

НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ ПРОГНОСТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ КЛАСИФІКАЦІЇ КРИЗ ТА ОЦІНКИ БАНКРУТСТВА СУБ'ЄКТІВ ТОРГОВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

©2024 Білоцерківський О. Б., Момотков І. С., Гудименко В. П.

УДК 004.032.26:336.64
JEL: C45; D81; G33; H12; L81

Білоцерківський О. Б., Момотков І. С., Гудименко В. П. Нейромережіві прогностичні технології класифікації криз та оцінки банкрутства суб'єктів торговельної галузі

Війна в Україні призвела до значного зростання кількості банкрутств підприємств. Своєчасна оцінка ризику банкрутства є критично важливою для прийняття ефективних управлінських рішень. Метою дослідження є розробка адаптивної моделі оцінки схильності підприємства до банкрутства на основі нечітких нейронних мереж з урахуванням специфіки українського ринку в умовах воєнного часу. Для досягнення мети було здійснено декілька етапів: формування вибірки підприємств торговельної галузі; визначення класів кризи за допомогою кластерного аналізу; побудова нечіткої нейронної мережі з використанням пакета Fuzzy Logic Toolbox в MATLAB; навчання мережі на історичних даних і тестування на нових даних. На першому етапі формується вибірка підприємств, за допомогою якої проводитиметься навчання моделі. На другому етапі формуються класи кризи (загрози банкрутства). На третьому етапі за допомогою апарату нечітких нейронних мереж формується функція належності з певним набором параметрів. За допомогою цієї функції можна віднести те чи інше підприємство з певним ступенем належності до одного з класів кризи, сформованих на попередньому етапі. Четвертий етап є перевіркою адекватності отриманої моделі та можливості її практичного використання. На п'ятому етапі проводиться практична реалізація моделі: за допомогою функції належності визначається схильність досліджуваного підприємства до банкрутства, тобто в якому ступені досліджуване підприємство належить до того чи іншого класу кризи. У результаті застосування запропонованого алгоритму було побудовано нечітку нейронну мережу, яка використовувала фінансові показники українських підприємств. Для навчання моделі застосовувався набір даних, що включав 12 підприємств торговельної галузі. Розроблена модель дозволяє з високою точністю класифікувати підприємства за рівнем фінансової стійкості. Було показано, що нечіткі нейронні мережі є ефективним інструментом для прогнозування банкрутства в умовах невизначеності. Використання нечітких нейронних мереж дозволило врахувати невизначеність та адаптуватися до змін зовнішнього середовища. Отримані результати свідчать про перспективність використання нечітких нейронних мереж для оцінки фінансової стійкості підприємств. Розроблена модель може бути використана як інструмент для раннього виявлення ознак кризи та прийняття своєчасних управлінських рішень.

Ключові слова: банкрутство, класифікація, криза, нечіткі нейронні мережі, фінансова стійкість, прогнозування.

Рис.: 7. **Табл.:** 1. **Формул.:** 3. **Бібл.:** 19.

Білоцерківський Олександр Борисович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри підприємництва, торгівлі і логістики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002, Україна)

E-mail: alexander.belotserkovsky@khp.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4707-7964>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/G-4236-2016>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57968990100>

Момотков Ігор Сергійович – аспірант кафедри підприємництва, торгівлі і логістики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002, Україна)

E-mail: lhor.Momotkov@emmb.khpi.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2288-7306>

Гудименко Вячеслав Павлович – аспірант кафедри підприємництва, торгівлі і логістики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002, Україна)

E-mail: viacheslav.hudymenko@emmb.khpi.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4681-1602>

UDC 004.032.26:336.64
JEL: C45; D81; G33; H12; L81

Bilotserkivskiy O. B., Momotkov I. S., Gudymenko V. P. The Neural Network Predictive Technologies for Crisis Classification and Bankruptcy Assessment of Trade Industry Entities

The ongoing war in Ukraine has led to a significant increase in the number of business bankruptcies. Timely assessment of bankruptcy risk is critical for making effective management decisions. The aim of the study is to develop an adaptive model for assessing the propensity of an enterprise to bankruptcy based on fuzzy neural networks, taking into account the specifics of the Ukrainian market in wartime. To achieve the aim, several stages were carried out: formation of a sample of enterprises in the trade industry; determination of crisis classes using cluster analysis; building a fuzzy neural network using the Fuzzy Logic Toolbox package in MATLAB; training the network on historical data and testing on new data. At the first stage, a sample of enterprises is formed, with the help of which the model will be trained. At the second stage, classes of crisis (threat of bankruptcy) are formed. At the third stage, with the help of the apparatus of fuzzy neural networks, a membership function with a certain set of parameters is formed. With the help of this function, it is possible to attribute this or that enterprise with a certain degree of belonging to one of the classes of crisis formed at the previous stage. The fourth stage is to check the adequacy of the obtained model and the possibility of its practical use. At the fifth stage, the practical implementation of the model is carried out: with the help of the membership function, the propensity of the researched enterprise to bankruptcy is determined, that is, to what extent the studied enterprise belongs to one or another class of crisis. As a result of the application of the proposed algorithm, a fuzzy neural network was built, which used the financial indicators of Ukrainian enterprises. To train the

model, a dataset was used that included 12 enterprises in the trade industry. The developed model allows to classify enterprises by the level of financial sustainability with high accuracy. Fuzzy neural networks have been shown to be an effective tool for predicting bankruptcy under uncertainty. The use of fuzzy neural networks made it possible to take into account uncertainty and adapt to changes in the external environment. The obtained results indicate the perspective of using fuzzy neural networks to assess the financial sustainability of enterprises. The developed model can be used as a tool for early detection of signs of crisis and making timely managerial decisions.

Keywords: bankruptcy, classification, crisis, fuzzy neural networks, financial sustainability, forecasting.

Fig.: 7. **Tabl.:** 1. **Formulae:** 3. **Bibl.:** 19.

