

4. Zhang H. The Optimality of Naive Bayes. *Proceedings of the Seventeenth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*, 2004, pp. 562-567.
5. Izquierdo S., Izquierdo L.R. Mamdani Fuzzy Systems for Modelling and Simulation: A Critical Assessment. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2018, vol. 21, iss. 3, pp. 1-15. doi: 10.18564/jasss.3660

Рецензент: О.Є. П'ятикоп
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 15.10.2022

УДК 004.032.26:658.8:621.31

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276222

© Федосова І.В.¹, Котихова Л.Д.², Старовойт Д.В.³

ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ПРОДАЖУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОШАРОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Споживання енергії пов'язане з усіма видами господарської діяльності людини. Виробництво енергії істотно впливає на стан довкілля, тому якісне планування електроспоживання є пріоритетним питанням у стратегії розвитку будь-якої країни. Всі обов'язки з планування електроспоживання та купівлі електроенергії лягають на енергопостачальні компанії. Якісне планування електроспоживання призведе до зниження витрат енергопостачальних компаній, що матиме вплив на зниження витрат на створення кінцевої продукції для пересічного споживача. Дана стаття присвячена проблемі підвищення ефективності роботи енергопостачальних компаній для забезпечення потреб побутових споживачів. В роботі обґрунтовано необхідність планування поставок електроенергії в необхідному обсязі для забезпечення раціонального використання енергетичних і економічних ресурсів. Описано проблему виконання прогнозування людиною, коли результат залежить як від кваліфікації аналітика в предметній галузі, так і від його кваліфікації в методах аналізу. Наведено аргументацію щодо використання сучасних методів штучного інтелекту – нейронних мереж, які мають здатність до навчання на наборі даних та дозволяють виявити приховані взаємозв'язки і закономірності між даними. В статті приведено аналіз останніх досліджень та публікацій стосовно використання штучних нейронних мереж при прогнозуванні в енергетиці, який підтвердив доцільність використання обраного метода для визначеної проблеми. Описано процес використання багатошарової нейронної мережі для прогнозування обсягів продажу електроенергії споживачам. Наведено характер даних, що описують обсяги щомісячної погодинної купівлі електричної енергії для побутових споживачів, показано приклад часового ряду. Визначено особливості вхідних параметрів для нейронної мережі: місяць року, день тижня, тип дня (святковий чи робочий), середнє максимальне значення погодинної купівлі електричної енергії.

Ключові слова: прогнозування, нейронна мережа, обсяги купівлі електричної енергії.

I.V. Fedosova, L.D. Kotykhova, D.V. Starovoi. Forecasting volumes of electricity sales using a multilayer neural network. Energy consumption is related to all types of human economic activity. Energy production significantly affects the state of the environment;

¹ д-р пед. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-3923-8270, irivasilevna1964@gmail.com

² асистент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0009-0006-5008-622X, kotykhova_l_d@pstu.edu

³ магістр, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро

therefore, high quality planning of electricity consumption is a priority issue in the development strategy of any country. All responsibilities for planning electricity consumption and purchasing electricity fall on energy supply companies. High-quality planning of electricity consumption will lead to a reduction in the costs of energy supply companies, which will have an impact on reducing the costs of creating final products for the average consumer. This article is devoted to the problem of increasing the efficiency of energy supply companies to meet the needs of household consumers. The work substantiates the necessity of planning electricity supplies in the necessary volume to ensure the rational use of energy and economic resources. The problem of performing forecasting by a person is described, when the result depends both on the analyst's qualification in the subject field and on his qualification in analysis methods. Arguments are presented regarding the use of modern methods of artificial intelligence – neural networks, which have the ability to learn on a set of data and allow to reveal hidden relationships and regularities between data. The article provides an analysis of the latest research and publications on the use of artificial neural networks in energy forecasting, which confirmed the feasibility of using the chosen method for a given problem. The process of using a multilayer neural network for forecasting the volume of electricity sales to consumers is described. The nature of the data describing the volume of monthly hourly electricity purchases for household consumers is given, an example of a time series is shown. The peculiarities of the input parameters for the neural network are determined: month of the year, day of the week, type of day (holiday or working), the average maximum value of hourly electricity purchase.

Key words: forecasting, neural network, volumes of electricity purchases.

