



УДК 004.8:658:339.7

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ У ПРОЦЕСІ ЇХ ІНТЕРНАЦІОНАЛІЗАЦІЇ

Олег Пастух¹; Ірина Крамар¹; Олександр Чернух²

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Тернопіль, Україна

²ТОВ «ЕПАМ Системз Іспанія», Мадрид, Іспанія

Резюме. Здійснено оцінювання ефективності діяльності промислових підприємств у процесі їх інтернаціоналізації за допомогою засобів штучного інтелекту. Досліджено переваги застосування методу нейромережового моделювання для вирішення економічних завдань та обґрунтовано доцільність його використання у проведенні даного дослідження. На основі даних експертного оцінювання та фінансової звітності десяти промислових підприємств за допомогою лінійного коефіцієнта кореляції Пірсона встановлено значущість кожного із 25 параметрів (субкритеріїв), які впливають на ефективність діяльності промислових підприємств. Визначено, що 10 із них мають найбільшу значущість. На основі визначення значущості субкритеріїв розроблено програмну систему інтелектуальних агентів (нейронних мереж) для підтримки прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності щодо інтернаціоналізації промислових підприємств з метою забезпечення ефективності їх діяльності. Для програмної системи інтелектуальних агентів застосовано метод машинного навчання багатопарового перцептронну (БШП). Розраховано значення середньої абсолютної помилки (MAPE) оцінки якості програмної системи інтелектуальних агентів, яке становить 1,2%, що свідчить про високу точність отриманих результатів. Встановлено, що розроблений програмний продукт можна застосовувати для вирішення також інших проблем у діяльності підприємства.

Ключові слова: штучний інтелект, нейронні мережі, інтернаціоналізація, ефективність.

https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2019.03.121

Отримано 13.06.2019

Постановка проблеми. Сучасні тенденції світової економіки вказують на те, як стрімко розвиваються глобалізаційні процеси, в ході яких національні економіки крок за кроком вбудовуються в глобальний економічний простір. З огляду на те, що стан розвитку та інтеграції національної економіки у світове співтовариство залежить в основному від розвитку суб'єктів підприємницької діяльності, то важливим завданням є аналіз управлінської діяльності на підприємстві в контексті прийняття рішень в умовах невизначеності та багатокритеріального вибору – тих умовах, в яких часто доводиться працювати підприємствам.

Тому актуальним завданням є розроблення нових та модифікація існуючих підходів при виборі альтернатив щодо форм і методів активізації інтернаціоналізації промислового підприємства. Для прискорення аналізу та прийняття ефективних управлінських рішень необхідним є використання спеціалізованого програмного забезпечення, в якому б реалізовувалися як відповідні алгоритми опрацювання первинної інформації, так і необхідні для такої діяльності математичні моделі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні й практичні аспекти використання економіко-математичних методів та програмного забезпечення при розв'язанні економічних завдань вивчали закордонні та вітчизняні науковці, зокрема А. Шапкін, Л. Канторович, А. Гатаулін, А. Горстко, Т. Сорокіна та ін. Питаннями застосування нейронних мереж (НМ) в економіці присвячені праці М. Лема [1],

Е. Ондера [2], Х. Уайта [3], Н. Свансона [4], М. Джордана, Т. Мітчелла [5], Р. Ткаченка [6] та ін. Однак проблема прийняття ефективних управлінських рішень щодо інтернаціоналізації промислових підприємств із використанням штучного інтелекту, зокрема НМ, є малодослідженою.

Метою дослідження є визначення значущих субкритеріїв та оцінювання ефективності діяльності промислових підприємств у процесі їх інтернаціоналізації шляхом застосування нейронних мереж.

Постановка завдання. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання: оцінити значущість кожного із субкритеріїв, які є вхідними даними для побудови нейронних мереж; розробити програмну систему інтелектуальних агентів для підтримки управлінських рішень щодо інтернаціоналізації промислових підприємств.