Bilotserkivskiyi Oleksandr B. – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Entrepreneurship, Trade and Logistics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (2 Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine)

E-mail: alexander.belotserkovsky@khp.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4707-7964>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/G-4236-2016>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57968990100>

Momotkov Ihor S. – Postgraduate Student of the Department of Entrepreneurship, Trade and Logistics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (2 Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine)

E-mail: Ihor.Momotkov@emmb.khpi.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2288-7306>

Gudymenko Viacheslav P. – Postgraduate Student of the Department of Entrepreneurship, Trade and Logistics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (2 Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine)

E-mail: viacheslav.gudymenko@emmb.khpi.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4681-1602>

З початку повномасштабної війни в Україні спостерігається значне зростання кількості оголошених банкрутств. За даними Державної служби статистики України, у 2022 р. кількість банкрутств юридичних осіб зросла на 47,7% порівняно з 2021 р. Особливо гостро проблема відчувається в регіонах, які найбільше постраждали від бойових дій. Причинами зростання кількості збанкрутілих підприємств є знищення активів та інфраструктури через воєнні дії; переривання ланцюгів постачання; втрата ринків збуту; зростання цін та інфляція; втрата кваліфікованих кадрів тощо. У 2023–2024 рр. хвиля банкрутств підприємств в Україні продовжилась, і вже за перший квартал 2024 р. судові рішення про банкрутство отримали 192 українські підприємства [7]. Кожне третє з цих підприємств працює у сфері торгівлі та ремонту транспорту (36,5%). Близько 26% зареєстрованих справ про банкрутство стосуються підприємств фінансової галузі, 16% – промисловості, 9,4% – будівництва, сільське, близько 6% – лісового та рибного господарства, інформаційно-комунікаційної галузі – близько 5%. Найнижчі показники банкрутства були зафіксовані в галузі логістики (2%), освіти та охорони здоров'я – близько 1%, тимчасового розміщення та організації харчування – менше 0,5%.

Уряд України вживає заходів для підтримки бізнесу в умовах війни. До таких заходів належать: державні програми кредитування та гранти для підприємств, постраждалих від війни; зменшення податкового навантаження на бізнес; спрощення процедур ведення бізнесу. Проте в умовах війни підприємствам необхідно самостійно вживати заходів, щоб зменшити ймовірність банкрутства,

адже державна підтримка може бути недостатньою чи зовсім відсутньою, або не надходити до тих підприємств, хто її дійсно потребує.

Торговельним підприємствам, що складають найбільшу частку серед збанкрутілих, особливо важливо зосередити увагу на розробці комплексної системи керування асортиментом, товарними запасами та стратегією просування товарів з метою зниження ймовірності банкрутства. Підприємства, які пропонують товари, що відповідають потребам і вподобанням своїх цільових клієнтів, з більшою ймовірністю матимуть стійкий продаж і прибуток. Комплексна система асортименту дозволить підприємствам ретельно аналізувати ринкові тенденції, дані про продажі та поведінку споживачів, щоб сформувавши оптимальний асортимент продуктів, який максимізує рентабельність інвестицій. Занадто широкий асортимент може призвести до надмірних запасів, застарілих товарів та втрат.

Розробка ефективної системи управління товарними запасами важлива для підприємств як торговельної, так і інших галузей. Занадто низькі запаси можуть призвести до дефіциту товарів та втрачених продажів, а занадто високі – до заморожування капіталу та ризику застарівання. Підприємствам необхідно знаходити оптимальний баланс між рівнями запасів, щоб мінімізувати витрати та максимізувати рентабельність, водночас це поліпшить логістику, скоротить час доставки, зменшить втрати та покращить загальну операційну ефективність.

Ефективна стратегія просування товарів забезпечить обізнаність про свої продукти та послуги.

ги серед цільової аудиторії, що вплине на збільшення продажів, лояльність клієнтів та надасть конкурентну перевагу.

Отже, все вищезазначене: забезпечення відповідності попиту, ефективне управління товарними запасами та продумана стратегія просування здатні допомогти підприємствам поліпшити свою фінансову стійкість і знизити ймовірність банкрутства.

Саме тому в сучасних умовах при розробці комплексної системи управління асортиментом, товарними запасами та стратегією просування товарів зростає роль та значення постійної оцінки ймовірності банкрутства підприємства. Такий моніторинг дозволить виявити потенційні проблеми на ранній стадії та вжити заходів для їх усунення. Результати оцінки ймовірності банкрутства можуть використовуватися для прийняття обґрунтованих рішень щодо асортименту, товарних запасів та стратегії просування. Також постійна оцінка ймовірності банкрутства дозволить підприємствам адаптувати свою стратегію до змін у економічному середовищі, допоможе виявити потенційні проблеми, які інакше могли б залишитися непоміченими, та розробити план дій для їх усунення.

Як наслідок, постійна оцінка ймовірності банкрутства допоможе підприємствам поліпшити свою фінансову стійкість та зменшити ризик банкрутства.

Питання розробки методів оцінки ймовірності банкрутства суб'єктів господарювання є предметом дослідження як зарубіжних, так і українських учених уже понад 60 років. У 1961 р. Роберт Лайс і Роберт Стоунхіл розробили модель, яка використовує п'ять ключових фінансових показників для класифікації компаній на п'ять груп за ризиком банкрутства, яка отримала назву індикаторної моделі. Також у 1968 р. Едвард Альтман розробив ряд моделей для прогнозування ймовірності банкрутства, використовуючи фінансові показники підприємства. Пізніше, у 1976 р., Річард Таффлер розробив модель, яка використовує коефіцієнти ліквідності, рентабельності та боргового навантаження для прогнозування банкрутства. У 1980 р. Едвард Лінч розробив модель, яка використовує чотири фінансові показники для прогнозування банкрутства, з акцентом на поточні активи та поточні зобов'язання [2; 3; 10; 11; 17; 19].

Протягом наступних десяти років методологія оцінки ймовірності банкрутства стрімко розвивалась як закордонними, так і українськими дослідниками. Вагомий внесок у розвиток методів оцінки ймовірності банкрутства підприємств зробили такі українські вчені: Клебанова Т. С. – розробила методи оцінки фінансової стійкості

та прогнозування банкрутства підприємств з використанням інтегрованого підходу, що поєднує традиційні фінансові показники, методи факторного, кластерного аналізу та нейромережеві моделі [6; 12]. Сергієнко О. А. – розробила методологію оцінки ймовірності банкрутства підприємств з використанням методів динамічного моделювання, що дозволяють враховувати зміни фінансових показників підприємства в часі та оцінювати вплив різних факторів на ймовірність банкрутства в довгостроковій перспективі [15; 16]. Гур'янова Л. С. – розробила методи оцінки ймовірності банкрутства підприємств з урахуванням галузевої специфіки й урахуванням особливостей функціонування та ризиків, характерних для різних галузей [18]. Окрім вищезазначених, існує багато інших наукових праць, присвячених оцінці ймовірності банкрутства підприємств, огляд яких дозволив дійти такого висновку: не існує єдиної «найкращої» моделі для прогнозування банкрутства, для різних типів підприємств або галузей можуть бути більш підходящими різні моделі.

