

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ У ПРОГНОЗУВАННІ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПІДПРИЄМСТВА

USE OF NEURAL NETWORKS IN PROGNOSIS OF MACROECONOMIC INDICATORS OF THE ENTERPRISE

УДК 658.5

Синиціна Ю.П.

к.т.н., доцент кафедри менеджменту
Національна металургійна академія
України

Каут О.В.

к.е.н., доцент кафедри менеджменту
Національна металургійна академія
України

Бушуєв К.М.

аспірант
Національна металургійна академія
України

Synytsina Yuliia

National Metallurgical Academy of Ukraine

Kaut Olga

National Metallurgical Academy of Ukraine

Bushuiev Kyrylo

National Metallurgical Academy of Ukraine

У статті досліджено використання нейронних мереж в аналізі макроекономічних показників підприємства, сформульовано макроекономічну модель аналізу, її зміст, етапи реалізації та впровадження. Узагальнено класифікацію елементів макроекономічної моделі. Виділено етапи підготовки та прийняття управлінських рішень у процесі розвитку підприємства, визначено місце нейронних мереж в макроекономічній моделі аналізу показників підприємства. Розроблено програмний продукт на основі нейромереж за статистичними даними, який дає змогу прогнозувати макроекономічні показники не тільки України, але й інших країн під час виходу підприємств на ці зовнішні ринки. Описано програмний інтерфейс. Наведено параметри налаштування алгоритмів навчання та нейромережі загалом. Визначено структуру нейромережі. Проведено, проаналізовано тестові запуски. Визначено, що найкращі прогнози власності щодо побудованої математичної моделі макроекономіки України демонструє генетичний алгоритм під час використання радіально-базисних функцій.

Ключові слова: прогнозування, нейронна мережа, макроекономічні показники, економетрична модель, статистика.

В статті досліджено використання нейронних мереж в аналізі макроекономічних показників підприємства, сформульовано макроекономічну модель аналізу, її зміст, етапи реалізації та впровадження. Узагальнено класифікацію елементів макроекономічної моделі. Виділено етапи підготовки та прийняття управлінських рішень у процесі розвитку підприємства, визначено місце нейронних мереж в макроекономічній моделі аналізу показників підприємства. Розроблено програмний продукт на основі нейромереж за статистичними даними, який дає змогу прогнозувати макроекономічні показники не тільки України, але й інших країн під час виходу підприємств на ці зовнішні ринки. Описано програмний інтерфейс. Наведено параметри налаштування алгоритмів навчання та нейромережі загалом. Визначено структуру нейромережі. Проведено, проаналізовано тестові запуски. Визначено, що найкращі прогнози власності щодо побудованої математичної моделі макроекономіки України демонструє генетичний алгоритм під час використання радіально-базисних функцій.

ческих показателей предприятия, сформулированы макроэкономическая модель анализа, ее содержание, этапы реализации и внедрения. Обобщена классификация элементов макроэкономической модели. Выделены этапы подготовки и принятия управленческих решений в процессе развития предприятия, определено место нейронных сетей в макроэкономической модели анализа показателей предприятия. Разработан программный продукт на основе нейронных сетей по статистическим данным, позволяющий прогнозировать макроэкономические показатели не только Украины, но и других стран при выходе предприятий на эти внешние рынки. Описан программный интерфейс. Приведены параметры настройки алгоритмов обучения и нейросети в целом. Определена структура нейросети. Проведены, проанализированы тестовые запуски. Определено, что самые лучшие прогнозные свойства касательно построенной математической модели макроэкономики Украины демонстрирует генетический алгоритм при использовании радиально-базисных функций.

Ключевые слова: прогнозирование, нейронная сеть, макроэкономические показатели, эконометрическая модель, статистика.