Постановка проблеми. Електроенергетика – це важлива галузь промисловості України, від успішного розвитку якої залежить в першу чергу енергобезпека країни, а також інтенсивність росту всіх галузей економіки держави. Електроенергетику можна розділити на 4 загальні сегмента: генерація, передача, розподіл і збут. Однією з особливостей електроенергії як товару є неможливість її зберігання та накопичення, тому її споживання відбувається одночасно з виробленням, що в свою чергу обумовлює особливості торгівлі таким видом товару. Для виробництва електроенергії генеруючих компаній необхідно підтримувати в постійній готовності потужності, а також мати запаси палива в кількості, необхідній для задоволення попиту на електроенергію в енергосистемі країни в даний конкретний момент часу.

У цій ситуації найраціональнішим рішенням слід вважати енергозбереження. Саме воно повинно стати пріоритетним у стратегії розвитку будь-якої країни, адже запаси традиційних джерел енергії обмежені. Такі фактори поставили перед Україною потребу у формуванні нової політики держави. Саме тому 18 серпня 2017 року Кабінет Міністрів України ухвалив документ – Енергетичну стратегію України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [1].

У зв'язку з цим, можна зробити висновок про те, що для забезпечення безперебійної роботи всього ланцюжка підприємств, починаючи з генерації та закінчуючи кінцевим споживачем, необхідне прогнозування всіх витрат, пов'язаних з роботою цих підприємств для гарантованої поставки електроенергії в необхідному обсязі. Якісне планування електроспоживання призведе до зниження витрат енергопостачальних компаній і кінцевою метою буде раціональне використання енергетичних і економічних ресурсів. Тому прогнозування обсягів продажу електроенергії споживачам є актуальною задачею.

Всі обов'язки з планування електроспоживання та купівлі електроенергії лягають на енергопостачальні компанії, а підприємство в свою чергу купує електроенергію за роздрібною ціною. Варто також врахувати, що клієнтами енергопостачальних компаній, як правило, є велика кількість таких підприємств, графіки електроспоживання яких абсолютно різні. Також є випадок з гарантуючими постачальниками, які зобов'язані надавати всі необхідні послуги з електропостачання в обов'язковому порядку особливій категорії споживачів – населення [2]. Варто також відзначити, що гарантуючий постачальник зобов'язаний бути учасником торгів.

З 1 липня 2019 року розпочав свою роботу новий ринок електричної енергії. Нова модель ринку ввела в професійну повсякденність нові поняття: оператори систем розподілу, постачальники універсальних послуг, трейдери, оператор ринку, тощо. Особливе місце в цьому процесі

посідає гарантований покупець. Саме завдяки роботі цього учасника ринку пересічні українці змогли отримати доступну електроенергію в своїх оселях, а держава забезпечує збільшення частки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел. Сьогодні державне підприємство «Гарантований покупець» – це новостворене підприємство, покликане опікуватися інтересами громадян та держави в процесі функціонування ринку електричної енергії. Підприємство створене Кабінетом Міністрів України 17 квітня 2019 року. Ця організація з професійним колективом однодумців, яка вносить посильний вклад в розбудову енергетичної системи України [3]. Саме це підприємство забезпечує інтереси населення.

Складна структура електроспоживання, що включає в себе підприємства з різними потужностями і графіками роботи, а також населення і привієняних до нього категорії споживачів, значно ускладнює прогнозування для енергопостачальних компаній і гарантуючих постачальників. Варто також окремо сказати про особливості споживання електроенергії населенням. Специфіка його така, що воно в значній мірі залежить від погодних умов, природного освітлення і статусу дня (робочий або вихідний день). Тому графіки електроспоживання мають значні відмінності в різні дні тижня, пори року, а також в значній мірі залежать від включення централізованого опалення в житлових будинках.

Також якісне планування електроспоживання призведе до зниження витрат енергопостачальних компаній, що в свою чергу дозволяє їй економити кошти і перенаправляти їх на розвиток компаній.

В цілому такий пристрій ринку електроенергії має своєю кінцевою метою раціональне використання енергетичних і економічних ресурсів. Внаслідок підвищення цін на енергоресурси в даний момент енергозбереження стає пріоритетним напрямком при зниженні витрат на створення кінцевої продукції.

