

УДК 004.89

Д.Й. КАЛБАЗОВ*, О.І. ДАНЧЕНКО**, Ю.М. ЛИСЕЦЬКИЙ***

НЕЙРОМЕРЕЖІ. РОЗВИТОК ТА ПЕРСПЕКТИВИ

*ТОВ «Інформаційні спеціалізовані системи», м. Київ, Україна

**Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації, м. Київ, Україна

***ДП «ЕС ЕНД ТІ УКРАЇНА», м. Київ, Україна

Анотація. Розвиток нейромереж починається з 1940-х років, коли вчені почали моделювання нервової системи. Однак справжній прорив відбувся у 2010-х роках із розвитком машинного і поглибленого навчання. Цифровізація, BigData та можливість обробки великих масивів даних створили потужний ресурс для машинного навчання. Використовуючи великі обсяги даних та потужні обчислювальні ресурси, нейромережі стали здатні досягати неймовірних результатів у таких областях, як комп'ютерне зорове розпізнавання, обробка природної мови, медицина, прогнозування, розпізнавання шаблонів, автономні транспортні засоби та ін. Нейромережа — це математична модель, яка описує математичними формулами взаємозалежності між різними факторами і дозволяє виявити закономірності та взаємозалежності вхідних даних, кінцевого результату у процесі навчання. Після навчання така нейромережа може використовуватись для прогнозування результату. У статті розглянуто принципи роботи нейромереж, архітектуру їх математичних моделей, безпеку та виклики нейромереж, сучасні продукти на базі нейромереж та їх практичне застосування. Нейромережі є сучасним потужним інструментом штучного інтелекту, який здатний моделювати та стимулювати роботу людського мозку. Машинне навчання та нейромережі вже не перший рік інтегровані в інформаційні технології. Одним із лідерів розвитку їх є компанія IBM, яка однією з перших почала впроваджувати технології Machine Learning, на базі якої працює IBM Watson. Справжньою сенсацією стала нейромережа ChatGPT — мовна модель, яка генерує текст, базуючись на запитах користувача та враховуючи контекст попередніх запитів. Отже, нейромережі здатні до навчання на основі великих обсягів даних та розпізнавання складних залежностей у цих даних, тому використовуються для розв'язання складних задач, які не завжди можна вирішити за допомогою математичних формул або правил.

Ключові слова: нейромережі, машинне навчання, поглиблене навчання, модель, архітектура, перцептрон.

Abstract. The development of neural networks began in the 1940s, when scientists began to model the nervous system. However, the real breakthrough occurred in the 2010s with the advancement of machine learning and deep learning. Digitalization, Big Data, and the ability to process large datasets have created a powerful resource for machine learning. By utilizing large amounts of data and powerful computational resources, neural networks have become able to achieve incredible results in such areas as computer vision for object recognition, natural language processing, medicine, forecasting, pattern recognition, autonomous vehicles, etc. A neural network is a mathematical model that describes the interdependencies between different factors with mathematical formulas and allows for discovering patterns and dependencies between input data and the final result during training. After training, such a neural network can be used to predict outcomes. The article discusses the principles of neural network operation, the architectures of their mathematical models, the security and challenges of neural networks, modern products based on neural networks, and their practical applications. Neural networks are a modern, powerful tool of artificial intelligence capable of modeling and simulating the operation of the human brain. Machine learning and neural networks have been integrated into information technology for many years. One of the leaders in their development is IBM, which was one of the first companies to implement machine learning technologies, based on which IBM Watson operates. A real sensation was the ChatGPT neural network, a language model that generates text based on user queries, taking into account the context of

previous queries. Therefore, neural networks are capable of learning based on large volumes of data and recognizing complex dependencies in them, so they are used to solve complex problems that cannot always be solved using mathematical formulas or rules.

Keywords: neural networks, machine learning, deep learning, model, architecture, perceptron.

DOI: 10.34121/1028-9763-2024-2-24-32

1. Вступ

Історія розвитку нейромереж починається ще з 1940-х років, коли вчені почали моделювання нервової системи. Однак справжній прорив відбувся у 2010-х роках із розвитком машинного (Machine Learning) і поглибленого навчання (Deep Learning) [1]. Цифровізація, BigData та можливість обробки великих масивів даних створили потужний ресурс для машинного навчання. Використовуючи великі обсяги даних та потужні обчислювальні ресурси, нейромережі стали здатні досягати неймовірних результатів у таких областях, як обробка природної мови, розпізнавання образів, аналіз даних тощо [2, 3].