The article analyzes the use of neural networks in the analysis of macroeconomic indicators of an enterprise and formulates the macroeconomic model of analysis, its content, stages of implementation and implementation. The stages of preparation and acceptance of management decisions in the process of enterprise development are determined and the place of neural networks in the macroeconomic model of enterprise indicators analysis is determined. A software product, based on neural networks based on statistical data, has been developed, which allows forecasting macroeconomic indicators of not only Ukraine but also other countries when the company enters these external markets. The software interface is described. The parameters of the training algorithms and the neural network as a whole are given. It is determined that the best predictive properties for a mathematical model of macroeconomics of Ukraine, which is constructed, demonstrate a genetic algorithm using radial-base functions. For prediction of systems based on NNs, the best quality is shown by a heterogeneous network consisting of hidden layers with a nonlinear activation function of the neuronal elements and the output or linear neuron. The disadvantage of most of the considered nonlinear activation functions is that the range of their initial values is limited by the segment [0.1] or [-1.1]. This leads to the need to scale the data, if they do not belong to the above range of values. In the paper, we propose to use a logarithmic activation function for solving prediction problems, which allows obtaining a forecast much more accurately than using a sigmoid function. The architecture of the National Assembly plays an important role for the network's learning efficiency. We used a three-layer perceptron that allows us to approximate any function with arbitrarily given accuracy. Accuracy is determined by the number of neurons in the hidden layer, but with too much dimension of the hidden layer may occur a phenomenon called redistribution of the network. To eliminate this disadvantage it is necessary that the number of neurons in the intermediate layer is significantly less than the number of training images. On the other hand, with a very small dimension of a hidden layer, you can get into an undesirable local minimum.

Key words: forecasting, neural network, macroeconomic indicators, econometric model, statistics.

Постановка проблеми. Ефективне управління підприємством базується на основі науково обґрунтованих комплексних соціально-економічних прогнозів. Успішна побудова подібних прогнозів спирається на економічну статистику та різні математичні методи, перш за все на методи математичної статистики та нейромереві методи. Останніми роками економетричне моделювання все активніше використовується в Україні для аналізування та прогнозування як окремих макроекономічних показників, так і груп взаємопов'язаних показників у зовнішньоекономічній діяльності підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням дослідження використання нейронних мереж займалися вітчизняні та іноземні вчені, зокрема С. Хайкін, О.Г. Руденко, Є.В. Бодяньський, С.М. Осовський. Нейронні мережі – це досить гнучкий продукт, що надає розробникам велику кількість можливостей для досягнення конкретних цілей. Проблеми побудови МІС підприємства висвітлені в роботах таких науковців, як О.М. Фроленко [1], Я.Г. Панухник [2], О.В. Сохацька [3], але вдосконалення МІС саме із застосуванням СППР на основі нейронних мереж не висвітлюється. В.О. Петренко, К.М. Бушуєв, Л.М. Савчук,

Т.А. Фонарьова досліджують питання вдосконалення МІС підприємства за рахунок відповідної концепції з розробленою схемою її побудови в системі підтримки прийняття рішень на основі нейронних мереж [4], але не розглядають питання прогнозування макроекономічних показників підприємства. Л.М. Савчук, К.М. Бушуєв досліджують математичну модель прогнозування макроекономічних показників економіки України, але недостатньо висвітлюють вплив нейронних мереж на макроекономічні показники підприємства [5]. Основні труднощі на шляху ще більшого поширення нейротехнологій полягають у невмінні широкого кола професіоналів формулювати свої проблеми в термінах, що допускають просте нейромережеве рішення [6].

Постановка завдання. Метою статті є дослідження можливостей практичних аспектів застосування нейронних мереж в аналізі макроекономічних показників підприємства.

