом;
- Кодування і декодування інформації;
- Апроксимація залежностей.

Застосування того чи іншого методу прогнозування залежить, в свою чергу, від обсягу початкової інформації і від умов та видів прогнозів, які були розглянуті вище. Найбільш складною і актуальною задачею є погодинне прогнозування на добу вперед.

Однак відсутність незмінних до різних умов споживання електроенергії методів і засобів прогнозування є причиною витратних за часом і коштами робіт по постійній адаптації пропонованих інструментів прогнозування, а це в свою чергу веде до використання простих але неточних методів.

Дослідження показують [9], що найбільш перспективним для розробки універсальних засобів погодинного прогнозування на добу вперед є використання штучних нейронних мереж. Застосування штучних нейронних мереж також має певні труднощі у використанні, що пов'язані з труднощами процесу формалізації в них. Для того, щоб вирішити це питання необхідно застосовувати системний підхід, який полягає в наступних етапах: спершу розбити задачу на ряд підзадач, серед них визначення вхідних векторів, що необхідно брати до уваги для виконання прогнозу на основі штучних нейромереж. Однак основними критеріями відбору виступають досягнення точності і прогнозування при зменшенні розмірності вхідних векторів. У цих умовах закладені

протиріччя і тут необхідно вдатися до раціонального розподілу обсягу вибірок для навчання, тестування і контролю. На рисунку 4 показаний процес розподілу нейронів під різні завдання

Results			
	Samples	MSE	R
Training:	96	1.58291e-2	9.99909e-1
Validation:	21	9.94782e-1	9.93962e-1
Testing:	21	9.71106e-1	9.94836e-1

Рисунок 4 – Результати навчання нейронної мережі

Для навчання нейронних мереж застосовуються статистичні дані часового споживання електричної енергії за кілька місяців. Кількість даних споживання або виробництва електроенергії за один рік становить близько 10.000. Тому необхідне використання нейронних мереж складної структури з великою кількістю нейронів і синаптичних зв'язків, ваг, для того, щоб забезпечити необхідну універсальність прогнозування щодо генерації та споживання електроенергії. Завдання по визначенню розмірності вхідних векторів і найбільш значущих чинників для прогнозування вирішується з позиції максимальної універсальності. Для цього виключена операція масштабування змінних, серед вхідних змінних відсутні показники погоди та характеристики графіків навантаження. Відмова від таких змінних надає універсальність прогнозування щодо залежності від погодних умов, часових поясів. Дані фактори, звичайно, впливають на споживання електроенергії, але дуже посередньо [1].

Загальний вигляд алгоритму для тренування НМ, що включає в себе збір даних, розподіл на навчальні та тестові зразки, власне тренування, та перевірку отриманого результату за відхиленням від необхідного, зображено на рисунку 5.