Метою будь-якого прогнозування є створення моделі, яка дозволяє заглянути в майбутнє і оцінити тенденції в змінах того чи іншого фактору. Якість прогнозу в такому випадку залежить від наявності передісторії змінюваного чинника, похибок вимірювання даної величини і інших чинників. Часовий ряд представляє собою послідовність значень якої-небудь ознаки, упорядкованих в не випадкові моменти часу. При вирішенні задачі прогнозування необхідно ідентифікувати змінні, які будуть прогнозуватися, тимчасові параметри і ступінь точності прогнозу. Часто при вирішенні завдань прогнозування виникає необхідність передбачення не самою змінною, а змін її значень.

Зазвичай для прогнозування графіків електроспоживання використовують метод експертної оцінки, який залежить від досвіду і інтуїції експерта. В якості експерта в таких випадках виступає інженер-енергетик або провідний інженер підприємства. Популярність даного методу обумовлена простотою його реалізації і відсутністю необхідності розробляти або ж купувати дороге програмне забезпечення для прогнозування. Однак основним недоліком такого методу є висока залежність від суб'єктивної думки експерта-аналітика і неможливість якісного складання прогнозу при відсутності такого співробітника на робочому місці.

При вирішенні завдань прогнозування аналітику доводиться прийняти рішення щодо таких характеристик часового ряду як тренд, сезонна і циклічна компоненти. При вивченні кривої, що відбиває результати спостережень, аналітику важко робити припущення щодо повторюваності форми кривої через рівні проміжки часу. Кожний експерт може застосовувати свої методи. Загальним недоліком статистичних моделей є складність вибору типу моделі і підбору її параметрів. Все це істотно збільшує суб'єктивний внесок учасників процесу аналізу і прогнозування часових рядів. Таким чином, результат аналізу і прогнозування залежить як від кваліфікації аналітика в предметній галузі, так і від його кваліфікації в методах аналізу. Тому доцільне використання сучасних інтелектуальних методів, які б замінили людину. Сучасним апаратом штучного інтелекту є штучні нейронні мережі. Апарат нейронних мереж має на увазі мінімальну участь аналітика в формуванні моделі часового ряду, так як здатність нейромережевих моделей до навчання дозволяє виявити приховані взаємозв'язки і закономірності між даними, а алгоритми навчання адаптують вагові коефіцієнти відповідно до структури даних, представлених для навчання.

Мета дослідження: підвищення ефективності роботи енергопостачальних компаній на оптовому ринку електроенергії (потужності) в результаті розробки моделі прогнозування електроспоживання на основі штучних нейронних мереж. Для цього в статті проводиться дослідження

багатошарових нейронних мереж для прогнозування обсягів продажу електроенергії споживачам.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні успішність використання багатошарових нейронних мереж для вирішення задачі прогнозування в різних галузях вже доказана та підтверджена. Також є дослідження в галузі енергетики.

Стаття Карпа Д. М. присвячена прогнозуванню та виявленню аномальних показників споживання енергоресурсів. Для цього авторами використано нейронні мережі, запропоновано адаптивне та безперервне навчання нейромережі. Результати авторів показують, що швидкодія нейронних мереж перевищує алгоритми кластеризації [3].

У роботі Сагайда П.І., Мікаелян Е.В. [4] розглянуто питання розробки програмного комплексу для проведення прогнозування споживання електроенергії. Автори вирішили при прогнозуванні враховувати сезонні фактори та погодні умови, які можуть істотно впливати на прогноз споживання електроенергії в цілому. Авторами вирішено порівняти методи прогнозування – регресійний аналіз, використання моделі ARIMA та штучних нейронних мереж. Стаття присвячена більше проектуванню програмного забезпечення, але числових значень результатів порівняння не наведено.

Стаття І.В. Білінова присвячена короткостроковому прогнозуванню сумарного відпуску електроенергії виробниками з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Для цього автор використовував нейронної мережі глибинного навчання, а для їх навчання функцію похибки, яка є комбінацією середнього квадрату відхилень та похибкою квантильної регресії для моделі перцентилів. Дослідження, які проводились на реальних даних, показали достовірні результати при використанні нейронної мережі для прогнозування [5].