Виклад основного матеріалу дослідження. В роботі використовувалась модель серії LAM-3 на основі рівнянь міжнародної торгівлі [7]. На її основі була розроблена економетрична макромодель для аналізування та короткострокового прогнозування сукупного попиту в Україні, що включає валовий внутрішній продукт (ВВП); кінцеве споживання домашніх господарств (ДГ) і некомерційних організацій, які обслуговують ДГ; кінцеве споживання державних установ (ДУ); валове накоплення; зовнішньоторговельне сальдо; експорт товарів; імпорт товарів; експорт послуг; імпорт послуг; реальну оплату праці робітників; реальні грошові доходи населення. Ці взаємозв'язки мають найбільше значення для вибору ключових орієнтирів економічної політики в Україні, тому в макромоделі вони представлені системою, що включає авторегресивні рівняння дефлятора ВВП, грошової маси (M2). Макромодель також доповнена регресійним рівнянням для показника сальдо купівлі-продажу іноземної валюти. Ендогенними змінними є ВВП; кінцеве споживання ДГ і некомерційних організацій, які обслуговують ДГ; кінцеве споживання ДУ; валове накоплення; експорт товарів; імпорт товарів; експорт послуг; імпорт послуг; сальдо зовнішньої торгівлі; грошові доходи населення; оплата праці робітників; сальдо купівлі-продажу іноземної валюти. Екзогенними змінними в макромоделі є номінальний курс гривні по відношенню до долара США; номінальна тарифна ставка першого розряду; середньооблікова чисельність працівників, зайнятих в економіці; номінальна середня заробітна плата одного працівника; продуктивність праці. В основі макромоделі лежить відоме рівняння Кейнса, відповідно до якого ВВП може бути отриманий методом кінцевого викорис-

$$gdp_t = fchn_t + fcg_t + gcf_t + saldo_t, \quad (1)$$

де gdp_t – ВВП; $fchn_t$ – кінцеве споживання державних господарств і некомерційних організацій, які обслуговують ДГ; fcg_t – кінцеве споживання державних установ; gcf_t – валове накоплення; $saldo_t$ – чистий експорт товарів та послуг.

Під час побудови економетричної моделі кінцевого споживання ДГ та некомерційних організацій, які обслуговують ДГ, як фактори враховуються грошові доходи населення ($MINC_t$) та накопичення заощаджень у внесках, цінні папери, сальдо купівлі продажу іноземної валюти банками ($ASAV_t$), тобто:

$$fchn_t = f_1(MINC_t, ASAV_t). \quad (2)$$

У стандартній версії макромоделі в цьому рівнянні враховувався також вплив номінального курсу гривні по відношенню до долара США (EU_t). Оскільки готівкова іноземна валюта на руках і на рахунках в банках є однією з форм заощаджень населення України, то необхідно враховувати вплив номінального обмінного курсу під час моделювання $ASAV_t$. На динаміку показника $ASAV_t$, крім згаданого раніше номінального курсу гривні по відношенню до долара США, впливають грошові доходи населення:

$$ASAV_t = f_2(MINC_t, EU_t). \quad (3)$$

Окремим елементом макромоделі представлена регресійна залежність реальних грошових доходів населення від його рівня в попередньому періоді й оплати праці робітників CE_t :

$$MINC_t = f_3(CE_t, MINC_{t-1}). \quad (4)$$

Найбільш істотними факторами, що визначають оплату праці робітників, є продуктивність праці (p_t), тарифна ставка першого розряду (WR_t) та середньооблікова чисельність зайнятих працівників (ane_t). З урахуванням викладеного модель матиме такий вигляд:

$$CE_t = f_4(p_t, WR_t, ane_t). \quad (5)$$

Іншою складовою сукупного попиту є кінцеве споживання ДУ. Для цього показника були розроблені такі економетричні моделі, як модель від податкових надходжень до бюджету; модель від витрат консолідованого бюджету; модель від тарифної ставки першого розряду; модель від чисельності зайнятих у державному секторі економіки. За результатами проведеного дослідження можна зробити такий висновок: коли зберігаються економічні тенденції в країні, для прогнозування кінцевого споживання краще використовувати неструктурну модель, оскільки вона має найкращі прогнозні характеристики; якщо ж динаміка кінцевого споживання ДУ України істотно змінюється порівняно з 1991–2017 роками, то краще застосувати структурні моделі. Так, наприклад, модель від чисельності працівників, зайнятих у державному секторі економіки, дає змогу враховувати