У статті ми розглянемо нейромережі, їх практичне застосування на сучасному етапі, перспективи розвитку, а також потенціал, який вони надають бізнесу та людству. Вона містить узагальнення інформації, отриманої при дослідженні нейромереж та технологій поглибленого навчання, а також аналіз існуючих тенденцій і прогноз на розвиток нейромереж у майбутньому.

Мета статті — сформулювати науково-обґрунтовані погляди на нейромережі, їх роль у сучасному житті та перспективи розвитку.

2. Нейромережі та їх практичне застосування

Нейромережі є сучасним потужним інструментом штучного інтелекту, який здатний моделювати та стимулювати роботу людського мозку. Нейромережа — це практичний механізм, який забезпечує Deep Learning. IBM визначає нейромережі як одну з технологій Machine Learning та як основну технологію, що забезпечує Deep Learning [1].

Machine Learning — це підгалузь штучного інтелекту, яка вивчає алгоритми та моделі, що дозволяють комп'ютерам самостійно вчитися та вдосконалювати свою продуктивність на основі даних без явного програмування [2].

Deep Learning — це підгалузь машинного навчання, яка використовує нейромережі зі значною кількістю шарів для автоматичного вивчення представлених даних. Поглиблене навчання дозволяє комп'ютерам розуміти та аналізувати складні залежності, виявляти приховані закономірності і здійснювати передбачення на основі великого обсягу даних [3].

Різниця між Deep Learning та Machine Learning полягає у складності завдань [4]. Deep Learning виявляє складніші залежності та використовує значно більше даних для побудови закономірностей. Машинне навчання та нейромережі вже не перший рік інтегровані в інформаційні технології (IT). Компанії Google, Microsoft, Facebook впроваджують ці технології у своїх продуктах. Одним із лідерів розвитку технологій є компанія IBM, яка однією з перших почала впроваджувати технології Machine Learning, на базі якого працює IBM Watson. Справжньою сенсацією стала нейромережа ChatGPT — мовна модель, яка генерує текст, базуючись на запитах користувача та враховуючи контекст попередніх запитів [5]. Якість тексту та надзвичайна взаємодія з ChatGPT приголомшують.

Вже давно звикли до термінів Machine Learning чи Deep Learning при знайомстві з новітніми IT. При цьому результати застосування нейромереж на практиці були не зрозумілими та важко перевіряються. Що суттєво змінилось останніми роками, так це доступність нейромереж пересічній людині, не спеціалісту в певній професійній галузі. Останнім яскравим прикладом є нейромережі chatGPT, чії статті публікують у наукових чи публіцистичних виданнях та Midjourney, згенеровані зображення якої виграють у конкурсах ілюстрацій. Це модель поглибленої нейромережі, що базується на архітектурі GPT

(Generative Pre-trained Transformer). GPT використовує трансформерну архітектуру та багатшарові рекурентні неймережі (RNN) для генерації тексту та відповідей на запитання.

Сьогодні неймережі застосовуються в різних технологічних продуктах та галузях, зокрема:

- комп'ютерне зорове розпізнавання — для розпізнавання об'єктів на зображеннях та відео;
- мовний аналіз та обробка природної мови — для розуміння та генерації мови;
- рекомендаційні системи для побудови персоналізованих рекомендаційних систем, які пропонують користувачам товари, послуги або контент на основі їхніх інтересів та попередньої поведінки;
- медицина — для аналізу зображень медичних знімків, діагностики захворювань, прогнозування результатів лікування та інших медичних застосувань;
- фінансовий сектор — для прогнозування фінансових ринків, ризик-аналізу, обробки фінансових даних та автоматичного трейдингу;
- автономні системи — для розробки автономних транспортних засобів, таких як автомобілі без водія, дрони або робототехніка.