Починаючи з 20-х років ХХІ століття вченими для прогнозування банкрутства почали застосовуватись методи машинного навчання та штучного інтелекту з використанням великих наборів даних і складних моделей. Зокрема, використовувати методи оцінки ймовірності банкрутства підприємств з використанням методів штучного інтелекту та машинного навчання запропоновано в наукових працях: Клебанова Т. С., Димченко О. В., Рудаченко О. О., Гвоздицький В. С. [6] та Кизим М. О., Лелюк О. В., Костенко Д. М. [5], де запропоновано розробку нейронних мереж для прогнозування банкрутства з урахуванням нефінансових факторів, таких як діяльність конкурентів та макроекономічні умови.

Незважаючи на досить велике коло досліджень, слід зазначити, що розроблені на даний час економіко-математичні моделі не можуть бути ефективно застосовані в умовах України, оскільки або були побудовані на статистичних даних закордонних компаній, або не враховують галузеву специфіку, а головне – не адаптовані до аналізу діяльності суб'єктів господарювання, що функціонують в умовах повномасштабної війни. Таким чином, враховуючи всі зазначені умови, необхідна розробка адаптивних економіко-математичних моделей оцінки схильності підприємств до банкрутства, які будуть побудовані на статистичних даних вітчизняних підприємств, дозволять своєчасно прогнозувати загрозу банкрутства окремого підприємства та коригуватимуть свої параметри залежно від змін умов функціонування суб'єкта господарювання.

Дослідження спрямоване на розробку прогностичної моделі, заснованої на методах машинного навчання, для класифікації підприємств за рівнем фінансової стійкості з метою раннього виявлення ознак банкрутства та зменшення ризиків для кредиторів і інвесторів. До теорії розпізнавання образів можна віднести як економіко-математичні методи, так і штучні інтелектуальні системи, а саме: статистичні економіко-математичні методи – кластерний і дискримінантний аналіз; штучні інтелектуальні системи – нейронні мережі.

Методи кластерного та дискримінантного аналізу вже давно і доволі широко застосовуються з метою прогнозування оцінки ймовірності банкрутства. А от штучні нейронні мережі як методи розпізнавання образів набувають останнім часом усе ширшого застосування, оскільки дозволяють налаштовувати свої параметри залежно від мінливих умов зовнішнього середовища. Дані моделі є адаптивними, оскільки в процесі їх використання для оцінки схильності підприємства до банкрутства враховують попередні та досвід, пристосовуючи зміни правил і параметри функцій приналежності. Такі моделі дозволяють побудувати нечіткі правила, за допомогою яких можна визначити схильність підприємства до банкрутства в поточному періоді за фактичним значенням фінансових коефіцієнтів, а також оцінити схильність підприємства до банкрутства в майбутньому періоді, застосувавши для оцінки прогнозні значення коефіцієнтів, отримані за допомогою адаптивних прогнозних моделей. Це, своєю чергою, дозволить своєчасно розробити та впровадити в разі потреби антикризові заходи.

Метою даного дослідження є побудова моделей оцінки схильності підприємства до банкрутства на основі нечітких нейронних мереж, які використовують не тільки апріорну інформацію, але й можуть отримувати нові знання, що дозволяє їм адаптуватися до змін зовнішнього середовища.

Під нейронними мережами розуміються обчислювальні структури, що моделюють прості біологічні процеси, які зазвичай асоціюються із процесами мозку людини [8]. Вони являють собою розподілені та паралельні системи, здатні до адаптивного навчання шляхом аналізу позитивних і негативних впливів. Елементарним перетворювачем у даних мережах є штучний нейрон, або просто нейрон, названий так за аналогією з біологічним прототипом.

Математична модель нейрона має вигляд [8]:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b, \quad (1)$$

$$y = f(s), \quad (2)$$

де w_i – вага синапса, $i = 1, \dots, n$; b – значення зсуву; s – результативна сума;

x_i – компонент вхідного вектора (вхідний сигнал), $i = 1, \dots, n$;

y – вихідний сигнал нейрона;

n – число входів нейрона;

f – нелінійне перетворення (функція активації).

Нечіткі нейронні мережі, як універсальні апроксиматори, дозволяють ефективно вирішувати задачі класифікації об'єктів, описаних лінгвістичними змінними. Розглянемо задачу бінарної класифікації, де кожен об'єкт характеризується двома нечіткими ознаками. Архітектура нечіткої нейронної мережі, що включає нечіткі нейрони та правила виведення, дозволяє обробляти нечітку інформацію та приймати рішення на основі лінгвістичних правил.

На *рис. 1* наведено одну з можливих структур нечіткої нейронної мережі, яка може застосовуватися для вирішення задач класифікації.

Архітектура мережі передбачає триступеневу обробку даних. На першому шарі відбувається фазифікація вхідних змінних, тобто визначення ступеня їх належності до заданих лінгвістичних термів. На другому шарі, що складається з нечітких нейронів, реалізуються нечіткі правила, які пов'язують вхідні змінні з вихідними класами. Останній шар виконує дефазифікацію, тобто перетворення нечітких виходів у чіткі значення, які інтерпретуються як ймовірності належності об'єкта до відповідних класів.

Функції належності мають дзвоноподібний вигляд, наприклад:

$$\begin{aligned} A_j(x_1) &= \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_1 - a_{j1}}{b_{j1}} \right)^2 \right], \\ B_j(x_2) &= \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x_2 - a_{j2}}{b_{j2}} \right)^2 \right], \quad j = 1, 2, \end{aligned} \quad (3)$$

з набором параметрів $a_{i1}, a_{i2}, b_{i1}, b_{i2}$, значення яких коригуються у процесі навчання моделі, що базується на градієнтному методі.

Нечіткі нейронні мережі можуть використовуватися для завдань класифікації різної складності (з різною кількістю класів та ознак об'єкта, що досліджується).

Алгоритм побудови моделей оцінки схильності підприємства до банкрутства за допомогою нечітких нейронних мереж наведено на *рис. 2*.

На першому етапі формується вибірка підприємств, за допомогою якої проводиться навчання моделі.

На другому етапі формуються класи кризи (загрози банкрутства).

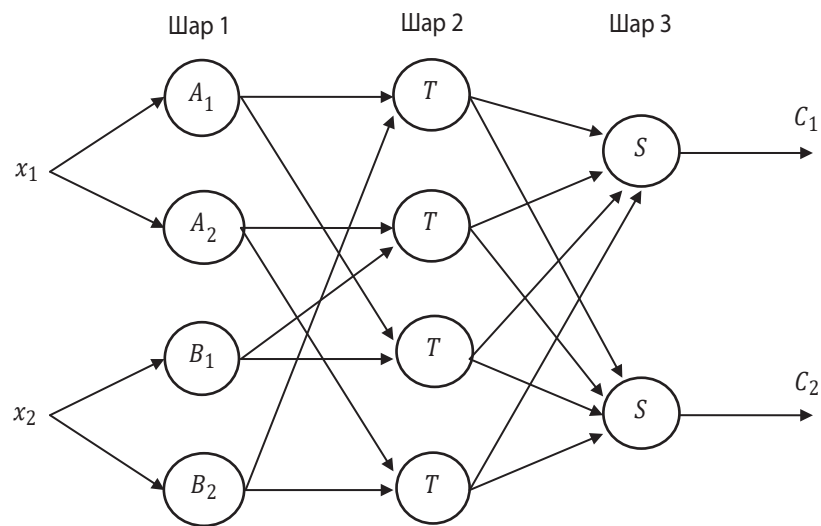


Рис. 1. Нечітка нейронна мережа для розв'язання задач класифікації (розпізнавання образів)

Джерело: адаптовано авторами на основі [8].