Виклад основного матеріалу. Інтернаціоналізація промислових підприємства має на меті, в першу чергу, забезпечення (1) ефективності його діяльності та (2) створення соціального ефекту. Під ефективністю діяльності розуміємо «прибутковість». Сучасний етап розвитку глобалізаційних процесів характеризується накопиченням великого обсягу експериментальних даних про залежність ефективності інтернаціоналізації промислового підприємства від управлінських рішень щодо вибору певних заходів, покликаних сприяти її активізації. Процес оцінювання впливу цих заходів, їхньої комбінації, вибір найкращої альтернативи, її апробації та впровадження – довготривалий, вартісний і складний, адже потребує комплексного аналізу наявних ресурсів підприємства та комбінацій великої кількості факторів, що впливають на результат зовнішньо-економічної діяльності.

За таких умов оцінювання якості прийнятих управлінських рішень щодо вибору альтернативних дій з метою забезпечення ефективності інтернаціоналізації промислових підприємств передбачає такі можливі підходи:

1) аналіз існуючої, накопиченої роками, інформації про певні об'єкти і проведення дослідження на основі аналізу традиційних показників, що характеризують ЗЕД підприємства;

2) застосування сучасних методів дослідження, адаптованих до новітніх програм і технологій, одним з яких є засоби штучного інтелекту (ШІ) (Artificial Intelligence, AI).

Оцінювання ефективності інтернаціоналізації на основі аналізу традиційних показників характеризується такими особливостями: П. Г. Ільчук класифікував традиційні показники на шість груп [7]: (1) базові показники; (2) показники, що визначають на основі діапазону діяльності; (3) індекси; (4) показники, що визначають на основі рівня концентрації видів діяльності; (5) показники, що визначають на основі рівня диверсифікації видів діяльності; (6) показники, що враховують участь окремих видів діяльності у ланцюгу вартості.

Проте аналіз традиційних показників на практиці має ряд недоліків, зокрема: відсутність єдиної методики розрахунків; відсутність теоретичної та емпіричної перевірки обґрунтування структури вказаних показників; відсутність різної ваги елементів; ускладнений доступ до отримання окремих даних, необхідних для проведення розрахунків; концентрація на показниках, характерних високоінтернаціоналізованим підприємствам без належної уваги менш інтернаціоналізованим.

Варто відзначити також, що використання існуючих математичних моделей в економіці передбачає їх зручність та високу точність отриманих результатів, чого не завжди вдається досягти. В таких випадках зазвичай звертаються до методів інформаційного моделювання. Зокрема, класичний підхід на основі методів регресійного аналізу не завжди себе виправдовує через необхідність використання значного об'єму

експериментальних даних, неможливість встановлення істинного зв'язку між ними та наявність високого рівня математичної кваліфікації дослідника.

Саме тому вважаємо, що використання засобів ШІ є одним із найоптимальніших методів при прийнятті управлінських рішень, адже він вивчає навіть ті способи розв'язання задач, для яких не існує способів вирішення, так як системи штучного інтелекту можуть оперувати наявними даними та самонавчатися.

Основні сфери застосування цих систем пов'язані з підтримкою прийняття управлінських рішень при моделюванні функціональних складових менеджменту, зокрема фінансів, виробництва, людських ресурсів тощо. Наприклад, в підприємницькій діяльності прийняття рішень стосовно вибору найкращої комбінації заходів, що стимулюватимуть інтернаціоналізацію промислового підприємства, може прийматися комп'ютеризовано на основі опрацювання даних основних критеріїв оцінювання ефективності інтернаціоналізації тих підприємств, котрі уже працюють у даній сфері та є в одному полі із досліджуваним.

Актуальність застосування потужних та сучасних засобів машинного навчання (МН) (Machine Learning, ML) як одного із напрямів ШІ, полягає у тому, що вони спрощують, скорочують, здешевлюють цей процес і дають можливість проведення досліджень в умовах дефіциту даних. Це відбувається завдяки розв'язанню задач прогнозування та регресії, класифікації чи кластеризації на невеликій базі експериментальних даних і екстраполюванні результатів на новий матеріал.