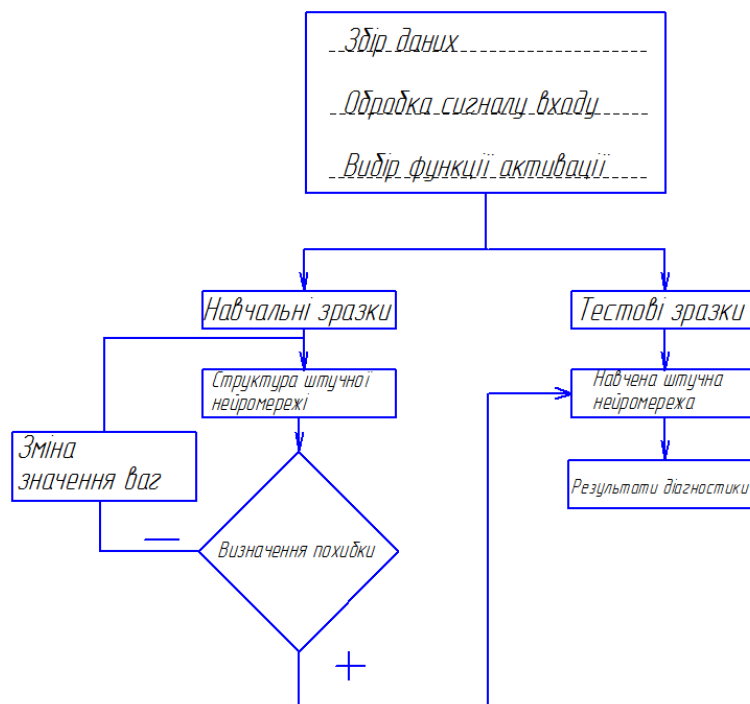


Рисунок 5 – Алгоритм для тренування нейронних мереж в системі

Моделювання роботи запропонованої ШНМ відбувалося в програмному пакеті Matlab (рисунок 6). За основу було взято модель «розумної мережі» напругою 1кВ.

За результатом роботи були отримані результати, що зображені на рисунку 7. Тут розглянуто 4 етапи моделювання: включення, замикання фази на землю, підключення навантаження, та вихід на встановлений режим або кінець перехідного процесу.