На третьому етапі за допомогою апарата нечітких нейронних мереж формується функція належності з певним набором параметрів. За допомогою цієї функції можна віднести те чи інше підприємство з певним ступенем належності до одного з класів кризи, сформованих на попередньому етапі.

Четвертий етап є перевіркою адекватності отриманої моделі та можливості її практичного використання. Якщо модель не є адекватною, необхідно повернутися до третього етапу та підбирати новий тип функції належності за допомогою апарата нечітких нейронних мереж

На п'ятому етапі проводиться практична реалізація моделі: за допомогою функції належності визначається схильність досліджуваного підприємства до банкрутства, тобто в якому ступені досліджуване підприємство належить до того чи іншого класу кризи.

Цей алгоритм дозволяє побудувати модель оцінки схильності підприємства до банкрутства за допомогою нечітких нейронних мереж, перевірити адекватність моделі, а також визначити за допомогою отриманої моделі схильність досліджуваного підприємства до банкрутства.

Побудуємо модель оцінки схильності підприємства до банкрутства за допомогою запропонованого алгоритму. На першому етапі формується вибірка підприємств для навчання моделі, яка включатиме 12 підприємств торговельної галузі, подібних за обсягами реалізації товарів. Задля збереження комерційної таємниці позначимо їх Π_1, \dots, Π_{12} .

На другому етапі алгоритму формуються класи кризи (загрози банкрутства). Цей етап полягає у

визначенні кількості класів кризи, їх ідентифікації та визначенні належності до певного класу кризи кожного підприємства, яке входить до вибірки, сформованої для навчання моделі.

Спираючись на наявні дослідження та досвід науковців у цьому питанні, було визначено, що найзручнішим і досить зрозумілим для особи, що приймає рішення, є використання п'яти класів кризи з метою оцінки схильності підприємства до банкрутства. Використаємо класифікацію, запропоновану В. А. Забродським та М. О. Кизимом у [4]:

- ✦ 1 клас – стійкий стан;
- ✦ 2 клас – задовільний стан;
- ✦ 3 клас – незадовільний стан;
- ✦ 4 клас – кризовий стан;
- ✦ 5 клас – катастрофічний стан.

Визначимо належність до певного класу кризи кожного підприємства, що входить до вибірки, сформованої для навчання моделі. Це завдання можна вирішити за допомогою методів кластерного аналізу [12], класифікувавши підприємства сформованої вибірки за класами кризи. Проведемо класифікацію за допомогою модуля «Кластерний аналіз» ППП STATISTICA [1]. Для оцінки ймовірності настання кризи на торговельних підприємствах слід аналізувати показники ліквідності, платоспроможності, рентабельності та фінансової стійкості. Перелік показників для аналізу має дати відповідь на такі питання: чи має підприємство достатньо коштів для погашення короткострокових зобов'язань; чи може погашати свої борги в довгостроковій перспективі; чи є підприємство прибутковим і наскільки воно чутливе до зовнішніх впливів?

Візьмемо для дослідження дані про діяльність підприємств за 2023 р. [13]. Підприємства

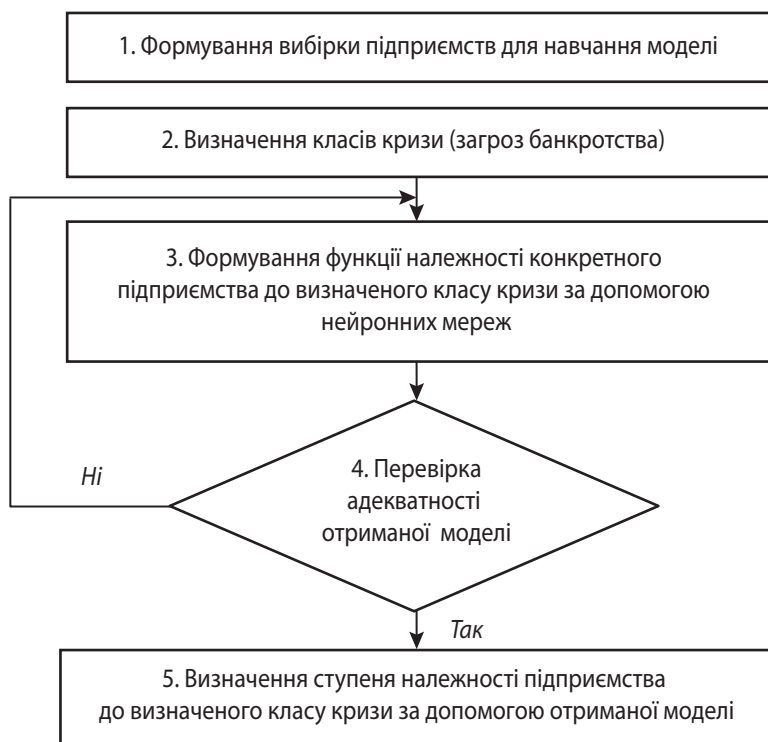


Рис. 2. Алгоритм побудови моделей оцінки схильності підприємства до банкрутства

Джерело: авторська розробка.

класифікуються за чотирма основними показниками, що характеризують різні аспекти фінансової діяльності та відображають галузеву специфіку підприємства: x_1 – коефіцієнт мобільності активів; x_2 – коефіцієнт оборотності власного капіталу (оборотність); x_3 – рентабельність продукції; x_4 – коефіцієнт фінансової незалежності (автономії). Перелік показників для аналізу відібрано на основі праць [2; 3; 10; 11; 14].

Графік вихідних даних за вибіркою підприємств наведено на рис. 3.

Результати класифікації підприємств методами кластерного аналізу наведено в табл. 1.