У статті Б. Л. Тишевича [6] також розглядається використання нейронних мереж для прогнозування енергоспоживання. Введення моделі нейронної мережі, яка здійснює ідентифікацію графіків енергоспоживання, є додатковим шляхом підвищення точності прогнозування. Автор робить висновок, що до використання нейронних мереж для прогнозування енергоспоживання необхідно вдаватися тому, що зміни в часі електричного навантаження є випадковими процесами, тобто функції випадковим чином залежні від часу, а також від ряду внутрішніх і зовнішніх чинників. В цілому електричне навантаження – стохастичний процес, домінуючими причинно-наслідковими чинниками якого є час доби і погодні умови. Подальший розвиток комп'ютерних технологій дозволяє реалізувати складні розгалужені нейронні мережі, які забезпечують високу точність прогнозування для стохастичних процесів [6].

У роботі Давиденко В.А. [7] розглянуто питання застосування штучних нейронних мереж для прогнозування електроспоживання в виробничих системах з урахуванням архівних даних для сукупності показників енергоефективності. Автори дійшли висновку, що використання апарату нейронних мереж забезпечує можливість прогнозування електроспоживання в складній виробничій системі на основі урахування вхідного вектору параметрів без дослідження їх зв'язків з величиною спожитої електроенергії шляхом формування архітектури мережі та її навчання на основі архіву даних [7].

У статті О.Г. Руденка [8] запропоновано метод навчання нейронних мереж при вирішенні задачі прогнозування часового ряду (ЧР). Більшість практичних задач прогнозування ЧР характеризуються високим рівнем нелінійності і нестационарності, зашумленістю, наявністю нерегулярних трендів, стрибків, аномальних викидів. У цих умовах жорсткі статистичні припущення про властивості ЧР часто обмежують можливості класичних методів прогнозування. Альтернативою статистичним методам можуть служити методи обчислювального інтелекту, до числа яких відносяться штучні нейронні мережі. Результати імітаційного моделювання підтвердили, що запропонований метод навчання нейронної мережі дозволяє значно підвищити точність прогнозування часових рядів [8].

У роботі [9] розглядається задача прогнозування споживання електричної енергії у Львівській області за допомогою штучних нейронних мереж. Наведені переваги нейронних мереж з неітераційним навчанням та комбінований режим їх використання для здійснення прогнозів.

У роботі [10] Khan використовує різні методи видобутку даних, включаючи попередню обробку історичних даних завантаження та характеристики часових рядів завантаження. Автор проаналізував тенденції споживання електроенергії з відновлюваних джерел енергії та невідновлюваних джерел енергії та об'єднав їх. Новий гібридний підхід на основі машинного навчання,

що поєднує багат шаровий перцептрон (MLP), підтримку векторної регресії (SVR) і CatBoost, пропонується в цій роботі для прогнозування потужності.

У статті Pedro A. González [11] показано новий підхід до короткострокового прогнозування навантаження в будівлях. Метод заснований на особливому вигляді штучної нейронної мережі (ШНС), яка повертає частину своїх вихідних даних. Ця ШНС навчається за допомогою гібридного алгоритму. Нова система використовує поточні і прогнозовані значення температури, поточне навантаження, а також час і день в якості вхідних даних. Ефективність цього провісника оцінювалася з використанням реальних даних і результатів міжнародних конкурсів. Досягнуті результати демонструють високу точність, досягнуту за допомогою цієї системи.

Дослідження [12] пропонує до використання тимчасову згтовку нейронну мережу (Temporal Convolutional Neural Network (TCN)) з розширеними причинними звертковими шарами для виконання прогнозування замість звичайного Long-Short Term Memory (LSTM), тому що TCN демонструє меншу пам'ять і обчислювальні вимоги. У цій науково-дослідній роботі електрична енергія споживання вдало прогнозується шляхом реалізації TCN.

Таким чином, штучні нейронні мережі добре себе показують для вирішення задачі прогнозування, в тому числі прогнозування обсягів електроенергії.

Виклад основного матеріалу. В дослідженні необхідно побудувати нейронну мережу на основі механізму багат шарового перцептрону. На основі цього механізму можливо передбачення значень змінних, важливих у процесі прийняття рішення. Багат шаровий перцептрон дозволяє досліджувати функції практично будь-яких ступенів складності.