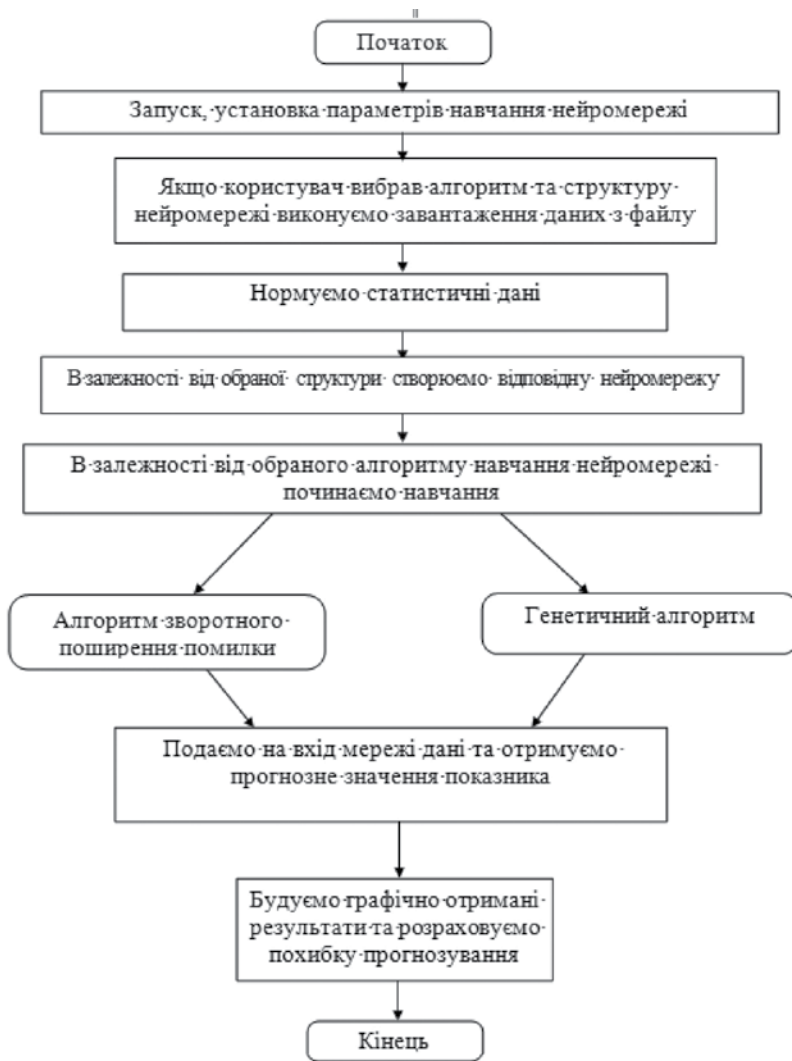


Рис. 1. Блок-схема роботи програмного продукту

Розроблена математична модель макроекономіки України

$$gdp = f_{chn} + f_{cg} + gcf + saldo$$

1. $f_{chn} = f_1(MINC, ASAV)$
2. $ASAV = f_2(MINC, EU)$
3. $MINC = f_3(CE, MINC(t-1))$
4. $CE = f_4(p, WR, ane)$
5. $gcf = f_5(gdp(t-1))$
6. $saldo = f_6(XG, XS, MG, MS)$

Де:

- $MINC_t$ – Грошові доходи населення;
- $ASAV_t$ – Сальдо купівлі-продажу іноземної валюти банками;
- EU_t – курс гривні по відношенню до долару США;
- p_t – Продуктивність праці;
- WR_t – Тарифна ставка першого розряду;
- ane_t – Середньооблікова чисельність зайнятих працівників;
- XG_t – експорт товарів;
- MG_t – імпорт товарів;
- XSt – експорт послуг;
- MSt – імпорт послуг.