Побудуємо нечітку нейронну мережу, яка дозволить віднести досліджуване підприємство з певною ймовірністю до одного з п'яти класів кризи за допомогою пакета нечіткої логіки Fuzzy Logic Toolbox, що використовується в системі MATLAB [9]. Пакет нечіткої логіки – це пакет прикладних програм, які належать до теорії розмитих чи нечітких множин і дозволяють конструювати так звані нечіткі експертні та/або управлінські системи. Однією з можливостей пакета є побудова адаптивних нечітких систем (гібридних нейронних мереж).

Редактор гібридних нейронних мереж (ANFIS-редактор) дозволяє будувати нечітку нейронну мережу, переглядати її структуру, налаштовувати параметри мережі, перевіряти якість функціонування такої системи.

Таблиця 1

Вибірка підприємств для навчання моделі оцінки схильності підприємств до банкрутства

Підприємство	x_1	x_2	x_3	x_4	Клас кризи
П ₁	5,3	0	0	0	5
П ₂	20,7	5,15	0,71	0,3	1
П ₃	2,42	1,25	0,17	0,48	2
П ₄	0,83	1,18	0,42	0,83	2
П ₅	2,38	1,91	0,27	0,56	2
П ₆	0,69	1,13	0,2	0,61	2
П ₇	1,55	1,14	0,19	0,57	2
П ₈	16,1	12,4	0,05	0,07	3
П ₉	1,63	0,62	0,36	0,87	2
П ₁₀	1,3	0,67	0,35	0,8	2
П ₁₁	0,76	1,76	0,22	0,37	2
П ₁₂	3,33	4,24	0,08	0,14	4

Джерело: авторська розробка.

Побудуємо структуру нечіткої нейронної мережі з урахуванням навчальної вибірки, наведеної в табл. 1. Для цього завантажимо навчальну вибірку, виберемо метод налаштування параметрів – hybrid, рівень помилки – 0, кількість циклів навчання – 10. Структуру отриманої нечіткої нейронної мережі наведено на рис. 4.

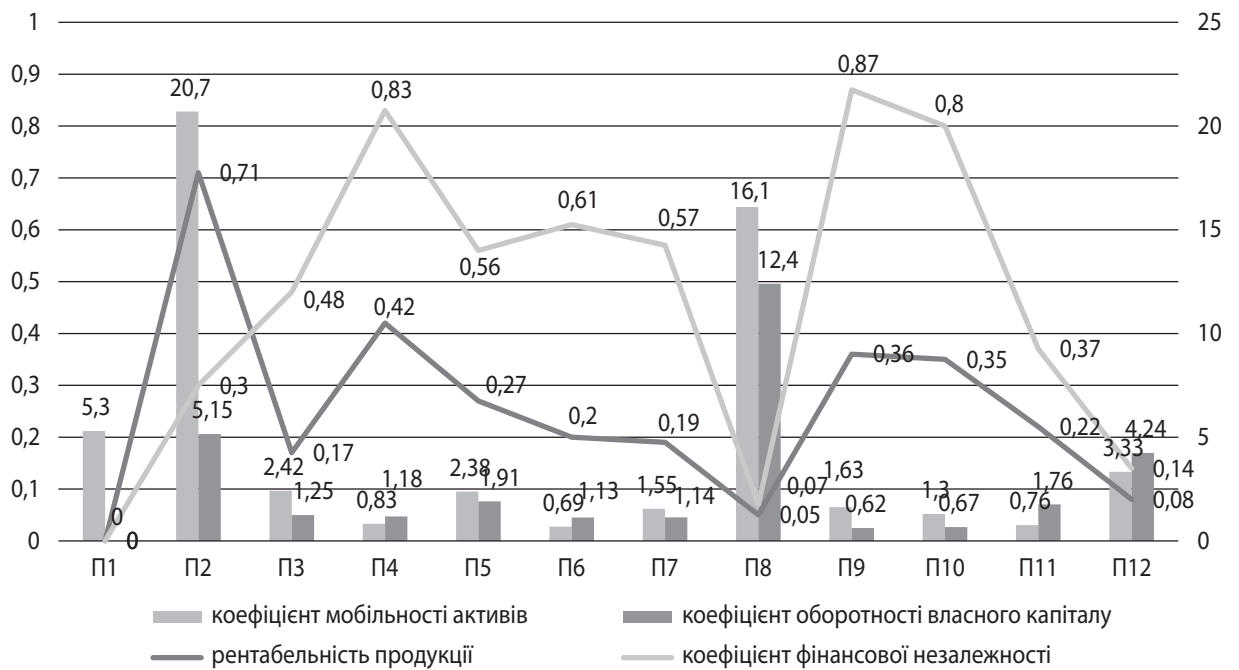


Рис. 3. Значення показників оцінки схильності підприємства до банкрутства для вибірки підприємств
 Джерело: авторська розробка.

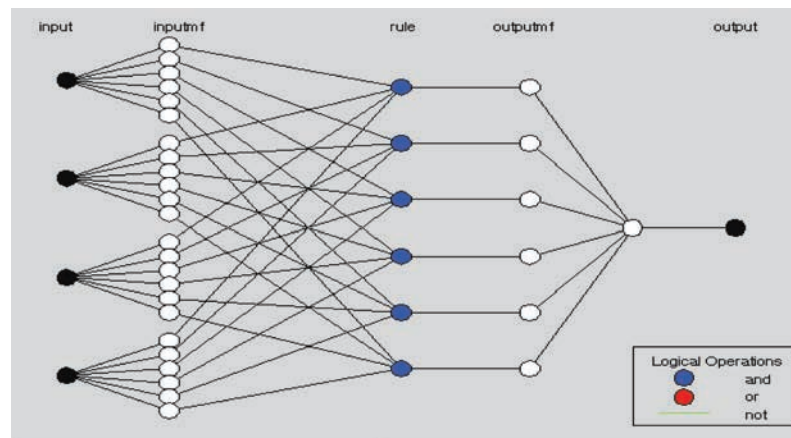


Рис. 4. Структура побудованої нечіткої нейронної мережі

Джерело: авторська розробка.

Графік помилки мережі залежно кількості циклів навчання, отриманий у результаті навчання мережі, свідчить, що навчання закінчилося за цикл (рис. 5). Це пов'язано з тим, що в чотирьох з п'яти кластерів використовується лише одне правило (чотири класи кризи з п'яти представлені лише одним підприємством), що робить процес навчання мережі швидким. Як видно з графіка, точність моделі, побудованої на основі нечіткої нейронної мережі, можна вважати хорошою.

Проведемо тестування отриманої нечіткої нейронної мережі (рис. 6).

Оскільки для тестування та навчання використовується одна вибірка, значення точок, що відповідають даним вибірки, збігаються.

За допомогою отриманої нечіткої нейронної мережі можна діагностувати схильність підприємства до банкрутства. Визначимо схильність до банкрутства нового досліджуваного підприємства, яке позначимо Π_{13} . Результат роботи моделі оцінки схильності підприємства до банкрутства, побудованої за допомогою апарата нечітких нейронних мереж, наведено на рис. 7.