Одним із видів МН є нейромережеве моделювання (НМ) (Neural Network (NN)). Серед основних переваг НМ слід відзначити:

- адаптивність до нової динамічної інформації завдяки здатності самонавчатися;
- швидкість прийняття управлінських рішень на основі вхідної інформації в онлайн режимі та умовах невизначеності;
- здатність накопичувати знання у часі;
- можливість здійснення моделювання без особливих навичок;
- надійність отриманих функцій та наочність представлених результатів.

Зважаючи на вищесказане, використаємо НМ як базисні алгоритми в основі розроблення програмної системи інтелектуальних агентів для підтримки прийняття управлінських рішень шляхом їх голосування щодо ефективності діяльності (прибутковості) промислового підприємства у процесі його інтернаціоналізації.

Розробленню програмної системи інтелектуальних агентів для вищенаведеного призначення передують потреба у вирішенні завдання визначення значущості субкритеріїв, значення яких є вхідною інформацією для такої програмної системи.

Формування вихідної бази даних для визначення значущості субкритеріїв виконувалося на основі даних відкритої фінансової звітності та експертного оцінювання керівників відділів і/або директорів промислових підприємств. На основі зібраних результатів оцінювання ефективності інтернаціоналізації промислових підприємств для восьми критеріїв – торговельного, фінансово-інвестиційного, виробничого, технологічного, інфраструктурного, наукового, освітнього, мотиваційного (особистісного) було виділено 25 субкритеріїв.

За основу визначення значущості субкритеріїв було вибрано лінійний коефіцієнт кореляції Пірсона. В табл. 1 та на рис. 1 наведено статистичні оцінки лінійного коефіцієнта кореляції Пірсона між кожним субкритерієм та ефективністю діяльності (прибутковістю) промислового підприємства (цільовою змінною C_i).

Таблиця 1

Значущість субкритеріїв на основі лінійного коефіцієнта кореляції Пірсона

Table 1

Significance of subcriteria based on the Pearson linear correlation coefficient

Субкритерій	Значення лінійного коефіцієнта кореляції Пірсона	Субкритерій	Значення лінійного коефіцієнта кореляції Пірсона
СК11	0,99992248	СК51	-0,759400446
СК12	-0,19237902	СК52	-0,326708084
СК13	0,271330508	СК53	-0,571851164
СК21	-0,17740434	СК61	0,999276677
СК22	-0,17754609	СК62	-0,627915929
СК23	-0,880914831	СК63	-0,121417654
СК31	-0,121417654	СК64	-0,832612384
СК32	-0,204894885	СК71	-0,140623932
СК33	0,99701923	СК72	-0,15941246
СК41	-0,251971819	СК73	-0,187345974
СК42	0,914084104	СК81	-0,16770542
СК43	0,888015901	СК82	0,101560162
		СК83	-0,182266717

Від’ємне значення лінійного коефіцієнта кореляції Пірсона у табл. 1 свідчить про обернений зв’язок між змінними СК та цільової змінної С (прибуток).

Значущість субкритеріїв наведено на рис. 1.