Рис. 2. Структурна форма розробленої математичної моделі

політику уряду за допомогою показника чисельності працівників, зайнятих у галузі управління.

Для прогнозування валового накопичення пропонується використовувати модель гнучкого акселератора інвестиційного процесу, сутність якої полягає в залежності валового накоплення від ВВП з лагом (-1):

$$gcf_t = f_5(gdp_{t-1}). \quad (6)$$

Модель чистого експорту товарів та послуг має специфікацію:

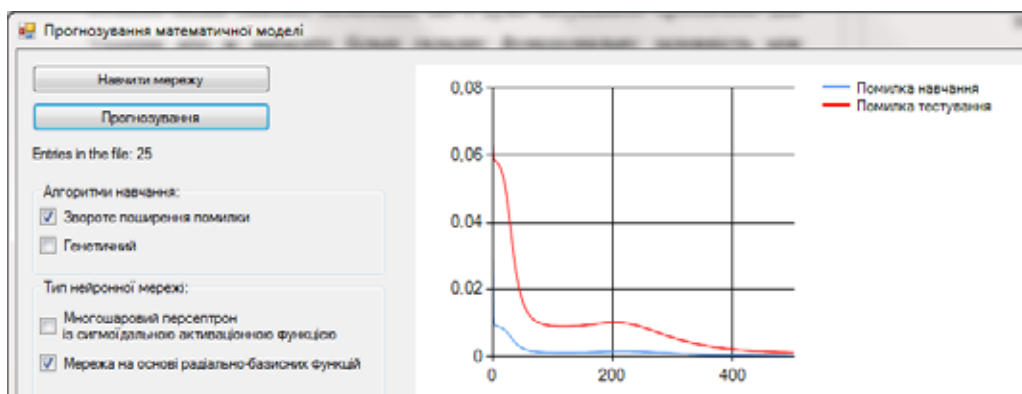
$$saldo_t = f_6(XG_t, XS_t, MG_t, MS_t), \quad (7)$$

де XG_t – експорт товарів; MG_t – імпорт товарів; XS_t – експорт послуг; MS_t – імпорт послуг.

Для того щоби точніше простежити зв'язок між зміною обмінного курсу гривні та основними макропоказниками, вдосконалюємо макромодель, включаючи в неї замість реальних валютних курсів їх номінальні значення, скориговані на відповідні цінові індекси. Перед тим як перейти до використання нейромережних методів, слід впевнитися в тому, що статистичні методи не дають можливість робити прогнозування за побудованою моделлю. Для перевірки були зібрані статистичні дані за вибраними показниками моделі за 1991–2018 роки. Дані зведені до середньорічного курсу долара до гривні за відповідний рік.

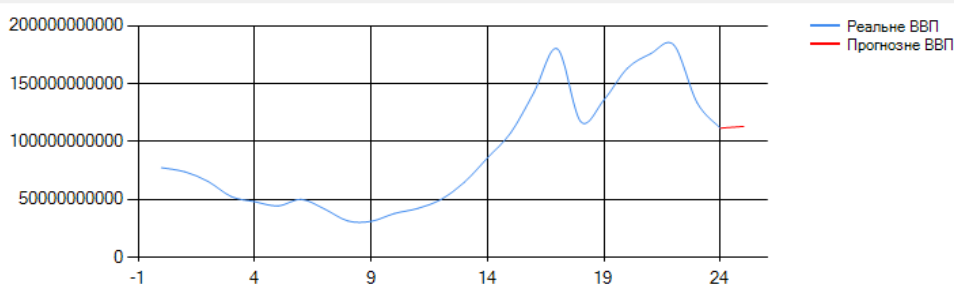
Для розробленого програмного продукту наведемо етапи його роботи у вигляді блок-схеми (рис. 1). Після запуску програмного продукту користувачу дається можливість вибрати тип алгоритму навчання та структури нейронної мережі, тобто налаштувати програмний продукт.