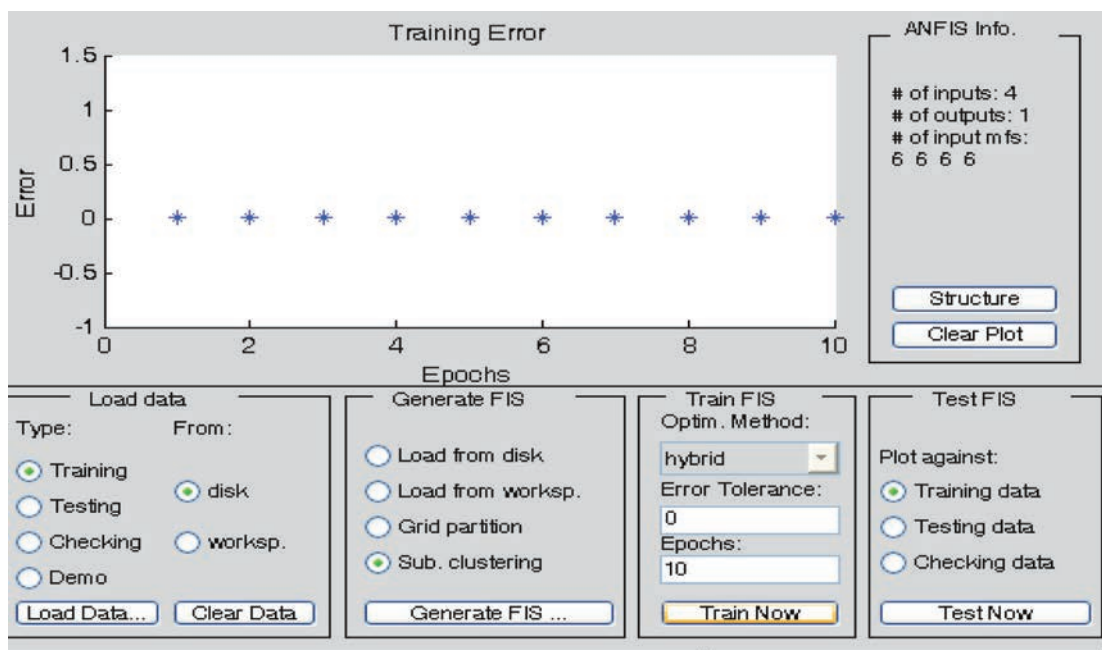


Рис. 5. Сигнал помилки мережі

Джерело: авторська розробка.

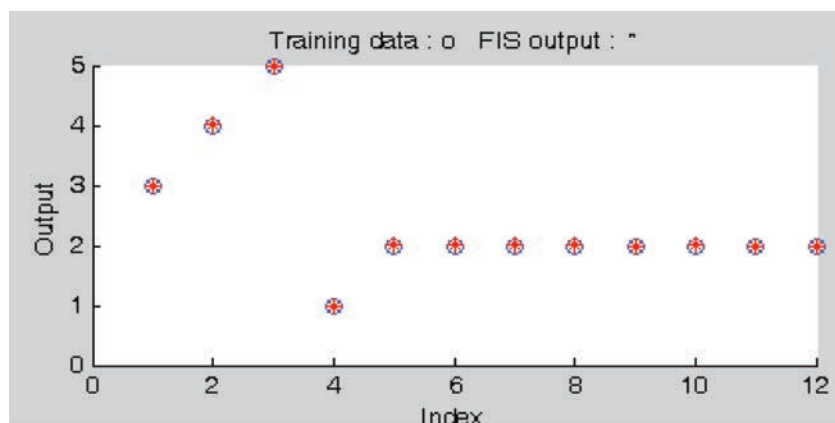


Рис. 6. Результат тестування нечіткої нейронної мережі

Джерело: авторська розробка.

Як видно із рис. 7, на початок 2024 р. Π_{13} мало задовільний фінансовий стан, тобто належало до другого класу кризи, оскільки отриманий результат дорівнює 2,03, що майже на 100% відносить підприємство до другого класу кризи. Таким чином, загрози банкрутства для Π_{13} у прогнозованому періоді немає, проте існує загроза легкого ступеня кризи, яка може поглибитись.

ВИСНОВКИ

Торговельним підприємствам важливо моніторити стан імовірності банкрутства навіть у періоди фінансової стабільності та прибутковості. Такий моніторинг дозволить виявити потенційні проблеми ще на ранній стадії, коли їх легше ви-

рішити. Завдяки моніторингу підприємство може швидко адаптуватися до змін ринку та вжити необхідних заходів для запобігання банкрутству. Регулярний моніторинг стимулює більш ефективно використовувати ресурси та дотримуватись фінансової дисципліни. Водночас постійний аналіз фінансових показників допомагає виявити неефективні процеси та витрати.

Запропонована модель оцінки схильності підприємства до банкрутства дозволить підприємству своєчасно виявляти та попереджати загрозу банкрутства, що дасть змогу підприємству працювати успішно та прибутково протягом довгострокового періоду.