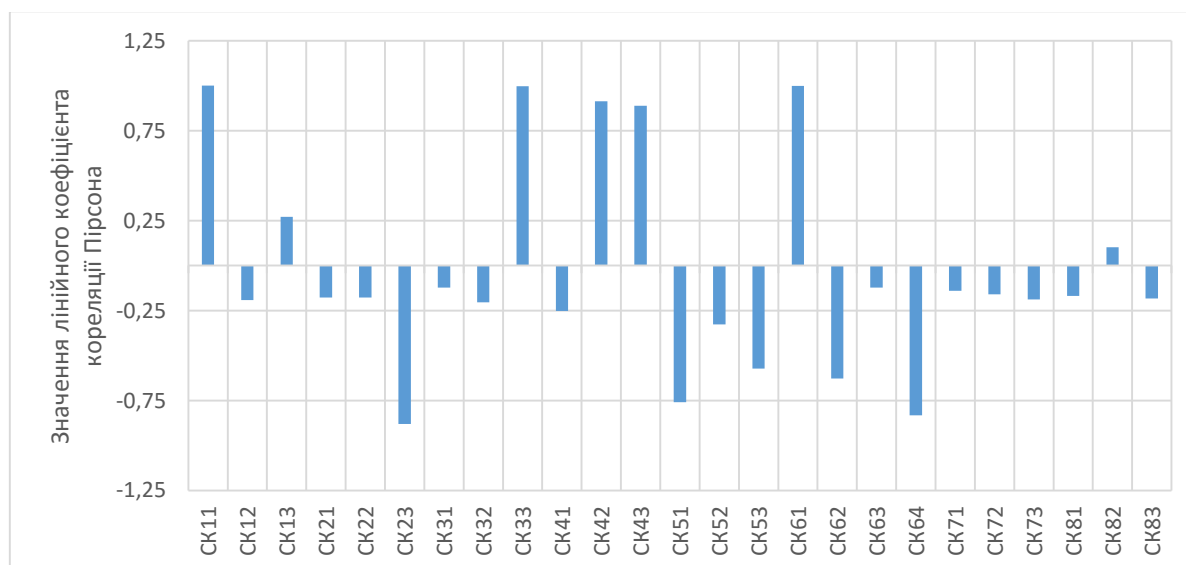


Рисунок 1. Значущість субкритеріїв. Рівень значущості $p < 0,05$

Figure 1. Significance of subcriteria. Level of significance $p < 0,05$

Як бачимо з даних, представлених у табл. 1 та на рис. 1, значущими субкритеріями є такі: СК11 (прибуток/збиток, отриманий від прямого експорту товарів і послуг), СК23 (витрати на розроблення й реалізацію маркетингових стратегій виходу на зовнішні ринки чи розширення присутності на ньому), СК33 (прибуток/збиток, отриманий від реалізації продукції, виготовленої на експорт в країні базування), СК42 (прибуток/збиток, отриманий від реалізації продукції, виготовленої за модернізованими технологіями за рахунок придбання обладнання за кордоном, у т. ч. по лізингу), СК43, СК51 (прибуток/збиток, отриманий від реалізації продукції, виготовленої за інноваційними та модернізованими технологіями, яка підлягає стандартизації, сертифікації, екологічній експертизі), СК53 (витрати на утримання підрозділів (працівників), задіяних у реалізації стратегії виходу на зовнішні ринки / розширення присутності на ньому), СК61 (витрати на юридичний супровід виходу на зовнішні ринки /розширення присутності на ньому), СК62 прибуток/збиток від діяльності підрозділів (працівників), задіяних у проведенні науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт (НДДКР), СК64 (прибуток/збиток від проведення НДДКР, у т. ч. витрати на патентування; витрати на трансфер технологій).

Значення цих субкритеріїв використовувалися як вхідна інформація для програмної системи інтелектуальних агентів.

Для програмної системи інтелектуальних агентів застосовано метод машинного навчання багатоповарового перцептрона (БШП) (Multi-Layer Preceptron, MLP) із використанням програмного середовища Statistica Trial. Цей метод НМ має дві основні переваги: простота у застосуванні та забезпечення необхідних узагальнюючих властивостей.

Вихідними даними є значення змінних СК та цільової змінної C_i десяти промислових підприємств, позначених як П1, П2, П3.....П10.

Після групування даних задається структура мережі з вибором кількості прихованих шарів нейронів, вхідних нейронів та функції перетворення, що впливає на результативність функціонування нейронної мережі.

Сигнали з вхідного шару нейронів передаються до прихованих шарів, які їх опрацьовують та перетворюють зазвичай за допомогою логістичної апроксимації на ступеневу або порогову функції. Потім отриманий сигнал передають до вхідного шару нейронів, де інформація опрацьовується знову для отримання фінального результату. Повнозв'язна НМ є такою, де кожен вхідний нейрон зв'язаний зі всіма прихованими нейронами, і кожен з прихованих, у свою чергу, зв'язаний з наступними вихідними нейронами.