Отже, потенціал неймереж важко переоцінити, адже вони правильно розуміють контекст запиту, пишуть статті, музику, створюють картини за ключовими словами та багато іншого. На сьогодні неймережі інтегровані у кожен смартфон. У найближчому майбутньому неймережі будуть інтегровані у кожен успішний бізнес-проект. Вони будуть настільки ж інтегровані у наше життя, як цифрові технології сьогодні. Так само, як і з цифровізацією, у найближчому майбутньому буде успішно розвиватися той бізнес, який стане впроваджувати неймережі.

3. Принцип роботи неймережі

Неймережа — це, по суті, математична модель, яка емулює роботу нервової системи людини. Математична модель — це система математичних співвідношень, які описують

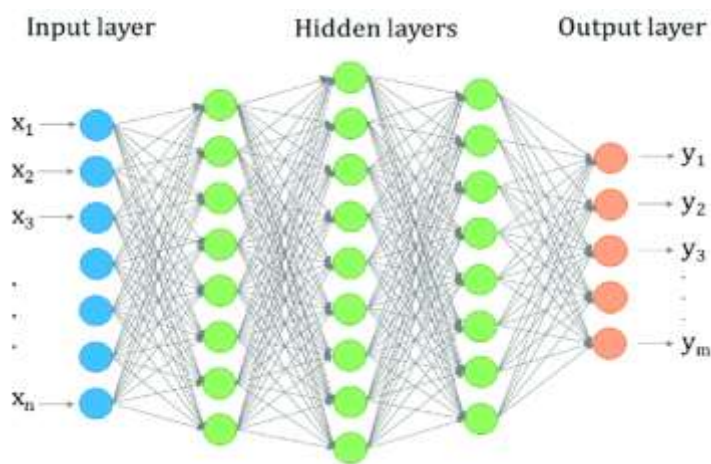


Рисунок 1 — Схема багатошарової нейронної мережі

досліджуваний процес або явище. Таким чином, неймережа — це математична модель, яка описує математичними формулами взаємозалежності між різними факторами і дозволяє виявити закономірності та взаємозалежності вхідних даних і кінцевого результату у процесі навчання. Після навчання така неймережа може використовуватися для прогнозування результату.

У математичній моделі неймережі є вузли — штучні нейрони. Вузли з'єднані між собою

зв'язками і передають сигнали один одному (рис. 1).

Найпростіша математична модель нейрона називається Перцептрон (Perceptron) [6]. Перцептрон можна візуалізувати, як представлено на рис. 2.

Перцептрон — це математична функція, якій задається декілька параметрів x , а результатом обчислення є число y , наприклад, $y = 3^*x$. Кожному вхідному значенню x надається певна вага « w », яку можна регулювати у залежності від того, наскільки це

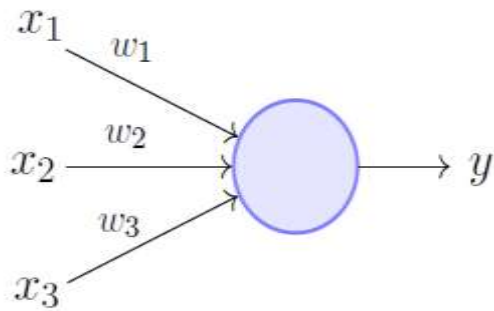


Рисунок 2 — Схематичне зображення перцептрона

значення важливе та впливає на результат обчислення. У даному випадку ця функція буде виглядати таким чином:

$$y = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \sum_i w_j x_j \leq \text{порогове значення,} \\ 1, & \text{якщо } \sum_i w_j x_j > \text{порогове значення.} \end{cases}$$

Насправді функція виглядає складніше: по суті вона означає, що результат роботи нейрона є 0, якщо сума добутків усіх вхідних параметрів та їх вага менше певного порогового значення, або дорівнює 1, якщо сума всіх вхід-

них параметрів та їх вага більше певного порогового значення. 0 — нейрон пасивний, 1 — нейрон активний. Результат обчислення передається як вхідний параметр іншим нейронам наступного шару нейромережі. Чим більше y , тим сильніше «активується» нейрон на наступному шарі і т.д.