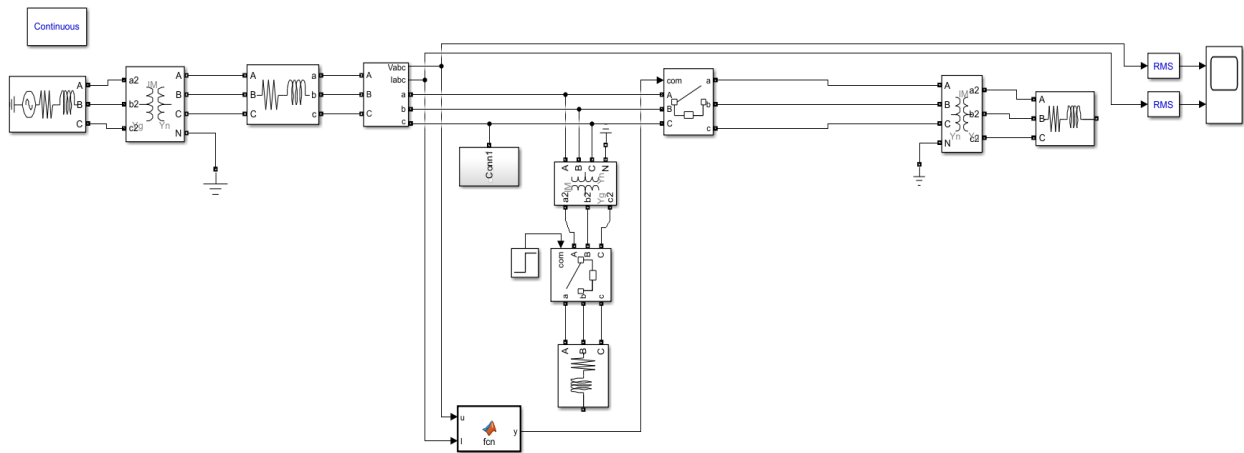


Рисунок 6 – Осцилограма зі Scope1

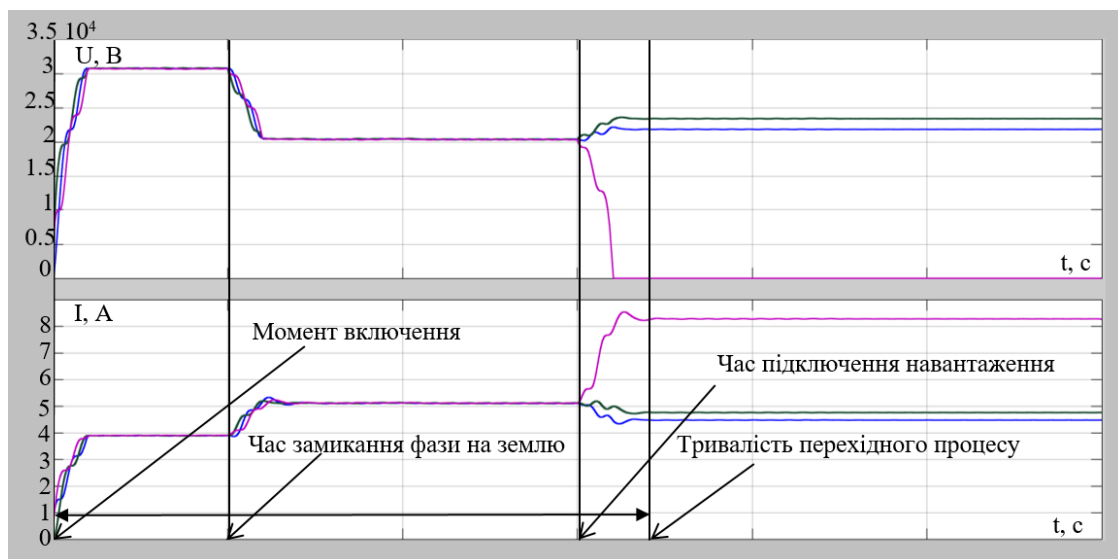


Рисунок 7 – Осцилограма зі Scope

Висновки: В дослідженні був виконаний аналіз штучних нейронних мереж, що використовують в енергосистемах з метою прогнозування в них аварійних та передаварійних випадків.

Попередньо було досліджено які пристрої використовують для виконання прогнозу, після того як стало зрозуміло, що найбільш розповсюдженим методом є використання штучних нейронних мереж, постала задача в встановленні найбільш оптимального типу для даного завдання.

Для виконання завдання по розпізнанню, було обрано архітектуру нейронної мережі, відбулося її навчання та перевірка результатів.

Дана нейронна мережа має здатність перенавчатися після додавання нових елементів в якості завдання, шляхом зміни вагових коефіцієнтів. Така особливість є необхідною для успішного інтегрування розробленої НМ при роботі з новими характеристиками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] D. V Lazarenko, "Usage of artificial neural networks in the energy sector," Kyiv, 2016.
- [2] Блінов І.В., Денисюк С.П., Жуйков В.Я., *Інтелектуальні електроенергетичні системи: елементи і режими*, Національна академія наук України Інститут електродинаміки. Київ, 2014.
- [3] A. S. Toropov and A. N. Tulikov, "Forecasting of regional power supply system power consumption per hour using artificial neural networks," *Proc. Irkutsk State Tech. Univ.*, vol. 21, no. 5, pp. 143–151, May 2017.
- [4] Е. М. Васильев and Р. А. Говоров, "Активная нейросетевая модель управления критическими объектами," 2015.
- [5] Остренко Д.О., Колларов О.Ю., "Вибір та розробка архітектури нейронної мережі задля пошуку значення максимальної механічної потужності вітроколеса," *Наукові праці Донецького національного технічного університету серія електротехніка і енергетика*, №1(18)-2(19), с. 63–67, 2018.

[6] Сивокобилєнко В.Ф. and Нікіфоров А.П., “Розробка узагальненої еквівалентної схеми морфологічного рівня розпізнавання перехідних процесів у розподільній електромережі Смарт-Грид. Частина 1. Синтез,” *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія Електротехніка і енергетика.*, vol. №1(19) – 2(20)’, с. 47–56, 2018.

[7] В. Л. Бакулєвський, “Застосування нейронних мереж для розрахунків технічних втрат електроенергії в повітряних лініях електропередач напругою 6-35 кВ,” *Вестник Приазовского государственного технического университета. Серія: Технические науки*, с. 152–160, 2015.

[8] А.С. Каменев, С.Ю. Королев, В.Н. Сокотущенко, *Нейромоделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей*. 2012.