Використання апарату нейронної мережі для прогнозування часових рядів полягає в формуванні нейронної мережі певної структури, в її параметричній настройці на основі поведінки досліджуваної системи в заздалегідь відомі моменти часу, в передбаченні майбутньої поведінки системи за її передісторії. Вибір структури нейронної мережі обумовлюється специфікою і складністю розв'язуваної задачі. Щоб побудувати нейромережеву модель, здатну адекватно і з заданою точністю вирішувати поставлене перед нею завдання, необхідно:

1) описати об'єкт, який виступає в якості вхідного сигналу нейронної мережі. Це можуть бути вихідні значення змінних, початкові значення визначених величин. У нашому випадку в ролі вхідного сигналу будуть виступати дані про електроспоживання за попередній аналогічний період;

2) визначити об'єкт, який буде виступати в якості вихідного сигналу. Це можуть бути шукані значення змінних. У випадку з короткостроковим прогнозуванням електроспоживання, це буде графік споживання на добу вперед з погодинною розбивкою;

3) визначити так званий цільовий вихідний сигнал нейромережі, тобто таку величину електроспоживання, до якої нейронна мережа повинна намагатися наблизити свій прогноз;

4) визначити архітектуру штучної нейронної мережі: кількість шарів, спосіб зв'язку між шарами, вагові коефіцієнти;

5) визначити функцію, за допомогою якої нейронна мережа «виправляла» б відхилення реального вихідного сигналу від бажаного;

6) визначити критерії оцінки якості роботи мережі і способи її оптимізації;

7) визначити значення синаптичних ваг для нейронів мережі. Для цього існують різні способи, такі як:

а) аналітичний спосіб, при безпосередній постановці завдання;

б) за допомогою чисельних методів;

в) скориставшись процедурою налаштування коефіцієнтів штучної нейронної мережі;

8) виконати навчання нейронної мережі, що включає параметричну настройку моделі на основі навчання на виділеній з безлічі вихідних даних навчальній вибірці. Для багат шарового перцептрону використовують навчання з учителем. При навчанні з учителем для кожного навчального вхідного прикладу потрібне знання правильної відповіді. Нейронній мережі пред'являються значення вхідних і вихідних сигналів, а вона за певним алгоритмом підлаштовує ваги синаптичних зв'язків. У процесі навчання здійснюється коректування ваг мережі за результатами порівняння фактичних вихідних значень з відомими заздалегідь і очікуваними вихідними значеннями. При навчанні нейронної мережі відбувається зміна вагових коефіцієнтів мережі на підставі зміни фактичної похибки на ітераціях навчання. Навчання мережі може бути припинено відповідно до режиму навчання: за фіксоване число кроків або за змінне число кроків, в ході яких

відбувається мінімізація помилки мережі, тобто мережа налаштовує вагові коефіцієнти таким чином, щоб відміна вихідного сигналу від бажаного було мінімальною;

9) виконати тестування навченої нейронної мережі, тобто визначити якість, яка оцінюється на контрольній вибірці, що виділена з безлічі вихідних даних. Навчальна та контрольна вибірка непересічні і, як правило, в безлічі вихідних даних хронологічно слідує один за одним. Якщо на контрольній вибірці значення помилки знаходиться в допустимих межах, то настройка нейронної мережі вважається завершеною, а нейронна мережа готовою для вирішення завдання прогнозування.

Для проведення першого етапу необхідно оцінити дані. На виконання Положення про складання спеціальних обов'язків на учасників ринку електричної енергії для забезпечення загальносуспільних інтересів у процесі функціонування ринку електричної енергії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 5 червня 2019 р. № 483, згідно пп. 6 п. 10. щомісяця відбувається оприлюднення інформації про погодинні місячні обсяги купівлі електричної енергії у гарантованого покупця та фактичний продаж електричної енергії побутовим споживачам [3]. Такі дані публікують відповідні компанії, що надають послуги з постачання електричної енергії [13]. Було проаналізовано інформацію про погодинні місячні обсяги купівлі електричної енергії у ДП «Гарантований покупець» з серпня 2020 по серпень 2021 року. Підтверджено, що дані відповідають за характером часовим рядам, мають сезонність. На рисунку 1 наведено приклад інформації про щоденні обсяги купівлі електричної енергії за червень 2021 року. Аналіз показав, що спостерігається певна закономірність: спад потреб у неділю – 6, 13, 20, 27. Також варто зазначити спад потреби електроенергії у святкові дні. Так у червні 2021 року були святковими днями неділя 20 червня та потім вихідний понеділок 21 червня, а також понеділок 28 червня. Такі дані можна використовувати при прогнозуванні.