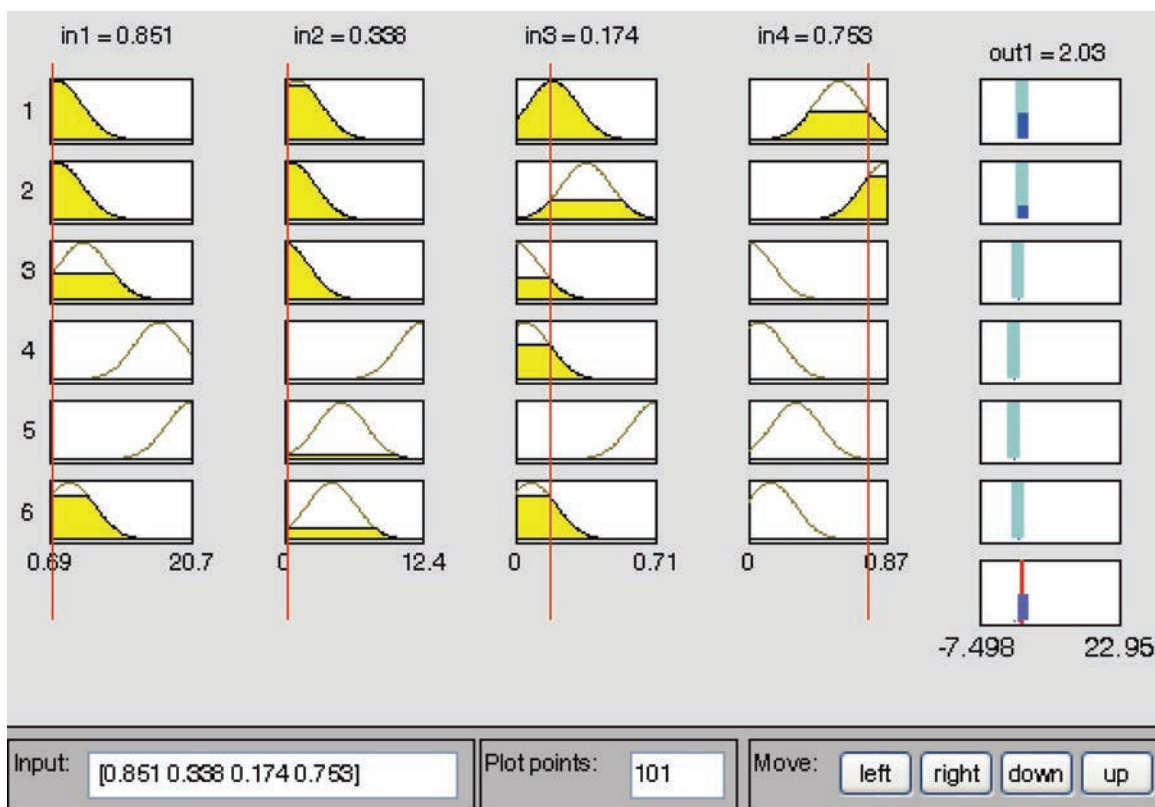


Рис. 7. Правила визначення класу кризи для P_{13}

Джерело: авторська розробка.

Важливою перевагою розробленої моделі є здатність до адаптації, тобто пристосування параметрів моделі до змін середовища, що робить ефективним її використання на підприємстві протягом тривалого часу.

Регулярний моніторинг фінансового стану підприємства – це не просто необхідність, а інвестиція в його майбутнє. Це дозволяє виявляти проблеми на ранній стадії, приймати обґрунтовані рішення та забезпечувати стабільний розвиток бізнесу.

Моделі, засновані на нечітких нейронних мережах, виявляють високу ефективність в оцінці ймовірності банкрутства підприємства. Вони дозволяють точно визначити ступінь належності підприємства до певної категорії фінансової кризи, а також гнучко адаптуватися до мінливих умов української економіки, що постійно перебуває в динаміці.

Для подальших досліджень перспективою є розширення вибірки підприємств з урахуванням різних галузей економіки, включення до моделі додаткових факторів, таких як макроекономічні показники та галузеві характеристики, а також порівняння ефективності запропонованої моделі з іншими методами прогнозування банкрутства. ■

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Боровиков В. П. Популярное введение программы Statistica. М. : Компьютер Пресс, 1998. 266 с.
2. Бугай В. З., Федорець А. О. Моделювання ймовірності банкрутства підприємства (на прикладі ПРАТ «Кропивницький ОЕЗ»). *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 50.
DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-50-67>
3. Волкова Н. І., Степанко О. В. Прогнозування ризику настання банкрутства на підприємстві. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2022. № 2. С. 173–178.
DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.2-29>
4. Забродский В. А., Кизим Н. А. Диагностика финансовой устойчивости функционирования производственно-экономических систем : монография. Харьков : ВД «Бизнес Информ», 2000. 108 с.
5. Кизим М. О., Лелюк О. В., Костенко Д. М. Оцінка і діагностика розвитку розподіленої енергетики в Україні. *Проблеми економіки*. 2018. № 4. С. 79–92.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2018-4-79-92>
6. Клебанова Т. С., Димченко О. В., Рудаченко О. О., Гвоздицький В. С. Нейромеревеві моделі оцінки фінансових криз на підприємствах корпоративного типу : монографія. Харьков : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 171 с.

7. Коваленко О. Майже 200 банкрутів за квартал. У Держстаті розповіли, який бізнес не йде в Україні під час війни. *NV.Бізнес*. 16.04.2024. URL: <https://biz.nv.ua/ukr/markets/statistika-bankrutstv-kompaniy-u-riznih-sferah-biznesu-torgivlya-remont-finansi-ta-inshi-50410354.html>
8. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети (ИНС) Теория и практика. 2-е изд. М.: Горячая линия-Телеком, 2002. 382 с.
9. Лазарев Ю. Ф. Довідник з MATLAB : електронний навчальний посібник з курсового і дипломного проектування. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 132 с. URL: https://cions.kpi.ua/Arhiv/Lazarev/dovidnyk_Matlab.pdf
10. Лоза С. П., Лоза Д. Ю. Застосування дискримінантних моделей для оцінки ймовірності банкрутства на прикладі АТ «Укрзалізниця». *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Економіка і управління»*. 2023. Вип. 53. С. 6–16. DOI: 10.32703/2664-2964-2023-53-6-16.
11. Ніколов О. П. Аналіз ймовірності ризику банкрутства підприємства. *Науковий вісник [Одеського національного економічного університету]*. 2021. № 9–10. С. 112–118. DOI: 10.32680/2409-9260-2021-9-10-286-287-112-118.
12. Клебанова Т. С., Димченко О. В., Рудаченко О. О. Оцінка, аналіз і попередження кризового стану підприємств житлово-комунального господарства : монографія. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 193 с.
13. Показники діяльності суб'єктів господарювання / Економічна статистика. *Державна служба статистики України*. URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sze_20.htm
14. Савченко А. М., Фішер Н. В. Дослідження ймовірності настання банкрутства виробничого підприємства. *Бізнес Інформ*. 2020. № 11. С. 186–191. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-11-186-191>
15. Сергієнко О. А., Татар М. С. Просторово-динамічна оцінка та аналіз індикаторів конкурентоспроможності підприємств. *Бізнес Інформ*. 2012. № 4. С. 41–46. URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2012-4_0-pages-41_46.pdf
16. Сергієнко О. А., Гапоненко О. Є., Татар М. С., Чуйко І. М. Сценарне моделювання факторів організаційно-управлінського потенціалу конкурентостійкості: інформаційно-аналітична база прийняття управлінських рішень. Моделирование поведения хозяйствующих субъектов в условиях изменяющейся рыночной среды / под ред. В. С. Пономаренко, Т. С. Клебановой. Бердянск : Издатель Ткачук А. В., 2016. С. 208–230.
17. Altman E. Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy. *The Journal of Finance*. 1968. Vol. 23. No. 4. P. 589–609. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1968.tb00843.x>
18. Гурьянова Л. С., Непомнящий В. В. Методы выбора диагностических показателей финансовой безопасности. *Бізнес Інформ*. 2013. №. 4. С. 377–381. URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2013-4_0-pages-377_381.pdf
19. Taffler R. J., Tisshaw H. J. Going, Going, Gone. Four Factors Which Predict. *Accountancy*. 1977. Vol. 88. P. 50–54.

REFERENCES

- Altman, E. "Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy". *The Journal of Finance*, vol. 23, no. 4 (1968): 589-609. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1968.tb00843.x>
- Borovikov, V. P. *Populyarnoye vvedeniye v programmu Statistica* [A Popular Introduction to the Statistica Program]. Moscow: Kompiuter Press, 1998.
- Buhai, V. Z., and Fedorets, A. O. "Modeliuvannya imovirnosti bankrutstva pidpriemstva (na prykladi PRAT «Kropyvnytskyi O EZ»)» [Modeling the Probability of Enterprise Bankruptcy (On the Example of PJSC "Kropyvnytskyi O EZ")]. *Ekonomika ta suspilstvo*, no. 50 (2023). DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-50-67>
- Huryanova, L. S., and Nepomnyashchii, V. V. "Metody vybora diagnosticheskikh pokazateley finansovoy bezopasnosti" [Methods of Selection of Diagnostic Indicators of Financial Security]. *Biznes Inform*, no. 4 (2013): 377-381. https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2013-4_0-pages-377_381.pdf
- Klebanova, T. S. et al. *Neiromerezhevi modeli otsinky finansovykh kryz na pidpriemstvakh korporatyvnoho typu* [Neural Network Models for Assessing Financial Crises at Corporate-type Enterprises]. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova, 2018.
- Klebanova, T. S., Dymchenko, O. V., and Rudachenko, O. O. *Otsinka, analiz i poperedzhennia kryzovoho stanu pidpriemstv zhytlovo-komunalnoho hospodarstva* [Evaluation, Analysis and Prevention of the Crisis State of Housing and Communal Enterprises]. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova, 2016.
- Kovalenko, O. "Maizhe 200 bankrutiv za kvartal. U Derzhstati rozpovily, yakyi biznes ne ide v Ukraini pid chas viiny" [Almost 200 Bankrupts Per Quarter. The State Statistics Service Revealed What Kind of Business Does not Work in Ukraine During the War]. *NV.Biznes*. April 16, 2024. <https://biz.nv.ua/ukr/markets/statistika-bankrutstv-kompaniy-u-riznih-sferah-biznesu-torgivlya-remont-finansi-ta-inshi-50410354.html>
- Kruglov, V. V., and Borisov, V. V. *Iskusstvennyye neyronnyye seti (INS). Teoriya i praktika* [Artificial Neural Networks. Theory and Practice]. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2002.
- Kyzym, M. O., Leliuk, O. V., and Kostenko, D. M. "Otsinka i diahnozyka rozvytku rozpodilenoj enerhetyky v

- Ukraini" [Assessment and Diagnostics of the Development of Distributed Generation in Ukraine]. *Problemy ekonomiky*, no. 4 (2018): 79-92.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2018-4-79-92>
- Lazariev, Yu. F. "Dovidnyk z MATLAB : elektronnyi navchalnyi posibnyk z kursovoho i dyplomnoho proektuvannia" [Handbook of MATLAB: An Electronic Study Guide for Course and Diploma Design]. Kyiv : NTUU «KPI», 2013. https://cions.kpi.ua/Arhiv/Lazarev/dovidnyk_Matlab.pdf
- Loza, S. P., and Loza, D. Yu. "Zastosuvannia dyskryminantnykh modelei dlia otsinky imovirnosti bankructva na prykladi AT «Ukrzaliznytsia»" [Application of Discriminant Models for Evaluating the Probability of Bankruptcy on the Example of JSC "Ukrzaliznytsia"]. *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Seriia «Ekonomika i upravlinnia»*, no. 53 (2023): 6-16.
DOI: [10.32703/2664-2964-2023-53-6-16](https://doi.org/10.32703/2664-2964-2023-53-6-16)
- Nikolov, O. P. "Analiz imovirnosti ryzyku bankructva pidpriemstva" [Analysis of Probability of the Enterprise Bankruptcy]. *Naukovyi visnyk [Odeskoho natsionalnoho ekonomichnoho universytetu]*, no. 9-10 (2021): 112-118.
DOI: [10.32680/2409-9260-2021-9-10-286-287-112-118](https://doi.org/10.32680/2409-9260-2021-9-10-286-287-112-118).
- "Pokaznyky diialnosti subiektiv hospodariuvannia / Ekonomichna statystyka" [Performance Indicators of Business Entities / Economic Statistics]. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*. https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/sze_20.htm
- Savchenko, A. M., and Fisher, N. V. "Doslidzhennia imovirnosti nastannia bankructva vyrobnychoho pidpriemstva" [Determining the Probability of Bankruptcy of Production Enterprise]. *Biznes Inform*, no. 11 (2020): 186-191.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-11-186-191>
- Serhiienko, O. A. et al. "Stsenarne modeliuвання faktoriv orhanizatsiino-upravlinskoho potentsialu konkurentostiikosti: informatsiino-analitychna baza pryiniattia upravlinskykh rishen" [Scenario Modeling of Factors of Organizational and Management Potential of Competitive Stability: Information and Analytical Base for Making Management Decisions]. In *Modelirovaniye povedeniya khozyaystvuyushchikh subektov v usloviyakh izmenyayushcheysya rynochnoi sredy*, 208-230. Berdiansk: Izdatel Tkachuk A. V., 2016.
- Serhiienko, O. A., and Tatar, M. S. "Prostorovo-dynamichna otsinka ta analiz indykatoriv konkurentospromozhnosti pidpriemstv" [Spatial-dynamic Evaluation and Analysis of Indicators of Competitiveness of Enterprises]. *Biznes Inform*, no. 4 (2012): 41-46. https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2012-4_0-pages-41_46.pdf
- Taffler, R. J., and Tisshaw, H. J. "Going, Going, Gone. Four Factors Which Predict". *Accountancy*, vol. 88 (1977): 50-54.
- Volkova, N. I., and Stepanko, O. V. "Prohnozuvannia ryzyku nastannia bankructva na pidpriemstvi" [Prediction of the Risk of Bankruptcy at the Enterprise]. *Tsyfrova ekonomika ta ekonomichna bezpeka*, no. 2 (2022): 173-178.
DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.2-29>
- Zabrodskiy, V. A., and Kizim, N. A. *Diagnostika finansovoy ustoychivosti funktsionirovaniya proizvodstvenno-ekonomicheskikh sistem* [Diagnostics of Financial Stability of Functioning of Production and Economic Systems]. Kharkiv: VD «Biznes Inform», 2000.