[9] Б.А. Староверов, Б.А. Гнатюк, “Определение наиболее перспективных нейронных сетей и способов их обучения для прогнозирования электропотребления,” *Вестник ИГЭУ*, с. 1–7, 2015.

REFERENCES

- 1) D. V Lazarenko, “Usage of artificial neural networks in the energy sector,” Kyiv, 2016.
- 2) Blinov I, Denisyuk S, Zhuykov V, Intelligent power systems: elements and modes, National Academy of Sciences of Ukraine Institute of Electrodynamics. Kyiv, 2014.
- 3) A. S. Toropov and A. N. Tulikov, “Forecasting of regional power supply system power consumption per hour using artificial neural networks,” *Proc. Irkutsk State Tech. Univ.*, vol. 21, no. 5, pp. 143–151, May 2017.
- 4) E. Vasiliev and R. Govorov, “Active Neural Network Model for Critical Object Management,” 2015.
- 5) Ostrenko D., Kollarov O, “Selection and development of neural network architecture for finding the value of maximum mechanical power of a wind turbine,” *Scientific Works of Donetsk National Technical University Series Electrical and Power Engineering*, №1 (18) -2 (19), p. 63–67, 2018.
- 6) Sivokobilenko V and Nikiforov A, “Development of a generalized equivalent scheme of morphological level of transient recognition in the Smart-Grid grid. Part 1. Synthesis,” *Scientific Papers of Donetsk National Technical University. Series Electrical and Power Engineering.*, Vol. №1 (19) - 2 (20) ', p. 47–56, 2018.
- 7) V Bakulevsky, “Application of neural networks for calculations of technical power losses in air lines of 6-35 kV power transmission,” *Scientific Works of the Azov State Technical University. Series: Technical Sciences*, pp. 152-160, 2015.
- 8) A. Kamenev, S. Korolev, and V Sokotushchenko, *Neuromodeling as a Tool for Intellectualization of Energy Information Networks*. 2012.
- 9) B. Staroverov, B. Gnatyuk, “Determination of the most promising neural networks and their training methods for predicting power consumption,” *Scientific Works of IGEU*, pp. 1-7, 2015

Надійшла до редколегії 22.01.2020

Рецензент: д.т.н.Нікіфоров А.П

D. OSTRENKO

State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

Study of the operation of an artificial neural network that works in the electric network in order to prevent emergency conditions. Emergency modes in electrical networks, arising for various reasons, lead to a break in the transmission of electrical energy on the way from the generating facility to the consumer. In most cases, such time breaks are unacceptable (the degree depends on the class of the consumer). Therefore, an effective solution is to both deal with the consequences, use emergency input of the reserve, and prevent these emergency situations by predicting events in the electric network. After analyzing the source [1], it was concluded that there are several methods for performing the forecast of emergency situations in electric networks. It can be: technical analysis, operational data processing (or online analytical processing), nonlinear regression methods. However, it is neural networks that have received the greatest application for solving these tasks.

In this paper, we analyze existing neural networks used to predict processes in electrical systems, analyze the learning algorithm, and propose a new method for using neural networks to predict in electrical networks.

Prognostication in electrical engineering plays a key role in shaping the balance of electricity in the grid, influencing the choice of mode parameters and estimated electrical loads.

The balance of generation of electricity is the basis of technological stability of the energy system, its violation affects the quality of electricity (there are frequency and voltage jumps in the network), which reduces the efficiency of the equipment. Also, the correct forecast allows to ensure the optimal load distribution between the objects of the grid. According to the experience of [2], different methods are usually used for forecasting electricity consumption and building customer profiles, usually based on the analysis of the time dynamics of electricity consumption and its factors, the identification of statistical relationships between features and the construction of models.

Keywords: *prognostication, electrical network, artificial intellectual, smart grid, training algorithm, neural network, perceptron, modeling, matlab, energy power.*