

УДК 332.14:510.6

Кнуренко В.М.
старший викладач кафедри
комп'ютерних та інформаційних технологій
і моделювання економіки
КВНЗ «Інститут підприємництва «Стратегія»
Дніпропетровської обласної ради»

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У ПРОГНОЗУВАННІ ЕКОЛОГІЧНОГО БЛАГОПОЛУЧЧЯ ЕКОНОМІЧНИХ СУБ'ЄКТІВ

OPPORTUNITY FOR USE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK IN A FORECASTING ENVIRONMENTAL WELL-BEING OF ECONOMIC SUBJECTS

АНОТАЦІЯ

Статтю присвячено можливостям застосування нейромережних технологій як потужного технологічного інструмента для аналізу та прогнозування еколого-економічного розвитку регіону. Було використано нейромережні технології для побудови низки моделей різних типів. Процес побудови штучних нейронних мереж проводився у табличному процесорі «Microsoft Excel» із застосуванням надбудов «Analysis ToolPak – VBA», «NeuroXL Clusterizer», «NeuroXL Predictor», «Пакет аналізу» та «Пошук рішення». Тестування моделей здійснювалось на одній статистичній вибірці, що дало можливість зробити порівняльний аналіз та отримати відповідні висновки щодо ефективності різноманітного математичного інструментарію під час вирішення задачі класифікації об'єктів дослідження. Результати дослідження можуть бути використані під час аналізу та моделювання фінансової стійкості підприємств, що полягає в оцінюванні стану еколого-економічних показників.

Ключові слова: екологічний менеджмент, екологічний моніторинг, штучна нейронна мережа, штучний нейрон, елементарний перцептрон, функція активації.

АННОТАЦІЯ

Статья посвящена возможностям применения нейросетевых технологий как мощного технологического инструмента для анализа и прогнозирования эколого-экономического развития региона. Были использованы нейросетевые технологии для построения ряда моделей различных типов. Процесс построения искусственных нейронных сетей проводился в табличном процессоре «Microsoft Excel» с применением надстроек «Analysis ToolPak – VBA», «NeuroXL Clusterizer», «NeuroXL Predictor», «Пакет анализа» и «Поиск решения». Тестирование моделей осуществлялось на одной статистической выборке, что позволило сделать сравнительный анализ и получить соответствующие выводы относительно эффективности разнообразного математического инструментария при решении задачи классификации объектов исследования. Результаты исследования могут быть использованы при анализе и моделировании финансовой устойчивости предприятий, заключающейся в оценке состояния эколого-экономических показателей.

Ключевые слова: экологический менеджмент, экологический мониторинг, искусственная нейронная сеть, искусственный нейрон, элементарный перцептрон, функция активации.

ANNOTATION

The article is devoted to the possibility of using neural network technology as a powerful tool for process analysis and forecasting of ecological and economic development. It uses neural network technology for the construction of a number of models of different types. The process of constructing artificial neural networks was conducted in tabular processor «Microsoft Excel» using add-ons «Analysis ToolPak – VBA», «NeuroXL Clusterizer», «NeuroXL Predictor», «Packet analysis» and «Search to decision». This made it possible to make a comparative analysis and obtain appropriate conclusions about the effectiveness of various mathematical tools

in solving the problem of classifying object to research. Results of the study can be used for analysis and modeling of financial stability companies that is in evaluation of the state of ecological and economic indicators.

Keywords: environmental management, environmental monitoring, artificial neural networks, artificial neuron, perceptron elementary, function activation.

Постановка проблеми. Система моніторингу екологічної ситуації є актуальною для України в контексті євроінтеграції та зміни екології країни згідно з нормами ЄС. Розроблення технології екологічного менеджменту з урахуванням очікуваних змін, тобто постійного поліпшення й удосконалення управлінських рішень на підприємстві за всіма екологічно значимими аспектами діяльності економічних суб'єктів, де цього дійсно можна досягти, потребує застосування всіх нових методів та засобів аналізу і прогнозування визначених показників.

Найважливішою системою вітчизняного екологічного управління на регіональному рівні не відповідає сучасним вимогам, тому потребує якісної перебудови економічного інструментарію екологічного регулювання. У зв'язку з цим особливою актуальністю набуває задача аналізу та прогнозування екологічного благополуччя економічних суб'єктів для оцінювання фінансового стану підприємства з метою своєчасного виявлення внутрішніх проблем та завчасного застосування відповідних заходів. Отримання такого прогнозу неможливе без використання сучасних комп'ютерних інформаційних технологій, зокрема штучних нейронних мереж.

Результати дослідження можуть бути використані під час аналізу та моделювання фінансової стійкості підприємств, що полягає в оцінюванні стану еколого-економічних показників, дає змогу аналізувати та порівнювати ефективність різних конструкцій штучних нейронних мереж з використанням різних функцій активації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Все більшу зацікавленість науковців в еколого-економічній діяльності викликають аналітичні інформаційні технології, що ґрунтуються на використанні нейронних мереж із застосуван-

ням математичних методів. Нейромережі дають змогу вирішувати надзвичайно широке коло задач, зокрема [1, с. 126–127]:

- розпізнавання людської мови і абстрактних образів;
- класифікація стану складних систем;
- управління технологічними процесами і фінансовими потоками;
- вирішення аналітичних, дослідних, прогнозних задач, пов'язаних з величезними інформаційними потоками.

Проблемами нейронних мереж займалися зарубіжні науковці ще з середини минулого сторіччя. Так Френк Розенблатт у 1958 р. запропонував одну з перших реалізацій нейронної мережі – перцептрон.

Те, що штучні нейронні мережі здатні до розпізнавання симптомів наближення критичних ситуацій для короткотермінових, а деколи і для довготермінових прогнозів, обумовило появу великої кількості наукових робіт з цієї теми. Перш за все необхідно відзначити роботи сучасних науковців А.В. Матвійчука [2, с. 97–117], М.М. Буданової [3, с. 26], С. Осовського [4, с. 55–81], С.О. Смирнова [4, с. 120–128], І.О. Кравець [6, с. 122–129], О.В. Годич [7, с. 1–11], С.О. Федулової [8, с. 223–226] та багатьох інших дослідників.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Водночас слід зауважити, що залишаються малодослідженими питання паралельної обробки інформації одночасно великою кількістю нейронів, завдяки чому досягається значне пришвидшення обробки інформації з використанням навчання мережі.

Мета статті полягає у визначенні можливості використання штучних нейронних мереж для аналізу та прогнозування еколого-економічного розвитку регіону в умовах перманентної нестачі коштів або «заморожування» реалізації державних цільових програм шляхом розроблення структури багатопарових штучних нейронних мереж і алгоритмів їх навчання із застосуванням різних функцій активації, проведення відповідного аналізу, встановлення закономірностей, вироблення рекомендацій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ефективність того чи іншого управлінського рішення оцінюється за подіями, які виникають вже після його прийняття. Тому прогноз некерованих аспектів таких подій перед прийняттям рішення дає змогу зробити найкращий вибір, який без прогнозування міг би бути не таким вдалим.

Нейромережні технології як потужний технологічний інструмент дають змогу полегшити спеціалісту процес прийняття важливих і неочевидних рішень в умовах невизначеності, дефіциту часу і обмежених інформаційних ресурсів. Характерною рисою нейронних мереж є їх здатність змінювати свою поведінку залежно від змін зовнішнього середовища з урахуванням прихованих закономірностей з потоку даних.

При цьому алгоритми навчання не вимагають будь-яких попередніх знань про наявні в предметній ділянці взаємозв'язки – необхідно тільки підібрати достатнє число прикладів, які описують поведінку модельованої у минулому системи.

В Україні розроблені основні напрями державної екологічної політики та підписано ряд міжнародних конвенцій, які визначають не лише цілі та пріоритетні задачі охорони зовнішнього середовища, але й механізми їх реалізації. Одним з механізмів є екологічний моніторинг.

У зв'язку зі збільшенням негативного впливу на довкілля всіх видів людської діяльності останніми роками виникла потреба в організації періодичних і неперервних довгострокових спостережень, в оцінках становища загалом. Контролюються екологічні умови як навколо окремих об'єктів-забруднювачів, так і в межах районів, регіонів, тощо. Склалася ціла система таких досліджень, спостережень і операцій, яка повідомляє в реальному часі контролюючим органам про викиди, що відбулися, про аварії на виробництві та інші надзвичайні ситуації, а також надає рекомендації про необхідні дії в разі виникнення таких ситуацій.

Сьогодні перед регіональною економікою стоїть завдання з перетворення ідеальної моделі екологічно сталого розвитку на реальну модель вітчизняного способу виробництва. Як засіб реалізації завдання розглядається впровадження на підприємствах системи екологічного менеджменту.

Розв'язання екологічних проблем в рамках проекту сталого розвитку м. Жовті Води до 2020 р. планується, зокрема, здійснюватися за рахунок вдосконалення системи постійного екологічного моніторингу і контролю, а також екологічного управління регіоном в умовах перманентної нестачі коштів або «заморожування» реалізації державних цільових програм.

Прогнозні розрахунки і заходи Програми соціально-економічного та культурного розвитку м. Жовті Води розроблені на основі аналізу поточної соціально-економічної та еколого-економічної ситуації у господарському комплексі міста. Як видно з діаграми (рис. 1), згідно з даними служби статистики, у період 2006–2015 рр. поточні витрати на охорону навколишнього середовища значно перевищують капітальні інвестиції.

Важливою складовою регіонального управління є прогнозування як ланка між теоретичними розробками та господарською практикою. Вибір методів прогнозування здійснено відповідно до характеру об'єкта та вимог, які висуваються до інформаційного забезпечення прогнозів. Під час вибору методу прогнозування було враховано наявність статистичних даних за необхідний період (2006–2015 рр.), визначено період, горизонт та інтервал прогнозування.

Для аналізу даних та прогнозування було використано штучні нейронні мережі, оскільки нейромережні технології не вимагають підви-

щених вимог до точності вхідних даних як на етапі навчання, так і під час їх застосування. При цьому нейромережі здатні [1, с. 227]:

- навчатися на конкретному наборі і таким чином пристосовуватися до поточної ситуації;
- стабільно розпізнавати та прогнозувати нові ситуації з високим рівнем точності в умовах зовнішніх перешкод (наприклад, появи неповних чи суперечливих значень в потоках інформації).

Об'єктом дослідження у цій роботі є вибір або розробка структури нейронних мереж та алгоритмів роботи нейронних мереж для розв'язання задач аналізу даних еколого-економічних показників по місту Жовті Води за період 2006–2016 рр. та прогнозування на майбутні періоди з метою своєчасного виявлення внутрішніх проблем та їх попередження.

В рамках виконання науково-дослідної роботи за темою «Моделювання сталого розвитку громади міста Жовті Води: економічний та соціальний аспекти» розглянемо особливості застосування нейронних мереж для прогнозування еколого-економічного розвитку регіону в умовах недостатнього фінансування заходів, спрямованих на ліквідацію забруднення території техногенними та техногенно-підсиленними джерелами (викиди забруднюючих речовин стаціонарними та пересувними джерелами забруднення, наявність відходів I–III класів небезпеки, наявність відходів I–IV класів небезпеки тощо).

В результаті проведеної роботи було побудовано низку нейромережевих моделей різних типів. За основу моделі було взято структуру елементарного перцептрона, що складається з елементів 3-х типів [1, с. 234–235]:

1) S-елементів – це шар сенсорів, або рецепторів; кожен рецептор може знаходитися в одному з двох станів, а саме спокою або збудження, і тільки в останньому випадку він передає одиничний сигнал в наступний шар, асоціативним елементам;

2) A-елементів, що називаються асоціативними, тому що кожному такому елементу, як правило, відповідає цілий набір (асоціація) S-елементів; A-елемент активізується, як тільки кількість сигналів від S-елементів на його вході перевищить деяку величину (поріг) θ ;

3) R-елемента – суматора, куди передаються сигнали від активізованих A-елементів; сигнал

від i -го асоціативного елемента передається з коефіцієнтом W_i ; цей коефіцієнт називається вагою A-R зв'язку.

Як і A-елементи, R-елемент підраховує суму значень вхідних сигналів, помножених на ваги. R-елемент, а разом з ним і елементарний перцептрон видають 1, якщо лінійна форма перевищує поріг θ , інакше на виході буде -1. Математично функція, реалізована R-елементом (1), виглядає так:

$$f(x) = \text{sign}\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i - \theta\right). \quad (1)$$

Зважена сума вхідних сигналів передається на нелінійний елемент, де підлягає обробці функцією активації. У штучних нейромережах одержали поширення такі основні види функцій активації: жорстка сходинка, функція Фермі, гіперболічний тангенс, положиста сходинка, експонента, Гаусова крива, лінійна [1, с. 235–240].

Моделі ґрунтувалися на найбільш використовуваних нейронних мережах типу «багатошаровий перцептрон», що містить три шари: вхідний шар, що складається з 8 нейронів за кількістю змінних, внутрішній, що складається з 4 нейронів, вихідний, що складається з одного нейрону, що визначається лише розрахунком на суматорі. Кількість параметрів налаштування нейронної мережі – ваг міжнейронних зв'язків та параметрів зміщення в суматорах нейронів моделі – дорівнює 32, що істотно менше за обсяг навчальної вибірки. Перетворення вхідних сигналів здійснюється лише на нейронах другого шару із застосуванням функції активації. Вид функції активації визначається специфікою завдання, зручністю реалізації на ЕОМ та алгоритмом навчання. Вдалий вибір може скоротити час навчання у кілька разів.

Сигмоїдну функцію було застосовано як стискальну. Її важливі позитивні якості – це гладкість та безперервність. Безперервність першої похідної дає змогу навчати мережу градієнтними методами (наприклад, метод зворотного поширення помилки). Нейрон функціонує з великим підсиленням у широкому діапазоні рівня вхідного сигналу, але діапазон вхідних значень від 0 до 1 несиметричний, тому навчання мережі значно уповільнюється.

Жорстка сходинка – надмірно спрощена функція, яка не дає змогу моделювати схеми з



Рис. 1. Статистичні показники по м. Жовті Води за період 2006–2015 рр.

безперервними сигналами. Параметри нейрона під час навчання розраховуються за формулами, а не налаштовуються по крокам, до того ж схема не вимагає значних обчислювальних витрат.

Функція «гіперболічний тангенс» за формою подібна до сигмоїдної, але має стосовно неї переваги щодо симетричності відносно початку координат та можливості набувати значення різних знаків.

З використанням функції «полога сходи́нка» ускладнюється алгоритм навчання мережі через розривну першу похідну в точках $NET=F$ та $NET=F+\Delta$, рекомендована до застосування там, де потрібні виходи – вірогідності [1, с. 238–240].

Навчання мережі може бути виконане на основі статистичних даних за деякий попередній період, які можна отримати з бази даних системи екологічного моніторингу. Оскільки відомі як вхідні вектори, так і вихідні, ШНМ використовуватиме алгоритм навчання з вчителем.

У побудованій простій тришаровій нейромережі вхідні дані порівнюються з виходом мережі і підлягають нормуванню. Навчання мережі проводиться за допомогою надбудови «Excel» «Пошук рішення». Спочатку ваги були взяті випадковим чином. Цільовою коміркою обиралися помилка мережі в нормованому вигляді. Цільове значення дорівнювало необхідній помилці розпізнавання даних, приблизно 0,2. Змінні комірки – це таблиця ваг W . Навчання проводилося послідовно: проводився «Пошук рішення» зі збільшенням індексу в змінній комірці з кроком 1 (від 1 до 6 і знову 1), на вхід надходив новий вектор та виконувалося повернення до пошуку. Під час навчання вдалося знизити помилку виходу мережі в нормованому вигляді до 25%, в абсолютному – до 19%.

Після отримання передбачених значень і за наявності правильних значень можна отримати абсолютні та відносні відхилення на всій контрольній множині для кожного кроку прогнозування. За наявності задовільних результатів прогнозування на контрольній множині можна вважати, що налаштована мережа для цієї задачі має оптимальну складність і готова до відтворення даних, для яких немає відповідних відомих відгуків.

Навчання простої тришарової нейромережі проводиться за допомогою макросу, що запускається командною кнопкою. Спочатку ваги були взяті випадковим чином. Макрос навчання вимагає поставити кількість ітерацій від 1 близько 100, активується дія натисканням командної кнопки. Крок зміни ваг мережі прямо пропорційний номеру ітерації. Чим ближче ітерації добігають кінця, тим менше змінюються ваги мережі. Навчання макросом дало змогу розпізнати до 60% векторів з помилкою мережі в нормованому вигляді до 0,04, в абсолютному – -0,16.

Розглянуто просту тришарову нейромережу зі зворотним зв'язком. Навчання мережі проводиться за допомогою макросу. Макрос навчання

вимагає вказати число ітерацій. Зворотній зв'язок забезпечується командною кнопкою, а під час навчання він виконується автоматично. Під час навчання мережі зі зворотним зв'язком макросом для підлаштування ваг мережа запам'ятовує вплив навчальної вибірки, а середні з вибірки дані становлять основу мережі з помилкою в нормованому вигляді до 0,34, в абсолютному – -1,53.

Використовуваний під час дослідження математичний апарат дав змогу застосувати аналіз до елементарного перцептрона Розенблатта і розкрив багато принципів обмежень для паралельних обчислень, від яких залежить кожен вид сучасних штучних нейронних мереж. Підтверджено, що моделювання нейромереж на звичайних послідовних ПЕОМ дає програвш у швидкодії.

Висновки. Таким чином, ще одним з напрямів використання ШНМ може стати оперативний прогноз еколого-економічних показників в аналізі та моделюванні фінансової стійкості підприємств. Для ефективного прогнозування з використанням інтелектуальних технологій моделювання – штучних нейронних мереж – необхідні деякий мінімум спостережень та час для досягнення результату. В результаті застосування надбудов «Excel», що виступають в ролі інструмента дослідження, стало можливим створення нейромережі, яка базується на пошуку схожих параметрів показників, відстежених системою екологічного моніторингу за визначений період, та порівнянні їх з даними, що привели до екозагроз, з метою формування оперативної інформації.

Доведено, що шляхом оптимізації S-A-зв'язків у багатошаровій нейромережі можна добитися значного поліпшення характеристик перцептрона. Встановлено також, що нейронні мережі з ідентичними структурами під час зміни параметрів налаштування виявлялись здатними по-різному здійснювати класифікацію об'єктів дослідження.

Аналіз показав, що штучні нейронні мережі можуть бути широко використані в системах екологічного менеджменту як ресурсне забезпечення для вирішення екологічних цілей і завдань. Основними напрямками розвитку нейромережевої технології в даний час є вдосконалення алгоритму навчання та створення спеціальної техніки з метою підвищення швидкодії обчислень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Іванченко Г.Ф. Системи штучного інтелекту: [навч. посіб.] / Г.Ф. Іванченко. – К.: КНЕУ, 2011. – 382 с.
2. Матвийчук А.В. Прогнозирование банкротства предприятий с использованием инструментария нейронных сетей / А.В. Матвийчук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://beintrend.ru/2011-11-17-13-50-44>.
3. Буданова М.М. Використання нейромережевих моделей у фінансовій сфері / М.М. Буданова, А.Ю. Мазарчук

- [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://lubbook.org/book_654_glava_26_Vikoristannja_nejromerezhevik.html
4. Оссовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Оссовский; пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
 5. Смирнов С.О. Застосування нейронних мереж для задач прогнозування фінансових часових рядів / С.О. Смирнов, М.Є. Шалашенко // Економіка: Вісник Дніпропетровського університету, 2008. – 128 с.
 6. Кравець І.О. Дослідження застосування нейронних мереж для задач «Data Mining» / І.О. Кравець, О.О. Пищита // Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили. Сер.: Комп'ютерні технології. – 2008. – Т. 90. – Вип. 77. – С. 122–129. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npduct_2008_90_77_16.
 7. Застосування штучних нейронних мереж для прогнозування курсу акцій / [О.В. Годич, Б.О. Голуб, Ю.С. Щербина] // Вісник. – 2002. – Вип. 4. – С. 1–10.
 8. Федулова С.О. Застосування нейронних мереж в прогнозуванні соціально-економічного розвитку регіону / С.О. Федулова, О.В. Білоброва // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2015. – № 2. – С. 223–226.