Отже, роботу перцептрона можна уявити як пристрій, який приймає рішення на основі зважених вхідних даних. Якщо уявити математичну модель із тисячею перцептронів, тобто у тисячі нейронів у кожного на вході будуть тисячі чи десятки тисяч x . І чим більше вузлів, тим більшу варіативність може моделювати мережа. Керуючи вагами з'єднань між нейронами, ми можемо підлаштовувати нейромережу і таким чином навчати її видавати очікувані результати.

Перцептрон — це найпростіша, але і найменш ефективна модель вузла нейромережі. Крім перцептрона, ще є лінійний нейрон, сигмоїдний нейрон, нейрон із функцією активації ReLU, нейрон із функцією активації tanh, нейрон із функцією активації softmax [7]. Кожен має специфічні функції для різних завдань нейромереж.

Процес навчання нейромережі полягає в тому, що ми даємо їй приклади, на які заздалегідь знаємо правильну відповідь. Нейромережа підлаштовує вагу зв'язків між нейронами так, щоб отримати бажаний результат. Результатом роботи нейромережі буде найбільш імовірна прогнозована відповідь, враховуючи вхідні параметри, внутрішні зв'язки та взаємозалежності, сформовані у процесі навчання на практичних прикладах. У результаті відрегульованих вагів та порогових значень на виході найбільше активується певний нейрон.

Таким чином, перевага нейромережі в тому, що вона може знаходити не доступні для людини закономірності, розпізнавати складні закономірності, виявляти скриті зв'язки та робити прогнози на основі великого обсягу даних. Також нейромережі здатні до аналізу неструктурованих даних, таких як зображення, текст, звук, що робить їх корисними у багатьох сферах, де потрібна обробка складних і неструктурованих даних.

3. Архітектура нейромереж

Архітектуру нейромережі можна поділити на дві складові: архітектуру математичної моделі нейромережі та архітектуру програмного забезпечення, яке реалізує функції нейромережі. Наведемо найбільш використовувані архітектури математичних моделей:

Нейромережі прямого зв'язку (Feedforward)

Сигнали передаються в одному напрямку від одного шару до іншого. Ця найпростіша структура призначена для класифікації чи прогнозування (рис. 3).

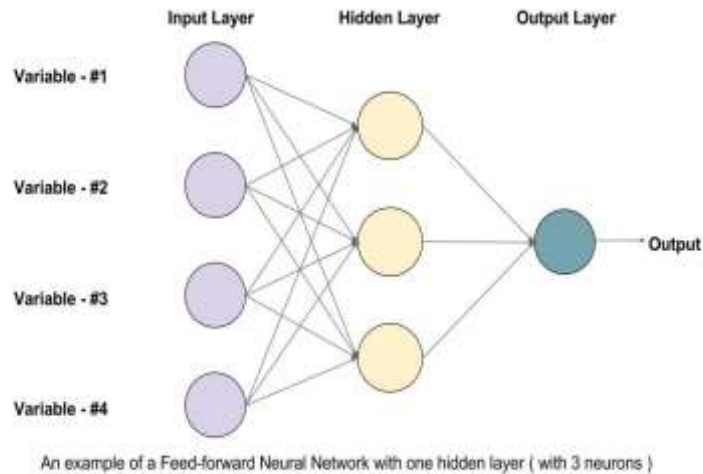


Рисунок 3 — Нейромережі прямого зв'язку

Нейромережі зі зворотним зв'язком (Recurrent)

У цій структурі нейрони можуть мати як прямі, так і зворотні зв'язки, створюючи цикли в мережі (рис. 4). Використовуються, наприклад, у машинному перекладі, де контекст та попередній контекст важливі для правильного перекладу.

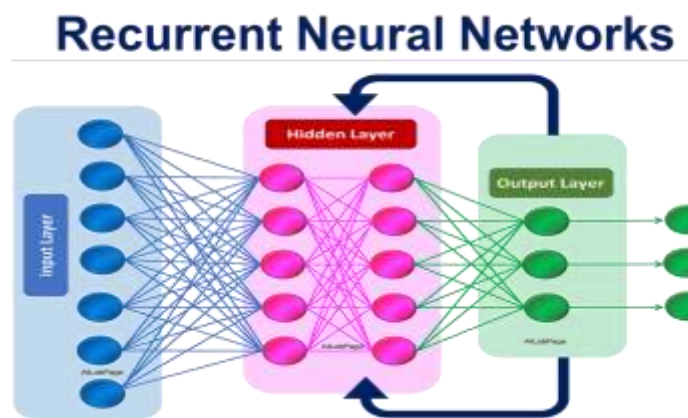


Рисунок 4 — Нейромережі зі зворотним зв'язком

Згорткові нейромережі (Convolutional)

Дозволяють локальну обробку даних та розпізнавання властивостей у зображеннях. Згорткові нейромережі ефективні при розпізнаванні об'єктів та виявленні патернів у зображеннях (рис. 5).