Рис. 1 – Динаміка обсягів купівлі електричної енергії за червень 2021 року [17]

Таким чином, для прогнозування обсягів продажу електроенергії споживачам необхідно враховувати наступні дані: місяць року, день тижня, тип дня (святковий чи робочий). В якості основних числових даних треба використовувати середнє максимальне значення погодинної купівлі електричної енергії, яке надається у відкритому доступі.

Висновки та напрямок подальших досліджень

Споживання енергії пов'язане з усіма видами господарської діяльності людини. Виробництво енергії істотно впливає на стан довкілля, тому якісне планування електроспоживання є пріоритетним питанням у стратегії розвитку будь-якої країни. Всі обов'язки з планування електроенергії та купівлі електроенергії лягають на енергопостачальні компанії. Якісне планування

електроспоживання призведе до зниження витрат енергопостачальних компаній, що матиме вплив на зниження витрат на створення кінцевої продукції для пересічного споживача.

Виконання прогнозування людиною має суб'єктивний характер – результат залежить як від кваліфікації аналітика в предметній галузі, так і від його кваліфікації в методах аналізу. Тому доцільне використання сучасних методів штучного інтелекту – нейронних мереж, які мають здатність до навчання на наборі даних та дозволяють виявити приховані взаємозв'язки і закономірності між даними. Аналіз останніх досліджень та публікацій стосовно використання штучних нейронних мереж при прогнозуванні в енергетиці підтвердив доцільність використання обраного метода для визначеної проблеми. Для використання моделі багатошарової нейронної мережі досліджено необхідні етапи та проаналізовано дані. Встановлено характер даних, що описують обсяги щомісячної погодинної купівлі електричної енергії для побутових споживачів. Визначено особливості вхідних параметрів для нейронної мережі: місяць року, день тижня, тип дня (святковий чи робочий), середнє максимальне значення погодинної купівлі електричної енергії. Далі можна перейти к етапу моделювання та навчання нейронної мережі для прогнозування обсягів продажу електроенергії споживачам.

Перелік використаних джерел:

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження Кабінету міністрів України від 18.08.2017 № 605-р. – 2017. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>.
2. ДП «ГАРАНТОВАНИЙ ПОКУПЕЦЬ» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gpee.com.ua>.
3. Про затвердження Положення про покладення спеціальних обов'язків на учасників ринку електричної енергії для забезпечення загальносуспільних інтересів у процесі функціонування ринку електричної енергії: Постанова Кабінету міністрів України від 05.06.2019 № 483. – 2019. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2019-%D0%BF#Text>.
4. Карпа Д.М. Нейромережеві засоби прогнозування споживання енергоресурсів / Д.М. Карпа, І.Г. Цмоць, Ю.В. Опотяк // Науковий вісник НЛТУ України. – 2018. – Т. 28, № 5. – С. 140-146. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15421/40280529>.
5. Сагайда П.І. Дослідження методів, моделей та інформаційних технологій для прогнозування споживання електроенергії / П.І. Сагайда, Е.В. Мікаелян // Научный Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – 2018. – № 1. – С. 24-31.
6. Блінов І.В. Короткостроковий інтервальний прогноз сумарного відпуску електроенергії виробниками з відновлюваних джерел енергії / І.В. Блінов, В.О. Мірошник, П.В. Шиманюк // Праці інституту електродинаміки НАН України. – 2019. – Вип. 54. – С. 5-12. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15407/publishing2019.54.005>.
7. Тишевич Б.Л. Застосування нейронних мереж у сучасних методах прогнозування енергоспоживання / Б.Л. Тишевич // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2014. – Вип. 23. – С. 66-72. – (Серія: Гірництво).
8. Давиденко В.А. Багатофакторне моделювання електроспоживання в складних виробничих системах з використанням апарату нейронних мереж / В.А. Давиденко, Л.В. Давиденко, Н.В. Коменда // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2016. – Вип. 175. – С. 143-145. – (Серія: Технічні науки).
9. Rudenko O. Neural network time series prediction based on multilayer perceptron / O. Rudenko, O. Bezsonov, O. Romanyk // Development Management. – 2019. – Vol. 5, iss. 1. – Pp. 23-34. – Режим доступу: [https://doi.org/10.21511/dm.5\(1\).2019.03](https://doi.org/10.21511/dm.5(1).2019.03).
10. Ткаченко Р.О. Прогнозування споживання електричної енергії у Львівській області за допомогою штучних нейронних мереж / Р.О. Ткаченко, О.М. Павлюк // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2002. – № 450. – С. 76-80. – (Серія: Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології).
11. Machine Learning-Based Approach to Predict Energy Consumption of Renewable and Nonrenewable Power Sources / P.W. Khan, Y.-C. Byun, S.-J. Lee, D.-H. Kang, J.-Y. Kang, H.-S. Park // Energies. – 2020. – Vol. 13, iss. 18. – Pp. 1-16. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/en13184870>.