Для зручності користувачу також демонструється структурна форма розробленої моделі макроекономіки України (рис. 2). Після того як параметри вибрані, активуються такі дві кнопки: «Навчити» та «Прогнозування». Виконавши навчання, користувач отримує графік (рис. 3, а). Після того як мережа навчена, можна отримати прогнозне значення ВВП, для чого користувач має вибрати «Прогнозування», завдяки чому отримує прогнозне значення ВВП на 2019 рік та похибку у відсотках порівняно з реальними даними (рис. 3, б).



а)

Прогноз ВВП України на 2019 рік : 13110107613,97(грн)



б)

Рис. 3. Навчання та прогнозування:

а – графік навчання нейронної мережі; б – прогнозне значення ВВП України

Оскільки статистичні методи не дали нам бажаних результатів, перейдемо до нейромережових методів. За допомогою нейромереж отримано прогнозне значення ВВП на 2019 рік. Для кожного структурного рівняння була використана нейромережа, яка навчалась на відповідних статистичних даних за період у 28 років. Для навчання нейромереж, як вже зазначалося, користувач може використати два алгоритми навчання, а саме генетичний та зворотного поширення помилки, та різні типи нейромереж (на основі радіально-базисних функцій, багатошаровий перцептрон із сигмоїдальною функцією активації). Наведемо деякі важливі параметри налаштування алгоритмів навчання та нейромережі загалом. Отже, для генетичного алгоритму були вибрані такі ймовірнісні параметри, як ймовірність мутації $P_m = 0,4$; кросовер випадкових особин, що виконуємо на кожному кроці, адже оскільки наші статистичні дані мають обмежене число, то немає необхідності у більш довгому навчанні; кількість особин у популяції, що складає 50. Навчання продовжуємо, поки похибка найбільш пристосованої особини не дасть необхідну точність; в алгоритмі зворотного поширення похибки коефіцієнт швидкості навчання дорівнює 0,01. Навчання відбувається на задану кількість

ітерацій (200 ітерацій); у радіально-базисних нейромережах як активаційну функцію використовуємо функцію Гауса; у багатошаровому перцептроні використовуємо активаційну функцію гіперболічного тангенсу.

Для побудованої моделі найкращі прогнозні властивості демонстрували нейромережі з 3–4 нейронами на прихованому шарі. Це можна пояснити розміром вибірки статистичних даних та кількістю нейронів на вхідному шарі (дорівнює кількості змінних у відповідному структурному рівнянні). Провівши навчання, побудуємо таблицю із середнім відсотковим значенням отриманої похибки під час прогнозування ВВП України на 2019 рік. Аналізуючи представлені результати, доходимо висновку, що найкращі прогнозні властивості для побудованої математичної моделі макроекономіки України демонструє генетичний алгоритм під час використання радіально-базисних функцій. Отриману відсоткову похибку для нашої статистичної вибірки за побудованою математичною моделлю можна вважати прийнятною.

Висновки з проведеного дослідження. В результаті дослідження практичних аспектів застосування нейронних мереж в аналізі макроекономічних показників підприємства розроблений

програмний продукт на основі нейромереж, який дає змогу прогнозувати макроекономічні показники за статистичними даними не тільки України, але й інших країн під час виходу підприємства на ці зовнішні ринки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Фроленко О.М. Маркетингова інформаційна система як засіб реалізації стратегічного потенціалу промислового підприємства. *Інноваційна економіка*. 2014. № 6. С. 238–244.
2. Панухник Я.Г. Концептуальні підходи до побудови маркетингових інформаційних систем промислового підприємства. *Маркетинг і ринкові відносини*. 2014. № 51. С. 113–120.
3. Сохацька О.В., Романчукевич М.І. Побудова маркетингової інформаційної системи: українська специфіка. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. 2005. № 3 (33). С. 330–339.
4. Петренко В.О., Бушуєв К.М., Савчук Л.М., Фонарьова Т.А. Застосування нейронних мереж в системах підтримки та прийняття рішень маркетингової інформаційної системи підприємства. *Управління проектами та розвиток виробництва*. 2018. № 3 (67). С. 43–52.
5. Бушуєв К.М. Дослідження математичної моделі прогнозування макроекономічних показників економіки України. *Теорія і практика діяльності підприємств* : монографія / Л.М. Савчук, К.М. Бушуєв. Дніпро, 2017. С. 199–209.
6. Притоманова О.М., Бушуєв К.М. Сравнительный анализ нейросетевых методов прогнозирования. *Математическое и программное обеспечение интеллектуальных систем* : тезисы докладов XIV международной научно-практической конференции МРЗИС-2016, г. Днепр, 16–18 ноября 2016 года. Днепр, 2016. С. 260.
7. О моделировании экономики России и Беларуси на основе эконометрической модели LAM-3 / В.В. Харемза, Ю.С. Харин, С.Б. Макарова, В.И. Малюгин, А.С. Гурин, Ю.В. Раскина. *Прикладная эконометрика*. 2006. № 2. С. 43–52.

REFERENCES:

1. Frolenko O.M. (2014). Marketinghova informatychna systema yak zasib realizatsiyi stratehichnoho potentsialu promyslovoho pidpryyemstva. [Marketing information system as a means of implementing the strategic potential of an industrial enterprise] *Innovatsiyna ekonomika*, vol. 6, pp. 238–244.
2. Panukhnyk Ya.H. (2014). Kontseptual'ni pidkhody do pobudovy marketinghovykh informatyynykh system promyslovoho pidpryyemstva. [Conceptual approaches to the construction of marketing information systems of the industrial enterprise] *Marketynh i rynkovi vidnosyny*, vol. 51, pp. 113–120.
3. Sokhatska O.V., Romanchukevych M.I. (2005) Pobudova marketinghovoї informatychnoi systemy: ukrainska spetsyfika [Construction of a marketing information system: Ukrainian specifics] *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu*, vol. 3 (33), pp. 330–339.
4. Petrenko V.O., Bushev K.M., Savchuk L.M., Fonareva T.A. (2018) Zastosuvannya neyronnih merezh v sistemah pidtrimki ta priynyattya rishen marketingovoyi Informatychnoyi sistemi pidpriemstva [Application of Neural Networks in Systems of Support and Decision Making of the Marketing Information System of the Enterprise]. *Project management and production development*, vol. 3 (67), pp. 43–52.
5. Savchuk L.M., Bushuyev K.M. (2017) *Doslidzheniya matematichnoyi modell prognozuvannya makroekonomichnih pokaznikov ekonomiki Ukrayini* [Research of mathematical model of forecasting of macroeconomic indicators of economy of Ukraine]. *Theory and practice of enterprises* : monograph, pp. 199–209.
6. Pritamanova O.M., Bushuyev K.M. (2016) *Sravnitelnyy analiz neyrosetevih metodov prognozirovaniya* [Comparative analysis of neural network prediction]. *Proceedings of the Mathematical and software of intellectual systems (in Ukrainian, Dnipro, November 16–18)*, Dnipro : DNU, p. 260.
7. Haremza V.V., Kharin Yu.S., Makarova S.B., Malyugin V.I., Gurin A.S., Raskin Yu.V. (2006) *O modelirowanii ekonomiki Rossii i Belarusi na osnove ekonometricheskoy modeli LAM-3* [On modeling the economy of Russia and Belarus on the basis of the econometric model LAM-3]. *Applied Econometrics*, vol. 2, pp. 43–52.