Окрім вказаних, існують рекурентні нейромережі з довготривалою пам'яттю (Long Short-Term Memory, LSTM), згортково-рекурентні нейромережі (Convolutional Recurrent Neural Networks), генеративно-протилежні нейромережі (Generative Adversarial Networks), мережі асоціативної пам'яті (Hopfield Networks, Boltzmann Machines), мережі денної пам'яті (Memory Networks), генеративні адверсаріальні мережі (Generative Adversarial Networks, GAN) та ін. [8]. Архітектури нейромереж постійно розвиваються та модифікуються з метою підвищення ефективності навчання, зменшення помилок у роботі, виконання складних комплексних завдань.

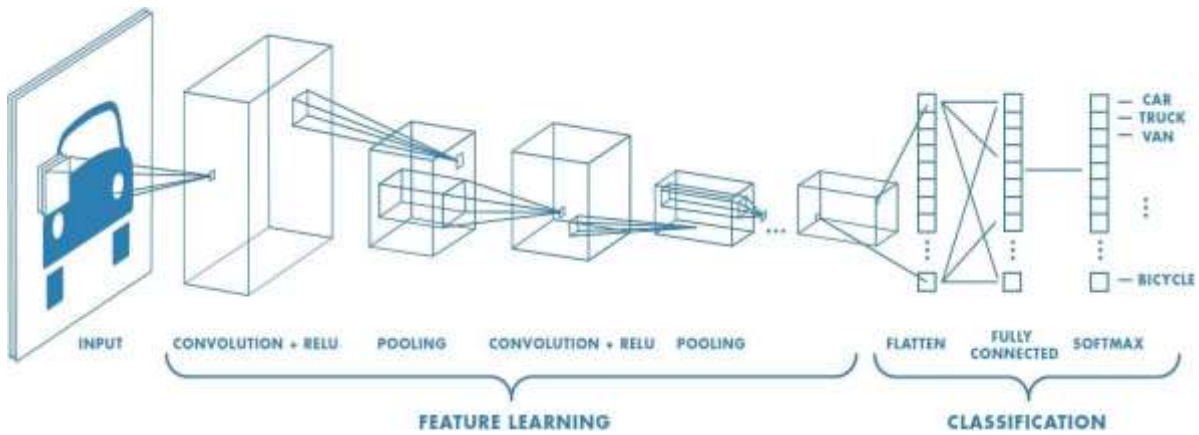


Рисунок 5 — Згорткові неймережі

З точки зору прикладного програмного забезпечення (ПЗ), при реалізації функцій неймережі можна визначити три рівні (рис. 6):

- базовий рівень — це основна частина неймережі, яка формується у процесі основного поглибленого навчання;
- рівень адаптації — це адаптація під певне підприємство, користувача, законодавство і цей рівень містить унікальний досвід кожної практичної реалізації неймережі;
- контекстний рівень — результат навчання неймережі при взаємодії конкретних суб'єктів з нею, тобто контекст конкретного користувача чи підприємства.

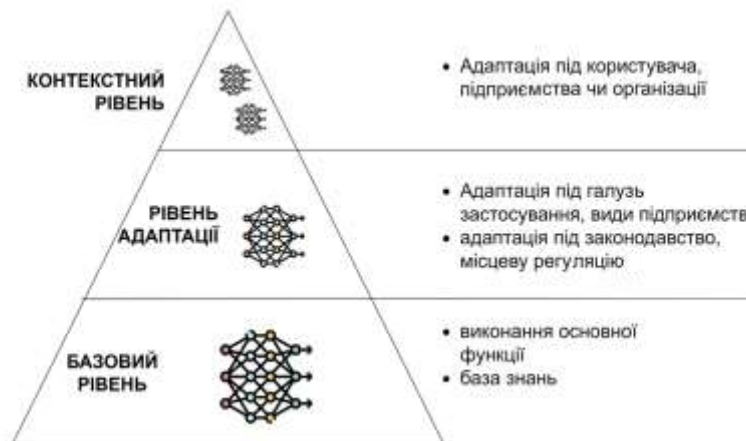


Рисунок 6 — Рівні неймережі

4. Безпека та виклики неймереж

З точки зору безпеки та нових викликів, слід акцентувати увагу на таке:

- безпечне зберігання, доступ, міграцію контекстних даних неймережі кінцевого користувача, підприємства чи організації;
- перевірку результатів;
- відповідальність за результати роботи неймережі;
- втрату кваліфікації спеціалістами;

- авторські права на результати взаємодії користувача та нейромережі;
- юридичні проблеми.

Безпечне зберігання

Навчена нейромережа — дуже цінний актив. Втратити дані, в яких зберігається пам'ять нейромережі, це втратити поточну конфігурацію навченої мережі. Втрата даних адаптаційного рівня — це втрата специфічних, галузевих знань мережі в певній галузі бізнесу. Наприклад, клініка, яка займається діагностикою захворювань, втратила контекстний рівень, що вимагає повторного навчання мережі під контекст конкретної людини, організації чи підприємства. Звідси виникає проблема коректної передачі контекстного рівня даних при модернізації нейромережі, переході на більш прогресивні моделі із збереженням даних для користувача.

Перевірка результатів

Нейромережа завчасно не програмується на результат. Вона програмується на ефективне навчання з заданими правильними наборами даних. Проте немає механізму проконтролювати, на основі чого нейромережа видає такий результат чи інший. Часто одна і та сама задача, задана двічі, може отримати різні результати. І це вважається допустимим, виходячи із проєктування нейромережі на базі принципів роботи людського інтелекту — у процесі навчання. Ми також не очікуємо, що природний інтелект (людина) завжди і постійно буде видавати один і той же результат на ті ж завдання. Проблемою в майбутньому може стати те, що у захопленні від ефективності нейромереж людство не буде з відповідальністю ставитися до перевірки даних. Відомі публікації статей, згенеровані нейромережами, але ніхто в редакції не зміг оцінити суті написаного, хоча текст виглядав значимо та мав науковий характер. Також у майбутньому нас чекають нейромережі, які будуть розрізняти результати роботи людини від інших нейромереж.

Відповідальність за результати

Відповідальність за хибну роботу чи прийняті рішення. Хто буде відповідати за те, що, наприклад, нейромережа автопілота автомобіля причинить ДТП: її розробник, власник, власник даних чи водій автомобіля?

Втрата спеціалістами кваліфікації

У лікарів, які в роботі застосовують нейромережі, спостерігають часті помилки в діагностуванні, якщо вони його проводять без використання нейромережі. Це пояснюється тим, що вони поступово втрачають навички через брак власної практики та самостійної роботи. Таких же проблем слід очікувати і в інших галузях.

Проблема авторських прав

Це відповідь на питання, кому вони належать:

- користувачу, який за допомогою запитів та завдань для нейромережі, за рахунок його унікальної взаємодії з нейромережею, отримує бажаного результату: зображення, текст, бізнес-план, аналіз показників, прогноз ефективності;
- власнику нейромережі, який платить за роботоздатність мережі, тому що без інвестування та обслуговування нейромережа не працездатна;
- розробнику нейромережі, який робить унікальний інструмент, і хто б ним не користувався, результат роботи — це результат унікальності інструменту, який створив розробник нейромережі;
- людству, тому що нейромережа по генерації тексту може створити свій текст тільки тому, що змогла «перечитати» тексти, створені людством (те ж саме стосується картин, музики та ін.);

- власнику даних, на яких проводиться навчання нейромереж.

Юридична проблема

Її можна сформулювати таким чином: чи може нейромережа чи результати її роботи використовуватись у суді? Наприклад, її відповіді на те, чи схильний користувач до правопорушення? Чи являється її користувач (власник) правопорушником?

5. Впровадження нейромереж

Для впровадження нейромереж має бути певна компетентність. На нашу думку, можна визначити три рівні компетенції у галузі впровадження нейромереж.

Перший — для *робочої нейромережі*. Це спроможність описати математичну модель нейромережі під певну задачу та створити комп'ютерну програму, яка здатна реалізувати таку модель.

Другий — для *навченої нейромережі*. Специфіка навіть найпростішої нейромережі з розпізнавання рукописного тексту полягає в тому, що недостатньо спроектувати модель мережі. Її потрібно ще навчити на конкретних прикладах.

Третій — для *нейромережі в експлуатації*. Мати нейромережу робочу та навчену — це не є кінцевою задачею. Кінцева задача — це робоча та навчена нейромережа, яка працює на конкретних серверах та виконує конкретні, специфічні для кожного підприємства завдання. Це комплексна система апаратних та програмних засобів, які забезпечують безперебійну роботу нейромережі для кожного окремого підприємства. Слід, щоб нейромережа працювала безперебійно, а її контекстна частина (база знань) не була пошкодженою. А це ціла низка інфраструктурних завдань, які обов'язкові для вирішення.

Послуги щодо впровадження нейромереж будуть дуже затребуваними, тому що зараз конкуренція між компаніями відбувається на рівні автоматизації бізнес-процесів, а у найближчому майбутньому конкуренція між ними буде на рівні нейромереж. І хто краще навчить нейромережу під свої задачі, в кого модель нейромережі буде більш ефективна, той і буде більш конкурентним та більш успішним.

6. Висновки

У статті розглянуто нейромережі, принципи їх роботи, сучасні продукти на базі нейромереж та їх майбутній розвиток. Отже, нейромережі використовуються для розв'язання складних задач, які не завжди можна вирішити за допомогою математичних формул або правил. Вони здатні до навчання на основі великих обсягів даних та розпізнавання складних залежностей у цих даних. Нейромережі можуть застосовуватись у багатьох областях, таких як комп'ютерне зорове розпізнавання, обробка природної мови, медицина, прогнозування, розпізнавання шаблонів, автономні транспортні засоби та ін. Нейромережі вже зараз широко розповсюджені і будуть постійно розвиватися, тому можливості використання, комплексність та унікальність їх не викликають жодних сумнівів.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Reznik A.M. Non-Iterative Learning for Neural Networks. *Proc. International Joint Conference on Neural Networks* (Washington DC, July 10–16 1999). Washington, 1999. N 548. P. 1374–1379.
2. Різник О.М., Калина О.А., Сичов О.С., Садова О.Г., Дехтяренко О.К., Галинська А.О. Багатофункціональний нейрокомп'ютер NeuroLand. *Математичні машини і системи*. 2003. № 1. С. 36–45.
3. What is a neural network? URL: <https://www.ibm.com/topics/neural-networks> (дата звернення: 17.08.2023).
4. What is machine learning? URL: <https://www.ibm.com/topics/machine-learning> (дата звернення: 17.08.2023).

5. What is deep learning and how does it work? URL: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/deep-learning-deep-neural-network> (дата звернення: 12.09.2023).
6. What Is Deep Learning? | How It Works, Techniques. URL: <https://www.mathworks.com/discovery/deep-learning.html> (дата звернення: 12.09.2023).
7. ChatGPT від OpenAI, на що він здатен та як ним скористатися? URL: https://www.imena.ua/blog/chatgpt/?gclid=EAIaIQobChMIp-mGo9f8gQMVvJiDBx22rAZYEAAAYASA_AEgJcnPD_BwE (дата звернення: 15.09.2023).
8. What is Perceptron? A Beginners Guide for 2023. URL: <https://www.simplilearn.com/tutorials/deep-learning-tutorial/perceptron> (дата звернення: 15.09.2023).
9. 7 архитектур нейронных сетей для решения задач NLP. URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/7-arhitektur-nejronnyh-setej-nlp/> (дата звернення: 23.09.2023).
10. Які існують типи нейронних мереж? URL: <https://devzone.org.ua/qna/iaki-isnuiut-tipi-neironnix-merez> (дата звернення: 23.09.2023).

Стаття надійшла до редакції 26.04.2024