12. González P.A. Prediction of hourly energy consumption in buildings based on a feedback artificial neural network / P.A. González, J.M. Zamarréño // *Energy and Buildings*. – 2005. – Vol. 37, iss. 6. – Pp. 595-601. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.09.006>.
13. Інформація про погодинні місячні обсяги купівлі електричної енергії у гарантованого покупця та фактичний продаж електричної енергії побутовим споживачам [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vin.enera.ua/el/reports>.

References:

1. *Rozporiadzhennia Kabinetu ministriv Ukraini vid 18.08.2017 № 605-r «Pro skhvalennia Energetichnoi strategii Ukraini na period do 2035 roku «Bezpeka, energoefektivnist', konkurentospromozhnist'»»* [Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 18, 2017 No. 605-r. «On the approval of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2035 «Security, energy efficiency, competitiveness»»]. 2017. Available at: www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text (accessed 15 June 2022). (Ukr.)
2. *DP «GARANTOVANII POKUPETS'» (SE «GUARANTEED BUYER»)* Available at: www.gpee.com.ua (accessed 05 June 2022). (Ukr.)
3. *Postanova Kabinetu ministriv Ukraini vid 05.06.2019 № 483 «Pro zatverdzhennia Polozhennia pro pokladennia spetsial'nikh obov'iazkiv na uchastnikiv rinku elektrichnoi energii dlia zabezpechennia zagal'nosuspil'nikh interesiv u protsesi funktsionuvannia rinku elektrichnoi energii»* [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 06/05/2019 No. 483 «On the approval of the Regulation on the imposition of special duties on the participants of the electric energy market to ensure the general public interests in the process of functioning of the electric energy market»]. 2019. Available at: www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2019-%D0%BF#Text (accessed 12 June 2022). (Ukr.)
4. Karpa D.M., Tsmots' I.G., Opotiak Iu.V. Neiromerzhevi zasobi prognozuvannia spozhivannia energoresursiv [Neural network means of forecasting the consumption of energy resources]. *Naukovii visnik NLTU Ukraini – Scientific bulletin of UNFU*, 2018, vol. 28, № 5, pp. 140-146. doi: 10.15421/40280529. (Ukr.)
5. Sagaida P.I., Mikaelyan E.V. Doslidzhennia metodiv, modelei ta informatsiinih tekhnologii dlia prognozuvannia spozhivannia elektroenergii [Research of methods, models and information technologies for forecasting electricity consumption]. *Nauchnyi Vestnik Donbasskoi gosudarstvennoi mashinostroitel'noi akademii – Scientific Herald of the Donbass State Engineering Academy*, 2018, № 1, pp. 24-31. (Ukr.)
6. Blinov I.V., Miroshnyk V.O., Shimanyuk P.V. Korotkostrokovii interval'nii prognoz sumarnogo vidpusku elektroenergii virobnikami z vidnovliuvanikh dzherel energii [Short-term interval forecast of total release of electricity by producers from renewable energy sources]. *Pratsi institutu elektrodinamiki NAN Ukraini – Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine*, 2019, vol. 54, pp. 5-12. doi: 10.15407/publishing2019.54.005. (Ukr.)
7. Tishevich B.L. Zastosuvannia neironnikh merezh u suchasnikh metodakh prognozuvannia energospozhivannia [Application of neural networks in modern methods of forecasting energy consumption]. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu Ukraini «Kiivs'kii politekhnichnii institut». Seriya: Girnitstvo – Bulletin of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»*. Series: Mining, 2014, vol. 23, pp. 66-72. (Ukr.)
8. Davidenko V.A., Davidenko L.V., Komenda N.V. Bagatofaktorne modeliuвання elektrospozhivannia v skladnikh virobnychikh sistemakh z vikoristanniam aparatu neironnikh merezh [Multifactor modeling of power consumption in complex production systems using the apparatus of neural networks]. *Visnik Kharkivs'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. Seriya: Tekhnichni nauki – Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture. Series: Technical sciences*, 2016, vol. 175, pp. 143-145. (Ukr.)
9. Rudenko O., Bezsonov O., Romanyk O. Neural network time series prediction based on multilayer perceptron. *Development Management*, 2019, vol. 5, iss. 1, pp. 23-34. doi: 10.21511/dm.5(1).2019.03.
10. Tkachenko R.O., Pavliuk O.M. Prognozuvannia spozhivannia elektrichnoi energii u L'vivs'kii oblasti za dopomogoiu shtuchnikh neironnikh merezh [Forecasting of electricity consumption in the Lviv region using artificial neural networks]. *Visnik NU «L'vivs'ka politekhnika». Seriya:*