Структура тришарового перцептрона наведена на рис. 2.

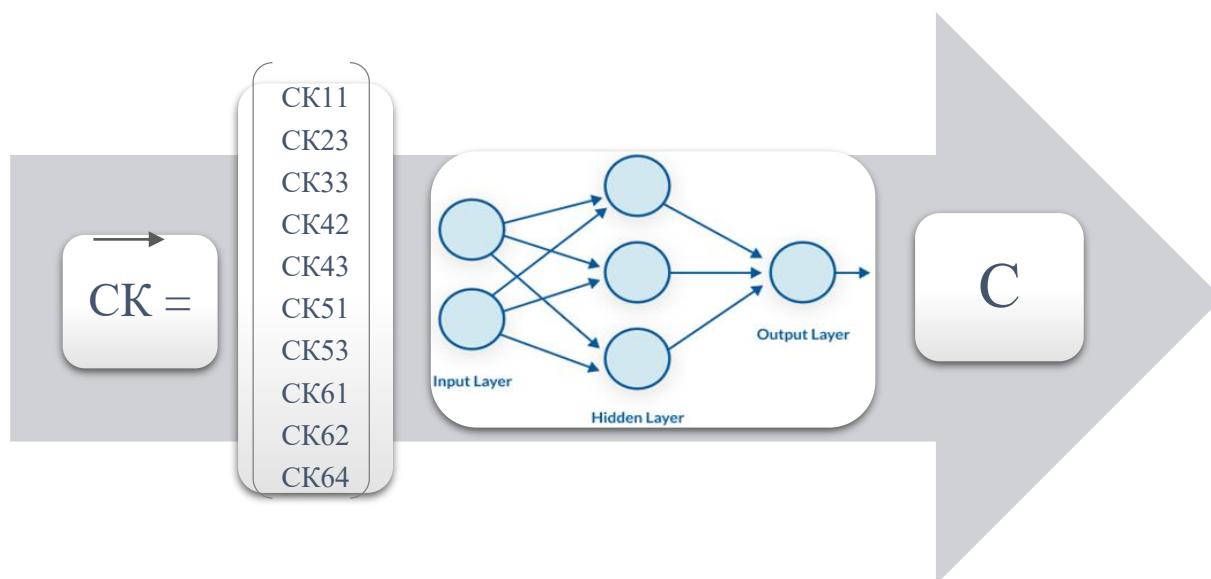


Рисунок 2. Структура тришарового перцептрона

Figure 2. Structure of a three-layered perceptron

Програмна система інтелектуальних агентів для підтримки прийняття управлінських рішень щодо забезпечення ефективності (прибутковості) промислового підприємства у процесі його інтернаціоналізації складалася з п'яти агентів, які в своїй основі використовували нейронні мережі з архітектурами, що наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Параметри інтелектуальних агентів (нейронних мереж)

Table 2

Parameters of Intelligent Agents (Neural Networks)

Архітектура інтелектуального агента (нейронної мережі)	Кількість нейронів у прихованому шарі	Метод навчання	Функція помилки	Функція активації прихованого шару	Функція активації вихідного шару
1	2	3	4	5	6
Інтелектуальний агент (багатошаровий перцептрон) #1	24	BFGS 21	SOS	Tanh	Identity
Інтелектуальний агент (багатошаровий перцептрон) #2	39	BFGS 4	SOS	Logistic	Logistic
Інтелектуальний агент (багатошаровий перцептрон) #3	9	BFGS 2	SOS	Exponential	Exponential
Інтелектуальний агент (багатошаровий перцептрон) #4	37	BFGS 30	SOS	Exponential	Tanh
Інтелектуальний агент (багатошаровий перцептрон) #5	40	BFGS 30	SOS	Exponential	Tanh

Прийняті рішення програмною системою інтелектуальних агентів щодо ефективності діяльності промислових підприємств визначалися шляхом їх голосування (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняння істинних значень цільової змінної C_i із значеннями цільової змінної, отриманої шляхом голосування інтелектуальних агентів (нейронних мереж) програмної системи

Table 3

Comparison of the true values of target variable C with the values of target variable obtained by voting of the software system intellectual agents (neural networks)

Підприємство	Значення цільової змінної, C_i	Значення цільової змінної, отримані шляхом голосування інтелектуальних агентів (нейронних мереж) програмної системи	Абсолютна різниця, Δ_i
П1	82,00	137,82	55,8185
П2	36250,00	36251,00	0,9975
П3	1420,00	1403,74	16,2569
П4	312,00	265,39	46,6106
П5	316,00	259,66	56,3377
П7	138,00	233,36	95,3595
П8	1217,00	1257,14	40,1436
П9	567,00	619,92	52,9217
П10	-154,00	-25,68	128,3163

Мірою якості прийнятих управлінських рішень програмною системою інтелектуальних агентів була середня абсолютна помилка (MAPE), значення якої становило

$$\delta = \frac{\text{average}(\Delta_i)}{\text{average}(|C_i|)} = 1,2\%.$$

Значення MAPE 1,2% вказує на правильність визначення значущості субкритеріїв, наведене у табл. 1, й високу точність аналізу їх впливу на цільову функцію.

Це дозволило побудувати навчальну та тестову вибірки для програмної системи інтелектуальних агентів, в якій значення вхідних параметрів повинно вибиратися користувачем дослідним шляхом. Практичне значення розробленого продукту полягає у можливості для керівника підприємства задати бажаний вихідний параметр (цільова змінна C_i – ефективність діяльності підприємства (прибуток), володіючи інформацією про необхідну зміну вхідних параметрів (субкритеріїв) при прийнятті управлінських рішень щодо його інтернаціоналізації.

Даний програмний продукт можна застосовувати для вирішення також інших проблем у діяльності підприємства.

Висновки. Вирішено задачу оцінювання ефективності діяльності промислових підприємств у процесі їх інтернаціоналізації для підтримки прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності на основі розробленої програмної системи інтелектуальних агентів за допомогою нейронних мереж.

На основі лінійного коефіцієнта кореляції Пірсона визначено 10 субкритеріїв, що є значущими для забезпечення ефективності їх діяльності в процесі інтернаціоналізації. В результаті навчання нейронних мереж, задаючи цільову функцію, можна керувати цими субкритеріями, а розроблену методику доцільно використовувати будь-яким підприємствам, які планують вихід на зовнішні ринки чи розширення присутності на ньому.

Conclusions. The task of evaluating the effectiveness of industrial enterprises' activities in the process of their internationalization in order to support the managerial decisions under conditions of uncertainty is solved in the article based on the developed programming system of intellectual agents with the help of neural networks.

Based on the linear Pearson correlation coefficient, 10 subcriteria are identified as significant for ensuring the effectiveness of industrial enterprises' activities in the process of their internationalization. As a result of teaching neural networks, by specifying a target function, one can manage these subcriteria. Moreover it is expedient to use the developed methodology for any enterprises that are planning to enter or expand their presence on the external markets.

Список використаної літератури

1. Lam M. Neural network techniques for financial performance prediction: integrating fundamental and technical analysis. *Decision Support Systems*. 2004. 37 (4). P. 567–581. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(03\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(03)00088-5)
2. Önder E., Firat B. Hepsen A. Forecasting Macroeconomic Variables using Artificial Neural Network and Traditional Smoothing Techniques. *Journal of Applied Finance & Banking*. 2013. Vol. 3. No. 4. P. 73–104. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2264379>
3. Kuan C. & White H. Artificial neural networks: an econometric perspective. *Econometric Reviews*. 1994. 13 (1). P. 1–91. <https://doi.org/10.1080/07474939408800273>
4. Swanson N. & White H. A model-selection approach to assessing the information in the term structure using linear models and artificial neural networks. *Journal of Business & Economic Statistics*. 1995. 13 (3). P. 265–275. <https://doi.org/10.1080/07350015.1995.10524600>
5. M. I. Jordan and T. M. Mitchell, «Machine learning: trends, perspectives, and prospects». *Science*. 2015. Vol. 349. No. 6245. Pp. 255–260. DOI: 10.1126/science.aaa8415. <https://doi.org/10.1126/science.aaa8415>
6. Ткаченко Р. Нова парадигма штучних нейронних мереж прямого поширення. *Вісник Державного університету «Львівська політехніка»*. Сер.: Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. 1999. С. 43–54.
7. Ільчук П. Г. Методи оцінювання рівня інтернаціоналізації підприємств. *Економіка і прогнозування*. № 4. 2014. С. 97–109.

References

1. Lam M. Neural network techniques for financial performance prediction: integrating fundamental and technical analysis. *Decision Support Systems*. 2004. 37 (4). P. 567–581. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(03\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(03)00088-5)
2. Önder E., Firat B. Hepsen A. Forecasting Macroeconomic Variables using Artificial Neural Network and Traditional Smoothing Techniques. *Journal of Applied Finance & Banking*. 2013. Vol. 3. No. 4. P. 73–104. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2264379>
3. Kuan C. & White H. Artificial neural networks: an econometric perspective. *Econometric Reviews*. 1994. 13 (1). P. 1–91. <https://doi.org/10.1080/07474939408800273>

4. Swanson N. & White H. A model-selection approach to assessing the information in the term structure using linear models and artificial neural networks. *Journal of Business & Economic Statistics*. 1995. 13 (3). P. 265–275. <https://doi.org/10.1080/07350015.1995.10524600>
5. M. I. Jordan and T. M. Mitchell, «Machine learning: trends, perspectives, and prospects». *Science*. 2015. Vol. 349. No. 6245. Pp. 255–260. DOI: 10.1126/science.aaa8415. <https://doi.org/10.1126/science.aaa8415>
6. R. Tkachenko Nova paradyhma shtuchnykh neironnykh merezh priamoho poshyrennia [New paradigm of artificial neural networks of direct distribution]. *Visnyk Natsionalnoho Universytetu "Lvivska politekhnikha": Komp'uterna Inzheneriia ta Informatsiini Tekhnolohii*. 1999. No. 386. Pp. 43–54. [In Ukrainian].
7. Ilchuk P. H. Metody otsiniuvannia rivnia internatsionalizatsii pidpriemstv. [Methods of assessing the level of internationalization of enterprises]. *Ekonomika i prohnozuvannia*. No. 4. 2014. P. 97–109. [In Ukrainian].

UDK 004.8:658:339.7

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS TO ENSURE THE EFFICIENCY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES' ACTIVITY IN THE PROCESS OF THEIR INTERNATIONALIZATION

Oleh Pastukh¹; Iryna Kramar¹; Oleksandr Chernukh²

¹Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, Ukraine

²EPAM Systems Spain SL, Madrid, Spain

***Summary.** The effectiveness of industrial enterprises activities in the process of their internationalization with the help of artificial intelligence tools is measured in the article. The advantages of using the method of neural network modeling for solving economic problems and the expediency of its use in conducting this research are explored. Based on the expert estimation and financial data of ten industrial enterprises, using the linear Pearson correlation coefficient, the significance of each of the 25 parameters (subcriteria) that affect the performance of industrial enterprises is established. It is determined that 10 of them have the greatest significance. On the basis this determination a software system of intellectual agents (neural networks) is developed to support the decision-making process under uncertain conditions which are directed on the internationalization of industrial enterprises in order to ensure effectiveness of their activities. For the software system of intelligent agents, the method of machine learning of multilayer perceptron (MLP) is used. The value of the average percentage error (MAPE) for estimating the quality of the software system of the intelligent agents is calculated and is equal to 1,2%, which indicates the high accuracy of the obtained results. It is determined that the developed software product can be used to solve other problems in enterprise activity.*

***Key words:** artificial intelligence, neural networks, internationalization, efficiency.*

https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2019.03.121

Received 13.06.2019