- Komp'uterna inzheneriia ta informatsiini tekhnologii* – Journal of Lviv Polytechnic National University. Series: Computer engineering and information technologies, 2002, № 450, pp. 76-80. (Ukr.)
11. Khan P.W., Byun Y.-C., Lee S.-J., Kang D.-H., Kang J.-Y., Park H.-S. Machine Learning-Based Approach to Predict Energy Consumption of Renewable and Nonrenewable Power Sources. *Energies*, 2020, vol. 13, iss. 18, pp. 1-16. doi: **10.3390/en13184870**.
 12. González P.A., Zamarreño J.M. Prediction of hourly energy consumption in buildings based on a feedback artificial neural network. *Energy and Buildings*, 2005, vol. 37, iss. 6, pp. 595-601. doi: **10.1016/j.enbuild.2004.09.006**.
 13. *Informatsiia pro pogodinni misiachni obsiagi kupivli elektrichnoi energii u garantovanogo pokuptsia ta faktichniy prodazh elektrichnoi energii pobutovim spozhivacham* (Information on hourly monthly volumes of electricity purchased from a guaranteed buyer and the actual sale of electricity to household consumers) Available at: www.vin.enera.ua/el/reports (Accessed 15 August 2022). (Ukr.)

Рецензент: О.Є. П'ятикоп
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 08.08.2022

УДК 004.056

doi: 10.31498/2225-6733.45.2022.276223

© Федосова І.В.¹, Котихова Л.Д.², Перець Є.О.³

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ПСИХОНЕВРОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Стаття розкриває тему розробки експертної системи психоневрологічних захворювань з використанням методу диференціальної діагностики. Завдання системи диференціальної медичної діагностики – визначити захворювання, якими може страждати пацієнт, на підставі даних спостереження за його симптомами. Метод, який використовується під час діагностики захворювання, – диференціальний. Цей метод відсіює хвороби через невідповідності будь-яким фактам або симптомам, що в кінці має призвести до єдиної можливої хвороби. Розроблена і реалізована експертна система (ЕС) включає в себе: механізм звернення до бази даних симптомів по кожному з корелюючих захворювань, алгоритм формування вхідних параметрів ЕС, метод прийняття рішень на основі логічного механізму. У роботі досліджено та проаналізовано різноманітні механізми ухвалення рішень, що дозволило уникнути недоліків та покращити роботу експертної системи. Робота ЕС спирається на базу знань симптомів. База даних є сукупністю диференційно-діагностичних ознак, відповідних частот зустрічальності для кожного з діагностованих захворювань. В додатку є два режими роботи: режим роботи з базою знань, який забезпечує безпосередньо роботу з базою даних та підтримку всіх необхідних операцій для повного функціонування системи. Режим аналізу, в якому фахівець отримує підтримку в прийнятті рішення при постановці діагнозу. Користувач встановлює наявні симптоми пацієнта, після чого відбувається обробка введених даних. Наприкінці користувач отримує результат проведеного аналізу з найбільш ймовірного діагнозу до найменш ймовірного з розрахованою оцінкою відповідності. Така система має високу ефективність, надійність, доступність для розуміння та продуктивність. Застосування

¹ д-р пед. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-3923-8270, irivasilevna1964@gmail.com

² асистент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0009-0006-5008-622X, kotykhova_l.d@pstu.edu

³ студент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро