

ISSN 2306-3289

№ 3
2014

Нейро-нечіткі ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний вищий навчальний заклад
«КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВАДИМА ГЕТЬМАНА»

Журнал є науковим фаховим виданням України,
в якому можуть публікуватися результати дисер-
таційних робіт на здобуття наукових ступенів
доктора і кандидата наук в галузі економіки
(наказ МОН України від 26.05.2014 № 642 —
оголошення в спецвипуску газети
«Освіта України», червень 2014 р.).

НЕЙРО-НЕЧІТКІ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ

Науково-аналітичний журнал

Заснований у 2011 р.

Виходить двічі на рік

№ 3

Київ 2014

Редакційна колегія

Почесний Головний редактор Лотфі А. Заде, доктор наук, професор (США).

Головний редактор А. В. Матвійчук, доктор економічних наук, доцент.

Відповідальний секретар Г. І. Великоіваненко, канд. фіз.-мат. наук, доцент;
І. З. Батиршин, доктор фіз.-мат. наук, професор (Мексика); **А. М. Борисов**,
доктор техн. наук, професор (Латвія); **В. В. Вітлінський**, доктор екон. наук,
професор; **В. К. Галіцин**, доктор екон. наук, професор; **К. Д. Іманов**, доктор
екон. наук, професор (Азербайджан); **Т. С. Клебанова**, доктор екон. наук, професор;
К. Ф. Ковальчук, доктор екон. наук, професор; **Ю. Г. Лисенко**,
чл.-кор. НАН України, доктор екон. наук, професор; **І. Г. Лук'яненко**, доктор
екон. наук, професор; **Т. В. Меркулова**, доктор екон. наук, професор; **Лешек**
Рутковський, член Польської академії наук, доктор наук, професор (Польща);
С. В. Устенко, доктор екон. наук, професор; **О. І. Черняк**, доктор екон. наук,
професор; **С. Д. Штовба**, доктор техн. наук, професор; **О. В. Язенін**, доктор
фіз.-мат. наук, професор (Росія).

*Адреса редакційної колегії: 03680, м. Київ, просп. Перемоги, 54/1, кімн. 220
ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»
Тел.: 044 371 61 09; 044 456 50 08
E-mail: editor@nfmte.com
Веб-сайт журналу: <http://nfmte.com/>*

*Засновник та видавець
Державний вищий навчальний заклад
«Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 18370-7170Р,
видане Державною реєстраційною службою України 27.10.2011

*Рекомендовано до друку Вченою радою КНЕУ
Протокол № 12 від 26.06.2014*

Загальна та наукова редакція А. Матвійчука

*Художники обкладинки Г. Мір Алленде, М. Мейдич
Коректор Ю. Пригорницький. Верстка І. Грибанової*

Підписано до друку 15.09.14. Формат 60×84/16. Папір офсет. № 1.
Гарнітура Тип Таймс. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 13,02.
Обл.-вид. арк. 14,82. Наклад 100 пр. Зам. № 13-4954

Державний вищий навчальний заклад
«Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»
03680, м. Київ, проспект Перемоги, 54/1
Тел./факс (044) 537-61-41; тел. (044) 537-61-44
E-mail: publish@kneu.kiev.ua

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

М. В. Бальзан

Канд. екон. наук,
доцент кафедри економіки підприємства і виробничого менеджменту

Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна

marinagrabko@gmail.com

Стаття присвячена питанню підвищення результативності діяльності підприємства на прикладі аналізу діяльності машинобудівних підприємств. Обґрунтовано, що підвищення результативності діяльності виробничого підприємства є наслідком покращання ефективності управління якістю організації виробничого процесу, яке досягнуто шляхом застосування багатокритеріального аналізу до розв'язання задачі управління якістю діяльності підприємств. Обґрунтовано доцільність застосування методу нечіткого багатокритеріального аналізу при виборі найкращого варіанта управління якістю діяльності. За даним методом багатокритеріальний аналіз при виборі найкращого варіанту проекту управління якістю організації виробничого процесу здійснюється на основі парних порівнянь альтернатив. Такий підхід зручніший для експерта і є перевагою запропонованого методу. В результаті дослідження сформовано критерії оцінювання варіантів формування альтернатив: ступінь проробки проекту; очікуваний ефект; ризики; швидкість формування системи управління якістю; перспективи розвитку системи управління якістю; вартість проекту. Особливістю запропонованого методу є застосування принципу Белмана-Заде, згідно якого компенсація надлику одних показників надлишком інших є неприпустимою. Як розв'язок, вибирається альтернатива, яка одночасно задовольняє усім критеріям найбільшою мірою. На конкретному прикладі продемонстровано як, використовуючи вибраний набір критеріїв, із застосуванням розробленого підходу сформувати бажану систему управління якістю організації виробничого процесу на підприємстві з очікуваною ефективністю.

Ключові слова. *Ефективність управління, якість організації виробничого процесу, багатокритеріальний аналіз, нечіткі множини, парні порівняння.*

ОЦЕНИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

М. В. Бальзан

Канд. экон. наук,
доцент кафедры экономики предприятия
и производственного менеджмента

Винницкий национальный технический университет
Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21021, Украина
marinagrabko@gmail.com

Статья посвящена вопросу повышения результативности деятельности предприятия на примере анализа деятельности машиностроительных предприятий. Обосновано, что повышение результативности деятельности производственного предприятия является следствием улучшения эффективности управления качеством организации производственного процесса, достигнутого путем использования многокритериального анализа к решению задачи управления качеством деятельности предприятий. Обосновано целесообразность использования метода нечеткого многокритериального анализа при выборе наилучшего варианта управления качеством деятельности. Согласно этому методу многокритериальный анализ при выборе наилучшего варианта проекта управления качеством организации производственного процесса осуществляется на основе парных сравнений альтернатив. Такой подход удобнее для эксперта и является преимуществом предложенного метода. В результате исследования сформированы критерии оценивания вариантов формирования альтернатив: степень проработки проекта; ожидаемый эффект; риски; скорость формирования системы управления качеством; перспективы развития системы управления качеством; стоимость проекта. Особенностью предложенного метода является использование принципа Беллмана-Заде, согласно которому компенсация недостатка одних показателей избытком других недопустима. В качестве решения выбирается альтернатива, одновременно удовлетворяющая всем критериям в наибольшей степени. На конкретном примере продемонстрировано как, используя выбранный набор критериев, с применением разработанного подхода сформировать желательную систему управления качеством организации производственного процесса на предприятии с ожидаемой эффективностью.

Ключевые слова: *Эффективность управления, качество организации производственного процесса, многокритериальный анализ, нечеткие множества, парные сравнения.*

EVALUATION OF EFFICIENCY IN CONTROLLING OVER THE QUALITY OF MANUFACTURING PROCESS ORGANIZATION ON MACHINE ENGINEERING ENTERPRISE

Marina Balzan

PhD (Economic Sciences),
Associate Professor of Department of Business Economics
and Industrial Management

Vinnitsia National Technical University
95 Khmelnytsky Highway, Vinnitsia, 21021, Ukraine

marinagrabko@gmail.com

The paper considers the issue of improving the performance in enterprise activity analyzing the rating example results of the machine engineering enterprise. The improvement of the enterprise activity efficiency had been proven to be the result of enhancement in controlling over the quality of manufacturing process organization, achieved by applying the multi criteria analysis to the solution of the task of controlling over the enterprise performance quality. There had been substantiated the appropriateness of using the method of fuzzy multi criteria analysis as an alternative to the best variant in controlling over the performance quality. The above method enables to use the multi criteria analysis for choosing the best variant of the quality controlling project aimed at organizing the manufacturing process on the bases of pair wise comparison of the alternatives. Such an approach is suitable for the expert and is an advantage of the suggested method. The research resulted in the formulation of criteria for the evaluation of alternative variants: the degree of project preparation; expected effect; risks; quick development of the system for quality control; perspectives for the development of quality control system; project cost. One of the main characteristics of the suggested method is the application of the Zadeh-Bellman principle, following which the compensation for the drawbacks of some factors by the excess of the other is impossible. The solution is an alternative to be chosen, which simultaneously satisfies all the criteria for the most part. The specific example demonstrates the way the chosen set of criteria and the application of the developed approach forms the desired system for enterprise quality control with the expected efficiency.

Keywords. *Management efficiency, quality of the production process, multi criteria analysis, fuzzy sets, pairwise comparisons.*

JEL Classification: C53, C61, M11.

Постановка проблеми

Однією з передумов економічного розвитку та стабільності держави є, в тому числі, ефективна діяльність промислових підприємств, зокрема, машинобудівної галузі. Як показує аналіз машинобудівних підприємств Вінниччини [1], показники їх результативності є низькими та вкрай нестійкими, що свідчить про недостатній рівень ефективності управління їх діяльністю (табл. 1). Результативність підприємств безпосередньо обумовлена рівнем інноваційно-технологічної активності та ефективності системи управління якістю на підприємстві. Адекватними за змістом повинні бути і розроблені стратегії розвитку підприємств.

Таблиця 1

**ПРИБУТКИ (ЗБИТКИ) МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ
ВІННИЧЧИНИ ВІД ЗВИЧАЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ДО ОПОДАТКУВАННЯ, тис. грн**

Найменування підприємств	Роки				
	2008	2009	2010	2011	2012
1. ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод»	2261,0	3302,0	2296,0	1731,0	-582,0
2. ПАТ «Дашівський ремонтно-механічний завод»	75,0	-223,0	-57,0	79,0	-89,0
3. ВАТ «Хмільниксільмаш»	141,0	-1656,0	-1306,0	766,0	-813,0
4. ПАТ «Вінницький інструментальний завод»	-1752,0	-2146,0	-99,0	-794,0	-743,0
5. ПАТ «Барський машинобудівний завод»	2557,0	1198,0	2271,0	2064,0	2800,0
6. ПрАТ «Вінницький дослідний завод»	115,0	2502,0	3730,0	4109,0	13722,0
7. ПрАТ «Вінницький завод «Будмаш»	46,0	-438,0	67,0	-586,0	-1642,0
8. ПрАТ «Ладжинський ремонтно-механічний завод»	-92,0	-21,8	-33,9	-30,0	-78,0

У результаті проведеного дослідження було встановлено, що на зазначених у табл. 1 і подібних їм машинобудівних підприємствах формально створювалась система управління якістю, в ос-

нові якої переважав етап реалізації статистичного моніторингу управління, а також, залежно від підприємств, впровадження окремих елементів або комплексного управління якістю. Наприклад, така система була більш повно втілена на ВАТ «Хмільниксільмаш», ПАТ «Вінницький інструментальний завод», ПрАТ «Вінницький дослідний завод».

Однак, такий підхід є надто спрощеним і не містить ряд необхідних етапів процесу управління якістю. Із зазначеного витікає необхідність обґрунтування принципової стратегії розвитку системи управління якістю діяльності підприємств, яка має будуватися за ланцюгом: «вдосконалення системи управління якістю (продукції) на підприємстві — реалізація відповідного інноваційного проекту — зростання рівня технологічності виробництва та конкурентоспроможності продукції — підвищення результативності діяльності підприємства в цілому».

Основними тенденціями формування української моделі управління якістю діяльності на машинобудівних підприємствах є: наслідкове збереження низької результативності такої системи управління в цілому за умови кризового стану переважної частини підприємств, низька адаптивність до дифузії ефективних управлінських технологій у сфері управління якістю (світового досвіду), реалізація лише в окремих (обмежених) випадках інноваційно-інвестиційної моделі розвитку підприємств, низька ефективність управління підприємства в цілому та якістю зокрема. При цьому, менеджмент промислових підприємств наразі дійшов до сприйняття ідеї про перспективність зростання якості як стратегієутворюючого фактору із реалізацією відповідного сценарію розвитку.

Звідси для товаровиробників актуальними щодо управління якістю діяльності стають задачі: як вірно побудувати розвиток системи управління якістю на стратегічному і оперативному рівнях управління, як спрогнозувати результативність управління якістю діяльності, як управляти результативністю якості діяльності. Задля розв'язання поставлених завдань управління якістю діяльності машинобудівних підприємств з метою підвищення їх результативності необхідно сформуувати сукупність принципів, змістовних і формалізованих постановок задач прийняття управлінських рішень, систем класифікації та економіко-математичних моделей.

Виклад основного матеріалу дослідження

Застосуємо для створення або вдосконалення наявної на підприємстві системи управління якістю діяльності багатокритеріальний аналіз варіантів її формування. При цьому має забезпечуватись вибір найкращого варіанту системи з урахуванням умов невизначеності початкових даних. Зрозуміло, що повинні враховуватись якісні та кількісні показники системи управління якістю діяльності, можливість ранжування варіантів за вибраними критеріями, використання експертних лінгвістичних оцінок характеристик варіантів систем управління якістю діяльності та порівняння важливості критеріїв.

Для цього вважаємо відомими:

$V = \{V_1, V_2, \dots, V_k\}$ — множина варіантів формування системи управління якістю діяльності;

$K = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ — множина кількісних та якісних критеріїв оцінювання варіантів.

Задача багатокритеріального аналізу полягає у впорядкуванні елементів множини V за критеріями з множини K .

Беручи до уваги результати досліджень з управління проектами [2—5], виділимо такі критерії оцінювання варіантів формування системи управління якістю діяльності:

K_1 — ступінь проробки варіанта;

K_2 — очікуваний ефект;

K_3 — ризики;

K_4 — швидкість формування системи управління якістю діяльності;

K_5 — перспективи розвитку системи управління якістю діяльності;

K_6 — вартість варіанта системи управління якістю діяльності.

Зазначимо, що множина обраних критеріїв може доповнюватися залежно від вимог до конкретної системи управління якістю діяльності. Кожен критерій може розглядатися як згортка частинних показників нижчого ієрархічного рівня. Наприклад, до ризиків (K_3) можуть входити юридичні, фінансові, іміджеві ризики, ризики через зміни в законодавстві, ризики через складність реалізації варіанта проекту, ризики від втрати конкурентних переваг, ризики зриву термінів виконання тощо. Одна із можливих класифікацій проектних ризиків наведена в [2, с. 85—93]. Сту-

пінь деталізації визначається особливостями конкретної системи управління якістю діяльності.

Для побудови моделі прийняття рішень з вибору найбільш адекватної аналізованому підприємству системи управління якістю діяльності використаємо метод нечіткого багатокритеріального аналізу варіантів [6; 7, с. 201—222; 8]. Він дозволяє врахувати вказані особливості оцінювання системи управління якістю діяльності та не потребує кількісних оцінок частинних критеріїв. Схемою прийняття рішення за цим методом [8] передбачається розгляд критеріїв як нечітких множин, що задані на універсальній множині варіантів за допомогою функцій належності; визначення функцій належності нечітких множин на основі експертних знань про парні порівняння варіантів; формування коефіцієнтів важливості критеріїв через відповідні функції належності; ранжування варіантів через перетин нечітких множин-критеріїв згідно підходу Беллмана-Заде [9] за теорією прийняття рішень.

Також переваги багатокритеріального аналізу системи управління якістю діяльності за нечіткою теорією прийняття рішень полягають у можливості застосування експертного оцінювання показників проектів, врахуванні парних порівнянь замість кількісних оцінок, врахуванні критеріїв з різною важливістю, яка оцінюється експертами, тощо.

Позначимо через $\mu_{K_i}(V_j)$ — число з діапазону $[0, 1]$, яке характеризує рівень системи управління якістю діяльності $V_j \in V$ за критерієм $K_i \in K$: чим більше число $\mu_{K_i}(V_j)$, тим краща оцінка варіанту V_j за критерієм K_i , $j = \overline{1, k}$, $i = \overline{1, n}$. Тоді критерій K_i можна представити як нечітку множину \tilde{K}_i на універсальній множині систем управління якістю діяльності V :

$$\tilde{K}_i = \left\{ \frac{\mu_{K_i}(V_1)}{V_1}, \frac{\mu_{K_i}(V_2)}{V_2}, \dots, \frac{\mu_{K_i}(V_k)}{V_k} \right\}. \quad (1)$$

Формально, з позицій теорії нечітких множин, $\mu_{K_i}(V_j)$ можна розглядати як ступінь належності елемента V_j нечіткій множині \tilde{K}_i .

Ступені належності нечіткої множини (1) знайдемо за методом побудови функцій належності на основі парних порівнянь [10, с. 7—23], які задаються матрицею:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ \dots & & & \\ a_{k1} & a_{k2} & \dots & a_{kk} \end{bmatrix},$$

де a_{lj} — рівень переваги варіанту V_l над варіантом V_j ($l, j = \overline{1, k}$), який визначається за дев'ятибальною шкалою Сааті [11]:

1 — якщо відсутня перевага V_l над V_j ;

3 — якщо перевага V_l над V_j є слабкою;

5 — якщо перевага V_l над V_j є помірною;

7 — якщо перевага V_l над V_j є сильною;

9 — якщо перевага V_l над V_j є абсолютною,

2, 4, 6, 8 — проміжні оцінки: 2 — ледь слабка перевага; 4 — більш ніж слабка перевага; 6 — майже сильна перевага; 8 — майже абсолютна перевага.

Елементи матриці парних порівнянь A пов'язані математичним виразом:

$$a_{lj} = 1/a_{jl}, l, j = \overline{1, k}. \quad (2)$$

Ступеням належності нечіткої множини (1) відповідають координати власного вектора $W = (w_1, w_2, \dots, w_k)^T$ матриці A :

$$\mu_{K_i}(V_j) = w_j, j = \overline{1, k}. \quad (3)$$

Власний вектор визначається за системою рівнянь

$$\begin{cases} A \cdot W = \lambda_{\max} \cdot W, \\ w_1 + w_2 + \dots + w_k = 1, \end{cases} \quad (4)$$

де λ_{\max} — найбільше власне значення матриці A .

Згідно підходу Беллмана-Заде найкращим буде результат, який найбільше одночасно задовольняє усім критеріям. При цьо-

му нечіткій розв'язок знаходиться як перетин частинних критеріїв [9]:

$$\tilde{D} = \tilde{K}_1 \cap \tilde{K}_2 \cap \dots \cap \tilde{K}_n. \quad (5)$$

Ступені належності нечіткого розв'язку $\tilde{D} = \left\{ \frac{\mu_D(V_1)}{V_1}, \frac{\mu_D(V_2)}{V_2}, \dots, \right.$

$\left. \frac{\mu_D(V_k)}{V_k} \right\}$ знаходимо через $\mu_D(V_j) = \min_{i=1,n} (\mu_{K_i}(V_j))$, $j = \overline{1, k}$.

Найбільш адекватною аналізованому підприємству є система управління якістю V_i з максимальним ступенем належності:

$$D = \arg \max (\mu_D(V_1), \mu_D(V_2), \dots, \mu_D(V_k)).$$

При різній важливості критеріїв формула (5) приймає вид [7; 8]:

$$\begin{aligned} \tilde{D} &= \tilde{K}_1^{\alpha_1} \cap \tilde{K}_2^{\alpha_2} \cap \dots \cap \tilde{K}_n^{\alpha_n} = \\ &= \left\{ \frac{\min_{i=1,n} (\mu_{K_i}^{\alpha_i}(V_1))}{V_1}, \frac{\min_{i=1,n} (\mu_{K_i}^{\alpha_i}(V_2))}{V_2}, \dots, \frac{\min_{i=1,n} (\mu_{K_i}^{\alpha_i}(V_k))}{V_k} \right\}, \end{aligned} \quad (6)$$

де α_i — коефіцієнт відносної важливості критерію K_i , $i = \overline{1, n}$, а $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n = 1$.

Ступінь α_i у формулі (6) концентрує функції належності нечіткої множини \tilde{K}_i згідно важливості критерію K_i відповідно до підходу, описаного у [5]. Коефіцієнти відносної важливості критеріїв будемо визначати за методом парних порівнянь Сааті [11].

Як приклад, здійснимо порівняння чотирьох варіантів формування системи управління якістю діяльності. Експертні порівняння варіантів $V_1 \div V_4$ за критеріями $K_1 \div K_6$ наведено в табл. 2.

Таблиця 2

ПАРНІ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ

Критерій	Парні порівняння	
K_1	1) <i>слабка</i> перевага V_1 над V_2 ; 2) <i>помірна</i> перевага V_1 над V_3 ; 3) <i>відсутня</i> перевага V_1 над V_4	4) <i>відсутня</i> перевага V_2 над V_3 ; 5) <i>слабка</i> перевага V_2 над V_4 ; 6) <i>відсутня</i> перевага V_3 над V_4
K_2	1) <i>відсутня</i> перевага V_1 над V_2 ; 2) <i>сильна</i> перевага V_1 над V_3 ; 3) <i>помірна</i> перевага V_1 над V_4	4) <i>слабка</i> перевага V_2 над V_3 ; 5) <i>помірна</i> перевага V_2 над V_4 ; 6) <i>слабка</i> перевага V_3 над V_4
K_3	1) <i>сильна</i> перевага V_1 над V_2 ; 2) <i>слабка</i> перевага V_1 над V_3 ; 3) <i>помірна</i> перевага V_1 над V_4	4) <i>слабка</i> перевага V_2 над V_4 ; 5) <i>помірна</i> перевага V_3 над V_2 ; 6) <i>помірна</i> перевага V_3 над V_4
K_4	1) <i>помірна</i> перевага V_2 над V_1 ; 2) <i>відсутня</i> перевага V_2 над V_4 ; 3) <i>слабка</i> перевага V_4 над V_1	5) <i>слабка</i> перевага V_3 над V_2 ; 4) <i>помірна</i> перевага V_3 над V_1 ; 6) <i>сильна</i> перевага V_3 над V_4
K_5	1) <i>слабка</i> перевага V_2 над V_1 ; 2) <i>відсутня</i> перевага V_2 над V_3 ; 3) <i>помірна</i> перевага V_1 над V_3	4) <i>помірна</i> перевага V_4 над V_1 ; 5) <i>слабка</i> перевага V_2 над V_4 ; 6) <i>сильна</i> перевага V_4 над V_3
K_6	1) <i>сильна</i> перевага V_2 над V_1 ; 2) <i>слабка</i> перевага V_3 над V_2 ; 3) <i>помірна</i> перевага V_2 над V_4	4) <i>відсутня</i> перевага V_3 над V_1 ; 5) <i>помірна</i> перевага V_4 над V_1 ; 6) <i>слабка</i> перевага V_4 над V_3

Цим експертним висловлюванням відповідають матриці парних порівнянь:

$$A(K_1) = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1/3 & 1 & 1 \end{bmatrix}; A(K_2) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 7 & 5 \\ 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A(K_3) = \begin{bmatrix} 1 & 7 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1 & 1/5 & 3 \\ 1/3 & 5 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}; A(K_4) = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/5 & 1/3 \\ 5 & 1 & 1/3 & 1 \\ 5 & 3 & 1 & 7 \\ 3 & 1 & 1/7 & 1 \end{bmatrix};$$

$$A(K_5) = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 5 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1 & 1/7 \\ 5 & 1/3 & 7 & 1 \end{bmatrix}; A(K_6) = \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 1 & 1/5 \\ 7 & 1 & 1/3 & 5 \\ 1 & 3 & 1 & 1/3 \\ 5 & 1/5 & 3 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Застосуємо формули (3) та (4) до всіх шести матриць парних порівнянь (7) та отримаємо нечіткі множини:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{K}_1 = \left\{ \frac{0.44}{V_1}, \frac{0.23}{V_2}, \frac{0.14}{V_3}, \frac{0.19}{V_4} \right\}; \quad \tilde{K}_2 = \left\{ \frac{0.47}{V_1}, \frac{0.35}{V_2}, \frac{0.12}{V_3}, \frac{0.06}{V_4} \right\}; \\ \tilde{K}_3 = \left\{ \frac{0.55}{V_1}, \frac{0.10}{V_2}, \frac{0.29}{V_3}, \frac{0.06}{V_4} \right\}; \quad \tilde{K}_4 = \left\{ \frac{0.06}{V_1}, \frac{0.20}{V_2}, \frac{0.60}{V_3}, \frac{0.14}{V_4} \right\}; \\ \tilde{K}_5 = \left\{ \frac{0.16}{V_1}, \frac{0.37}{V_2}, \frac{0.10}{V_3}, \frac{0.37}{V_4} \right\}; \quad \tilde{K}_6 = \left\{ \frac{0.08}{V_1}, \frac{0.39}{V_2}, \frac{0.27}{V_3}, \frac{0.26}{V_4} \right\}. \end{array} \right. \quad (8)$$

Аналогічно до [12], щоб оцінити, наскільки варіанти $V_1 \div V_4$ задовольняють критеріям $K_1 \div K_6$, представимо нечіткі множини у вигляді:

$$\begin{aligned} \tilde{V}_1 &= \left\{ \frac{0.44}{K_1}, \frac{0.47}{K_2}, \frac{0.55}{K_3}, \frac{0.06}{K_4}, \frac{0.16}{K_5}, \frac{0.08}{K_6} \right\}, \\ \tilde{V}_2 &= \left\{ \frac{0.23}{K_1}, \frac{0.35}{K_2}, \frac{0.10}{K_3}, \frac{0.20}{K_4}, \frac{0.37}{K_5}, \frac{0.39}{K_6} \right\}, \\ \tilde{V}_3 &= \left\{ \frac{0.14}{K_1}, \frac{0.12}{K_2}, \frac{0.29}{K_3}, \frac{0.60}{K_4}, \frac{0.10}{K_5}, \frac{0.27}{K_6} \right\}, \\ \tilde{V}_4 &= \left\{ \frac{0.19}{K_1}, \frac{0.06}{K_2}, \frac{0.06}{K_3}, \frac{0.14}{K_4}, \frac{0.37}{K_5}, \frac{0.26}{K_6} \right\}. \end{aligned}$$

Графічні представлення значень функцій належності нечітких множин $\tilde{V}_1 \div \tilde{V}_4$ (рис. 1) свідчать, що кожен варіант має певні переваги за різними критеріями. Так, варіант V_1 є кращим за критеріями K_1 , K_2 та K_3 , варіант V_2 — за критеріями K_2 , K_5 і K_6 , варіант V_3 — за критерієм K_4 , а варіант V_4 — за критерієм K_5 . Тому кінцевий вибір варіанту залежить від важливості критеріїв.

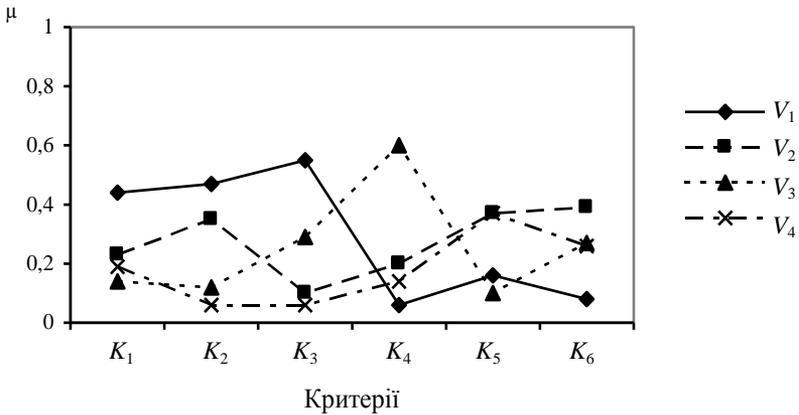


Рис. 1. Результат порівняння варіантів V₁÷V₄ за критеріями K₁÷K₆

Вважаємо, що відомі експертні парні порівняння важливості критеріїв:

відсутня перевага K₁ над K₃;
слабка перевага K₁ над K₄;
помірна перевага K₁ над K₆;
слабка перевага K₂ над K₁;
відсутня перевага K₂ над K₃;
помірна перевага K₂ над K₅;
слабка перевага K₂ над K₆;
сильна перевага K₃ над K₄;

відсутня перевага K₃ над K₅;
слабка перевага K₃ над K₆;
помірна перевага K₄ над K₂;
відсутня перевага K₅ над K₁;
помірна перевага K₅ над K₄;
слабка перевага K₅ над K₆;
відсутня перевага K₆ над K₄.

Їм відповідає матриця парних порівнянь:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1 & 3 & 1 & 5 \\ 3 & 1 & 1 & 1/5 & 5 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 7 & 1 & 3 \\ 1/3 & 5 & 1/7 & 1 & 1/5 & 1 \\ 1 & 1/5 & 1 & 5 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}.$$

За формулою (4) знаходимо коефіцієнти важливості критеріїв $K_1 \div K_6$:

$$\begin{array}{lll} \alpha_1 = 0.16; & \alpha_3 = 0.23; & \alpha_5 = 0.18; \\ \alpha_2 = 0.22; & \alpha_4 = 0.16; & \alpha_6 = 0.05, \end{array}$$

які свідчать, що найбільше впливають на прийняття рішення очікуваний ефект (K_2) та ризику (K_3).

За формулою (6) отримуємо такі нечіткі множини:

$$\begin{aligned} \tilde{K}_1^{\alpha_1} &= \left\{ \frac{0.44^{0.16}}{V_1}, \frac{0.23^{0.16}}{V_2}, \frac{0.14^{0.16}}{V_3}, \frac{0.19^{0.16}}{V_4} \right\} = \left\{ \frac{0.877}{V_1}, \frac{0.790}{V_2}, \frac{0.730}{V_3}, \frac{0.766}{V_4} \right\}; \\ \tilde{K}_2^{\alpha_2} &= \left\{ \frac{0.47^{0.22}}{V_1}, \frac{0.35^{0.22}}{V_2}, \frac{0.12^{0.22}}{V_3}, \frac{0.06^{0.22}}{V_4} \right\} = \left\{ \frac{0.847}{V_1}, \frac{0.793}{V_2}, \frac{0.627}{V_3}, \frac{0.538}{V_4} \right\}; \\ \tilde{K}_3^{\alpha_3} &= \left\{ \frac{0.55^{0.23}}{V_1}, \frac{0.10^{0.23}}{V_2}, \frac{0.29^{0.23}}{V_3}, \frac{0.06^{0.23}}{V_4} \right\} = \left\{ \frac{0.871}{V_1}, \frac{0.588}{V_2}, \frac{0.752}{V_3}, \frac{0.523}{V_4} \right\}; \\ \tilde{K}_4^{\alpha_4} &= \left\{ \frac{0.06^{0.16}}{V_1}, \frac{0.20^{0.16}}{V_2}, \frac{0.60^{0.16}}{V_3}, \frac{0.14^{0.16}}{V_4} \right\} = \left\{ \frac{0.637}{V_1}, \frac{0.773}{V_2}, \frac{0.921}{V_3}, \frac{0.730}{V_4} \right\}; \\ \tilde{K}_5^{\alpha_5} &= \left\{ \frac{0.16^{0.18}}{V_1}, \frac{0.37^{0.18}}{V_2}, \frac{0.10^{0.18}}{V_3}, \frac{0.37^{0.18}}{V_4} \right\} = \left\{ \frac{0.719}{V_1}, \frac{0.836}{V_2}, \frac{0.660}{V_3}, \frac{0.836}{V_4} \right\}; \\ \tilde{K}_6^{\alpha_6} &= \left\{ \frac{0.08^{0.05}}{V_1}, \frac{0.39^{0.05}}{V_2}, \frac{0.27^{0.05}}{V_3}, \frac{0.26^{0.05}}{V_4} \right\} = \left\{ \frac{0.881}{V_1}, \frac{0.954}{V_2}, \frac{0.936}{V_3}, \frac{0.934}{V_4} \right\}. \end{aligned}$$

Перетин нечітких множин-критеріїв $\tilde{K}_1^{\alpha_1} \cap \tilde{K}_2^{\alpha_2} \cap \tilde{K}_3^{\alpha_3} \cap \tilde{K}_4^{\alpha_4} \cap \tilde{K}_5^{\alpha_5} \cap \tilde{K}_6^{\alpha_6}$ дає такі ступені належності нечіткої множини-рішення (\tilde{D}):

$$\begin{aligned} \mu_D(V_1) &= \min(0.877, 0.847, 0.871, 0.637, 0.719, 0.881) = 0.637; \\ \mu_D(V_2) &= \min(0.790, 0.793, 0.588, 0.773, 0.836, 0.954) = 0.588; \\ \mu_D(V_3) &= \min(0.730, 0.627, 0.752, 0.921, 0.660, 0.936) = 0.627; \\ \mu_D(V_4) &= \min(0.766, 0.538, 0.523, 0.730, 0.836, 0.934) = 0.523. \end{aligned}$$

Результат подаємо у вигляді нечіткої множини

$$\tilde{D} = \left\{ \frac{0.637}{V_1}, \frac{0.588}{V_2}, \frac{0.627}{V_3}, \frac{0.523}{V_4} \right\},$$

яка свідчить про перевагу варіанту V_1 над іншими. Тобто, варіант V_1 більшою мірою одночасно задовольняє усім критеріям з урахуванням їх важливості.

Представимо нечіткі множини, які показують наскільки варіанти $V_1 \div V_4$ задовольняють критеріям $K_1 \div K_6$, з урахуванням їх важливості, у вигляді:

$$\begin{aligned}\tilde{V}_1 &= \left\{ \frac{0.877}{K_1}, \frac{0.847}{K_2}, \frac{0.871}{K_3}, \frac{0.637}{K_4}, \frac{0.719}{K_5}, \frac{0.881}{K_6} \right\}; \\ \tilde{V}_2 &= \left\{ \frac{0.790}{K_1}, \frac{0.793}{K_2}, \frac{0.588}{K_3}, \frac{0.773}{K_4}, \frac{0.836}{K_5}, \frac{0.954}{K_6} \right\}; \\ \tilde{V}_3 &= \left\{ \frac{0.730}{K_1}, \frac{0.627}{K_2}, \frac{0.752}{K_3}, \frac{0.921}{K_4}, \frac{0.660}{K_5}, \frac{0.936}{K_6} \right\}; \\ \tilde{V}_4 &= \left\{ \frac{0.766}{K_1}, \frac{0.538}{K_2}, \frac{0.523}{K_3}, \frac{0.730}{K_4}, \frac{0.836}{K_5}, \frac{0.934}{K_6} \right\}.\end{aligned}$$

Відповідне їм графічне подання значень функцій належності наведено на рис. 2. Порівнюючи рис. 2 з рис. 1 видно, що при вказаній важливості критеріїв відстань між варіантами практично за всіма критеріями зменшилась.

На практиці часто постає питання: «Як підвищити результативність варіанту?» або: «Що необхідно змінити в певному варіанті, щоб він став найкращим?». Щоб відповісти на таке питання, необхідно знати, наскільки чутливим до експертних парних порівнянь є прийняте рішення.

У роботі [12] запропоновано методика дослідження чутливості прийнятого рішення на основі «що, якщо» — аналізу бренд-проектів. Скориставшись цією методикою та адаптувавши її для застосування до систем управління якістю діяльності, можна встановити, яким буде рішення, якщо змінити значення одного з парних порівнянь.

Скористаємось отриманими вище даними для багатокритеріального аналізу варіантів систем управління якістю діяльності. З'ясуємо, яким має бути, наприклад, варіант V_2 , щоб він став найбільш відповідним для аналізованого підприємства (тобто, як його потрібно доопрацювати, щоб він став кращим за всі інші, існуючі або новостворені системи управління якістю).

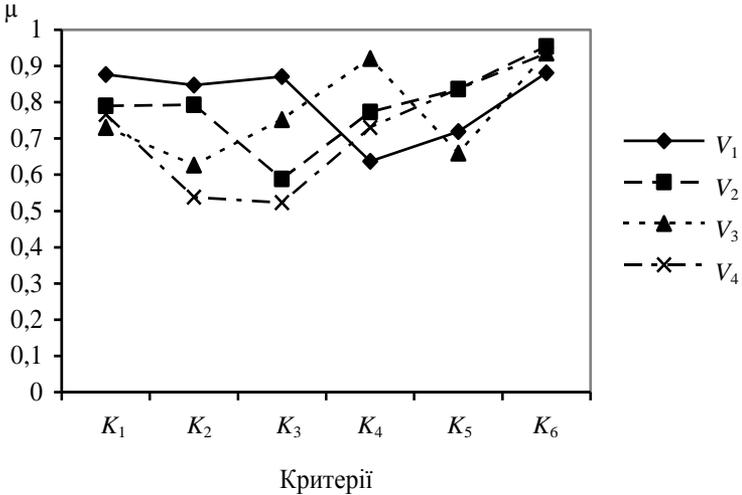


Рис. 2. Результат порівняння варіантів $V_1 \div V_4$ з урахуванням важливості критеріїв $K_1 \div K_6$

Варіант V_2 має третій ранг; варіанти V_1 і V_3 кращі за нього. Будемо вважати, що є можливість покращити варіант V_2 за критерієм K_3 (тобто, є потенційна можливість вчинити дії зі зменшення ризиків на аналізованому підприємстві для варіанту V_2). З'ясуємо, як впливає на прийняття рішення поступова зміна рівня переваги варіанту V_2 над V_1 з поточного значення «сильна перевага V_1 над V_2 » на всі можливі варіанти до оцінки «відсутня перевага V_1 над V_2 ». Для цього послідовно змінимо значення елемента a_{21} матриці парних порівнянь $A(K_3)$ з $1/7$ на $1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1$ та проведемо розрахунки за викладеною у [12] методикою.

Результати розрахунків зведено в табл. 3. Із графіків залежності зміни рішення від значення парного порівняння a_{21} на рис. 3 видно, що варіант V_2 стане другим за рангом, коли за критерієм K_3 перевага V_1 над V_2 буде слабкою ($a_{21} = 1/3$). Варіант V_2 буде найкращим, якщо перевага V_1 над V_2 буде ледь слабкою або у разі рівності чи якщо V_2 матиме перевагу над варіантом V_1 за критерієм K_3 ($a_{21} \geq 1/2$). Отже, доопрацювати варіант V_2 за критерієм K_3 доцільно лише при можливості зробити його майже таким, як варіант V_1 за цим критерієм.

Таблиця 3

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ ЗАЛЕЖНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ
ВІД ЗМІНИ ПАРНОГО ПОРІВНЯННЯ a_{21} ЗА КРИТЕРІЄМ K_3

a_{21}	$A(K_3)$	\tilde{K}_3	\tilde{D}	D
1/7	$\begin{bmatrix} 1 & 7 & 3 & 5 \\ 1/7 & 1 & 1/5 & 1 \\ 1/3 & 5 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$	$\left\{ \frac{0.56}{V_1}, \frac{0.07}{V_2}, \frac{0.29}{V_3}, \frac{0.08}{V_4} \right\}$	$\left\{ \frac{0.638}{V_1}, \frac{0.537}{V_2}, \frac{0.620}{V_3}, \frac{0.541}{V_4} \right\}$	V_1
1/6	$\begin{bmatrix} 1 & 6 & 3 & 5 \\ 1/6 & 1 & 1/5 & 1 \\ 1/3 & 5 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$	$\left\{ \frac{0.55}{V_1}, \frac{0.07}{V_2}, \frac{0.30}{V_3}, \frac{0.08}{V_4} \right\}$	$\left\{ \frac{0.638}{V_1}, \frac{0.544}{V_2}, \frac{0.620}{V_3}, \frac{0.541}{V_4} \right\}$	V_1
1/5	$\begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1 & 1/5 & 3 \\ 1/3 & 5 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$	$\left\{ \frac{0.53}{V_1}, \frac{0.11}{V_2}, \frac{0.30}{V_3}, \frac{0.06}{V_4} \right\}$	$\left\{ \frac{0.638}{V_1}, \frac{0.592}{V_2}, \frac{0.620}{V_3}, \frac{0.521}{V_4} \right\}$	V_1

a_{21}	$A(K_3)$	\tilde{K}_3	\tilde{D}	D
1/4	$\begin{bmatrix} 1 & 4 & 3 & 5 \\ 1/4 & 1 & 1/5 & 3 \\ 1/3 & 5 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$	$\left\{ \frac{0.51}{V_1}, \frac{0.11}{V_2}, \frac{0.32}{V_3}, \frac{0.06}{V_4} \right\}$	$\left\{ \frac{0.638}{V_1}, \frac{0.602}{V_2}, \frac{0.620}{V_3}, \frac{0.521}{V_4} \right\}$	V_1
1/3	$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 1/5 & 3 \\ 1/3 & 5 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$	$\left\{ \frac{0.50}{V_1}, \frac{0.12}{V_2}, \frac{0.32}{V_3}, \frac{0.06}{V_4} \right\}$	$\left\{ \frac{0.638}{V_1}, \frac{0.614}{V_2}, \frac{0.620}{V_3}, \frac{0.522}{V_4} \right\}$	V_1
1/2	$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 5 \\ 1/2 & 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$	$\left\{ \frac{0.48}{V_1}, \frac{0.22}{V_2}, \frac{0.23}{V_3}, \frac{0.07}{V_4} \right\}$	$\left\{ \frac{0.638}{V_1}, \frac{0.702}{V_2}, \frac{0.620}{V_3}, \frac{0.537}{V_4} \right\}$	V_2
1	$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 5 \\ 1 & 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1 & 1 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$	$\left\{ \frac{0.42}{V_1}, \frac{0.27}{V_2}, \frac{0.24}{V_3}, \frac{0.07}{V_4} \right\}$	$\left\{ \frac{0.638}{V_1}, \frac{0.738}{V_2}, \frac{0.620}{V_3}, \frac{0.538}{V_4} \right\}$	V_2

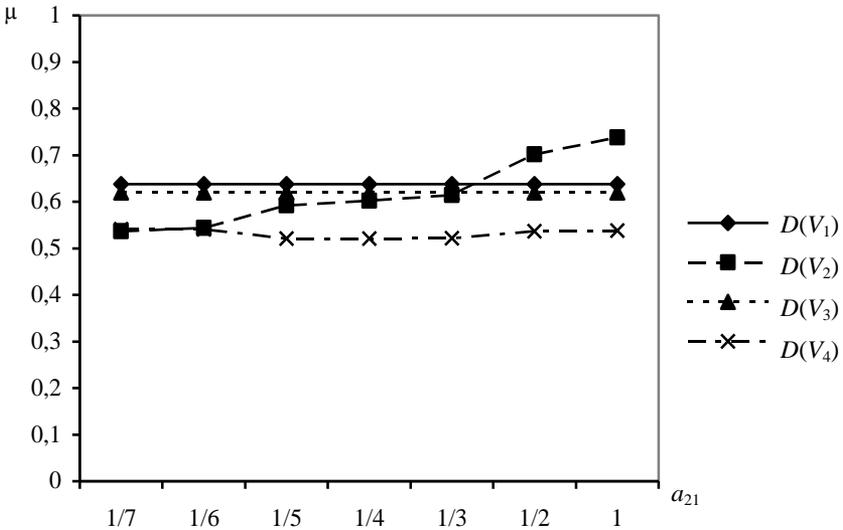


Рис. 3. Результати аналізу варіантів систем управління якістю діяльності за критерієм K_3

Запропонований підхід можна використовувати для розв'язання задач досягнення переваги будь-якого варіанту системи управління якістю діяльності за будь-яким критерієм.

Висновки з проведеного дослідження. У статті визначено особливості оцінювання проектів створення системи управління якістю діяльності машинобудівних підприємств. У результаті проведеного дослідження було виділено такі критерії оцінювання проектів: ступінь проробки проекту; очікуваний ефект; ризики; швидкість формування системи управління якістю; перспективи розвитку системи управління якістю; вартість проекту. Встановлено доцільність використання методу нечіткого багатокритеріального аналізу при виборі кращого варіанту проекту формування системи управління якістю діяльності. За цим методом багатокритеріальний аналіз здійснюється на основі парних порівнянь варіантів. Показано, що використання не абсолютних значень критеріїв, а парних порівнянь переваг, є більш зручним для експертів. Особливістю метода багатокритеріального аналізу є використання принципу Беллмана-Заде, за яким обирається варіант, що одночасно задовольняє усім критеріям найбільшою мірою.

Запропоновану систему класифікації можна розглядати як інтелектуальну складову майбутньої комп'ютерної програми підтримки прийняття рішень, яка автоматизуватиме: 1) формування переліку переваг і недоліків заданого профілю системи управління якістю; 2) порівняння систем управління якістю різних профілів; 3) генерування порад щодо зміни профілю системи управління якістю під вимоги підприємства. Запропонована методика аналізу на основі нечітких парних порівнянь дозволяє встановити, що необхідно змінити в певному проекті, щоб він став найбільш відповідним умовам і потребам аналізованого машинобудівного підприємства.

Література

1. Фінансова звітність машинобудівних підприємств за 2008—2012 рр. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://smida.gov.ua/db/emitent>.
2. *Кобилянський Л. С.* Управління проектами: [Навч. посіб.] / Л. С. Кобилянський. — К.: МАУП, 2002. — 200 с.
3. *Колисник М.* Особенности национальной оценки проектов / М. Колисник // &Стратегии. — 2004. — № 1. — С. 27—31.
4. *Савчук В. П.* Оценка эффективности инвестиционных проектов: учебник / В. П. Савчук. — М.: Изд-во «Перспектива», 2006. — 384 с.
5. *Федоренко В. Г.* Инвестознaвство: [Підручник] / В. Г. Федоренко, А. Ф. Гойко. — К.: МАУП, 2000. — 408 с.
6. *Yager R. R.* Fuzzy Decision Making Including Unequal Objectives / R. R. Yager // Fuzzy Sets and Systems. — 1978. — № 1. — P. 87—95.
7. *Ротштейн А. П.* Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. — Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. — 320 с.
8. *Rotshtein A.* Fuzzy multicriteria analysis of variants with the use of paired comparisons / A. Rotshtein, S. Shtovba // Journal of Computer and Systems Sciences International. — 2001. — Vol. 40, №3. — P. 499—503.
9. *Bellman R.* Decision-making in a fuzzy environment / R. Bellman, L. Zadeh // Management Science. — 1970. — Vol.17, №4. — P. 141—164.
10. *Борисов А. Н.* Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования / Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. — Рига: Зинатне. 1990. — 184 с.
11. *Саати Т. Л.* Взаимодействие в иерархических системах / Т. Л. Саати // Техническая кибернетика. — 1979. — № 1. — С. 68—84.
12. *Ротштейн А. П.* Многокритериальный выбор бренд-проекта с помощью нечетких парных сравнений альтернатив / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба, Е. В. Штовба // Управление проектами и программами. — 2006. — № 2. — С. 138—146.

References

1. Financial statements of machine building enterprises (2008—2012). *smida.gov.ua*. Retrieved from <http://smida.gov.ua/db/emitent> [in Ukrainian].
2. Kobylianskyi, L. S. (2002). *Upravlinnia proektamy*. Kyiv: MAUP [in Ukrainian].
3. Kolisnyk, M. (2004). Osobennosti natsionalnoy otsenki proektov. & *Strategii (&Strategies)*, 1, 27—31 [in Russian].
4. Savchuk, V. P. (2006). *Otsenka effektivnosti investitsionnykh proektov*. Moscow: Izd-vo «Perspektiva» [in Russian].
5. Fedorenko, V. G., Goyko, A. F. (2000). *Investoznavstvo* Kyiv: MAUP [in Ukrainian].
6. Yager R. R. (1978). Fuzzy Decision Making Including Unequal Objectives. *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 87—95.
7. Rotshtein, A. P. (1999). *Intelektualnyie tekhnologii identifikatsii: nechetkaya logika, geneticheskie algoritmy, neyronnyie seti*. Vinnytsia: UNIVER-SUM-Vinnytsia [in Russian].
8. Rotshtein, A., Shtovba, S. (2001). Fuzzy multicriteria analysis of variants with the use of paired comparisons. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 40 (3), 499—503.
9. Bellman, R., Zadeh, L. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*, 17 (4), 141—164.
10. Borisov, A. N., Krumberg, O. A., Fedorov, I. P. (1990). *Priniatiye resheniy na osnove nechetkikh modeley: primery ispolzovaniia*. Riga: Zinatne [in Russian].
11. Saati, T. L. (1979). Vzaimodeystviye v iyerarkhicheskikh sistemakh. *Tekhnicheskaya kibernetika (Technical Cybernetics)*, 1, 68—84 [in Russian].
12. Rotshtein, A. P., Shtovba, S. D., Shtovba, E. V. (2006). Mnogokriterialnyy vybor brend-proekta s pomoshchiu nechetkikh parnykh sravneniy alternativ. *Upravleniye proektami i programmami (Project and Program Management)*, 2, 138—146 [in Russian].

Стаття надійшла до редакції 28.03.2014

НЕЙРО-НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ПРОСТРОЧЕНИХ ПОЗИК КОМЕРЦІЙНОГО БАНКУ

Г. І. Великоіваненко

Канд. фіз.-мат. наук, доцент,
професор кафедри економіко-математичного моделювання
Державний вищий навчальний заклад «Київський національний
економічний університет імені Вадима Гетьмана»
проспект Перемоги, 54/1, м. Київ, 03680, Україна
ivanenkog@list.ru

Л. О. Трокоз

Аспірантка кафедри економіко-математичного моделювання
Державний вищий навчальний заклад «Київський національний
економічний університет імені Вадима Гетьмана»
проспект Перемоги, 54/1, м. Київ, 03680, Україна
rud_luba@ukr.net

У статті досліджено проблеми простроченої кредитної заборгованості та створення ефективних методів управління проблемними боргами у фінансових закладах. Розглянуто сутність і методологічні особливості процесу скорингового оцінювання позичальників комерційних банків, зокрема, колекторського скорингу.

Авторами розроблено економіко-математичну модель колекторського скорингу, що ґрунтується на поєднанні інструментарію теорії нечіткої логіки та штучних нейронних мереж. Розроблена модель має ієрархічну структуру, ураховує кількісні та якісні змінні, що характеризують позичальників.

Особливістю побудованої моделі є залучення карт самоорганізації Кохонена для встановлення параметрів функцій належності у процесі фазифікації кількісних змінних, а також для автоматичної побудови бази знань у процесі оброблення якісних змінних. Для агрегації лінгвістичних змінних на кожному з рівнів ієрархії авторами використано композиційне правило згортки, яке дозволяє сформувати базу нечітких знань без залучення експертної думки в умовах багатокритеріальності та відсутності бази порівняння для інтегральних змінних вищого рівня ієрархії.

Практична цінність побудованої моделі колекторського скорингу щодо стягнення простроченої заборгованості полягає у можливості розроблення рекомендацій щодо роботи з кожним сегментом портфеля прострочених кредитів відповідно до розрахованого рівня кредитного ризику.

Впровадження у роботу фінансових установ моделей оцінювання кредитних ризиків на підґрунті нейро-нечітких технологій матиме позитивний вплив на фінансові результати від кредитної

діяльності комерційних банків і сприятиме стабільності фінансової системи в цілому.

Ключові слова. *Прострочена кредитна заборгованість; колекторський скоринг; модель скорингового оцінювання; теорія нечіткої логіки; карти самоорганізації Кохонена, управління портфелем проблемних кредитів.*

НЕЙРО-НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПРОСРОЧЕННЫХ ЗАДОЛЖЕННОСТЕЙ КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА

Г. И. Великоиваненко

Канд. физ.-мат. наук, доцент,
профессор кафедры экономико-математического моделирования
Государственное высшее учебное заведение «Киевский национальный
экономический университет имени Вадима Гетьмана»
проспект Победы, 54/1, г. Киев, 03680, Украина
ivanenkog@list.ru

Л. А. Трокоз

Аспирантка кафедры экономико-математического моделирования
Государственное высшее учебное заведение «Киевский национальный
экономический университет имени Вадима Гетьмана»
проспект Победы, 54/1, г. Киев, 03680, Украина
rud_luba@ukr.net

В статье исследуются проблемы просроченной кредитной задолженности и создание эффективных методов управления проблемными долгами в финансовых учреждениях. Рассмотрены сущность и методологические особенности процесса скорингового оценивания заемщиков коммерческих банков, в частности, коллекторского скоринга.

Авторами разработана экономико-математическая модель коллекторского скоринга, основанного на сочетании инструментария теории нечеткой логики и искусственных нейронных сетей. Разработанная модель имеет иерархическую структуру, учитывает количественные и качественные переменные, характеризующие заемщиков.

Особенностью построенной модели является привлечение карт самоорганизации Кохонена для установки параметров функций принадлежности в процессе фаззификации количественных переменных, а также для автоматического построения базы знаний в процессе обработки качественных переменных. Для агрегации лингвистических переменных на каждом из уровней иерархии

авторами используется композиционное правило свертки, которое позволяет сформировать базу нечетких знаний без привлечения экспертного мнения в условиях многокритериальности и отсутствия базы сравнения для интегральных переменных высшего уровня иерархии.

Практическая ценность построенной модели коллекторского скоринга по взысканию просроченной задолженности заключается в возможности разработки рекомендаций по работе с каждым сегментом портфеля просроченных кредитов в соответствии с рассчитанным уровнем кредитного риска.

Внедрение в работу финансовых учреждений моделей оценки кредитных рисков на основе нейро-нечетких технологий окажет положительное влияние на финансовые результаты от кредитной деятельности коммерческих банков и будет способствовать стабильности финансовой системы в целом.

Ключевые слова. *Просроченная кредитная задолженность; коллекторский скоринг; модель скорингового оценивания; теория нечеткой логики; карты самоорганизации Кохонена, управления портфелем проблемных кредитов.*

NEURO-FUZZY EVALUATION MODEL OF OVERDUE LOANS OF COMMERCIAL BANKS

Halyna Velykoivanenko

PhD (Physics and Mathematical Sciences),
Professor, Department of Economic and Mathematical Modeling
State Higher Educational Establishment
«Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman»
54/1 Peremogy Avenue, Kyiv, 03680, Ukraine
ivanenkog@list.ru

Liubov Trokoz

Graduate student,
Department of Economic and Mathematical Modeling
State Higher Educational Establishment
«Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman»
54/1 Peremogy Avenue, Kyiv, 03680, Ukraine
rud_luba@ukr.net

The article deals with the problem of overdue credit debt and establishing effective management of problem debts in the financial institutions. The essence and methodological features of the scoring assess-

ment of borrowers of commercial banks, including collection scoring, are considered.

The authors developed a mathematical model of collection scoring, based on a combination of tools of theories of fuzzy logic and artificial neural networks. The model has a hierarchical structure that takes into account the qualitative and quantitative variables which characterize the borrowers.

The feature of the model is attracting of Kohonen self-organizing maps for setting the parameters of membership functions in the process of quantitative variables fuzzyfication, as well as for the automatic construction of a knowledge base at processing of qualitative variables. For aggregation of linguistic variables at each level of the hierarchy the authors used compositional integration rule, which allows generating fuzzy knowledge base without getting expert opinions in terms of multi criterion and absence of comparison base for integral variables of top-level hierarchy.

The practical value of the constructed model of collection scoring is the ability to develop recommendations for working with each segment of the portfolio of overdue loans in accordance with the calculated level of credit risk.

Introduction to the work of financial institutions the credit risk assessment models on the basis of neuro-fuzzy techniques will have a positive impact on income from lending activities of commercial banks and contribute to the stability of the financial system as a whole.

Keywords. *Overdue credit debt; collection scoring; scoring evaluation model; theory of fuzzy logic; Kohonen self-organizing maps, managing of portfolio of problem loans.*

JEL Classification: C45, G21.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день для вітчизняних комерційних банків гострим питанням залишається управління портфелем з простроченою кредитною заборгованістю. Численні спостереження щодо роботи комерційних банків зі стягнення прострочених боргів вказують на ефективність особистого контакту з такими позичальниками. Проте, при такій роботі комерційний банк несе значні витрати: заробітна плата персоналу банку; витрати на суди; комісії колекторам. Зрештою, до роботи залучаються працівники банку, що мають здійснювати продаж кредитних продуктів, через що банк отримує менший прибуток від кредитної діяльності.

З плином часу комерційні банки здійснюють нарощення кредитних портфелів, відповідно і збільшується кількість прострочених позик. Одні кредити погашаються, інші пролонгуються, а деякі перетворюються на проблемну заборгованість. При активації негативного економічного «циклону» (наприклад, криза 2008 року) кількість проблемних боргів у портфелях комерційних банків збільшується у геометричній прогресії. За таких умов проведення індивідуальної роботи за кожним позичальником, що допустив прострочення платежу за наданою позикою, стає не просто складною, а неможливою. Вирішення цієї, на сьогодні гострої проблеми, можливе шляхом автоматизації процесу роботи зі стягнення прострочених боргів. Так, розвиток скорингових систем надає можливість автоматизувати таку роботу за рахунок впровадження систем колекторського скорингу у практику комерційних банків. Різноманітність підходів реалізації скорингових технологій, зокрема на різних етапах здійснення кредитної діяльності, спонукає на творчі «експерименти» банківських практиків у процесі реалізації таких завдань, як аплікаційний (application), поведінковий (behavioral), шахрайський (fraud) і колекторський (collection) скоринги.

Аналіз останніх джерел і публікацій

Під різним кутом зору питання інструментарію скорингових систем досліджували у своїх роботах такі вітчизняні та іноземні науковці: А. Ю. Александров, Е. Альтман (Edward I. Altman), Р. Андерсон (R. Anderson), І. А. Воробйова, Є. М. Гордина, М. П. Денисенко, Д. Дюранд (David Durand), А. Б. Камінський, О. А. Кириченко, А. В. Матвійчук, Е. Мейз (Elizabeth Mays), Ю. В. Мірошниченко, О. О. Недосекін, Н. Сіддікі (Naeem Siddiqi), Дж. Сінкі-мл. (Joseph F. Sinkey), Є. Д. Соложенцев, К. Р. Тагірбеков, В. М. Усоскін та інші.

Так, дослідження А. Б. Камінського [1—3] присвячені питанню розробки скорингових технологій як інструментарію управління кредитними ризиками комерційних банків.

А. В. Матвійчук у своїй монографії [4, гл. 3] висвітлив низку практичних досліджень, спрямованих на оцінювання фінансового стану та діагностику банкрутства підприємств із залученням інструментарію теорії нечіткої логіки, дискримінантного та регресійного аналізу, нейронних мереж.

Як у вітчизняній, так і міжнародній банківській діяльності не втрачає актуальності питання управління проблемною заборгованістю. Зокрема, внаслідок кризових явищ 2008 року та посткризового періоду, загострився інтерес до можливих методів управління прострочених банківських позик. Щодо висвітлення цього питання у науковій літературі, то серед вітчизняних і закордонних науковців, які досліджували можливі напрями вдосконалення роботи з проблемними активами у комерційних банках, варто зазначити В. Я. Вовка, Н. Є. Єгорову, О. Кириченка, Л. М. Кіндрацьку, Т. Коха (Timothy W. Koch), Д. МакНотона (Diana McNaughton), Е. Мейза (Elizabeth Mays), В. І. Міщенко, А. М. Мороза, Едгара М. Морсмана (Edgar M. Morsman, Jr.), І. В. Пещанську, О. М. Притоманову, Дж. Сінкі (Joseph F. Sinkey, Jr.), О. М. Смулова, К. Р. Тагірбекова, В. М. Усоскіна, Є. М. Четиркіна та інших.

Незважаючи на чималий обсяг наукових досліджень щодо питання управління банківськими активами як закордонних, так і вітчизняних авторів, проблема управління простроченими кредитами залишається на сьогодні вкрай актуальною.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є дослідження проблеми простроченої кредитної заборгованості та створення ефективних методів управління проблемними боргами у фінансових закладах. Основними завданнями статті є: побудова моделей скорингового оцінювання прострочених кредитів на підґрунті поєднання інструментарію теорії нечіткої логіки та технологій штучних нейронних мереж; розроблення рекомендацій щодо управління портфелем проблемних кредитів з метою мінімізації збитків, спричинених дефолтами за кредитними угодами.

Виклад основного матеріалу

На процеси кредитування у комерційних банках впливають як зовнішні, так і внутрішні чинники. Якою б не була кредитна політика комерційного банку, втрат за кредитними операціями повністю уникнути неможливо. Динамічне зростання питомої ваги проблемної заборгованості у структурі активів чинить негативний вплив на репутацію та положення банківської установи на ринку кредитних послуг.

Визначимо сутність сумнівної, простроченої, проблемної та безнадійної (кредитним дефолтом) заборгованості з точки зору комерційного банку.

Сумнівною заборгованістю вважається заборгованість, щодо погашення якої комерційний банк не має впевненості. Простроченою заборгованістю є заборгованість, погашення якої не відбулося у визначені кредитною угодою терміни. Щодо проблемних кредитів, то це кредити, за якими не відбулося одного або більше платежів, зменшився коефіцієнт ліквідності заставного майна, виникли сумніви щодо погашення банківської заборгованості. Кредитним дефолтом називається відмова позичальника повністю або частково виконувати свої зобов'язання щодо укладеної з комерційним банком кредитної угоди [5, с. 294; 6, с. 276, 278; 7, с. 329; 8, с. 59].

Усі ці різновиди заборгованостей потребують зусиль з боку кредитора для їхнього стягнення. Так, у світовій банківській практиці визначено ряд підходів щодо управління портфелем прострочених позик. Схема на рис. 1 відображає класифікацію систем управління проблемними активами кредитних закладів. Наведена схема побудована авторами на підґрунті викладеного матеріалу у статті Ю. В. Мірошниченка [9].

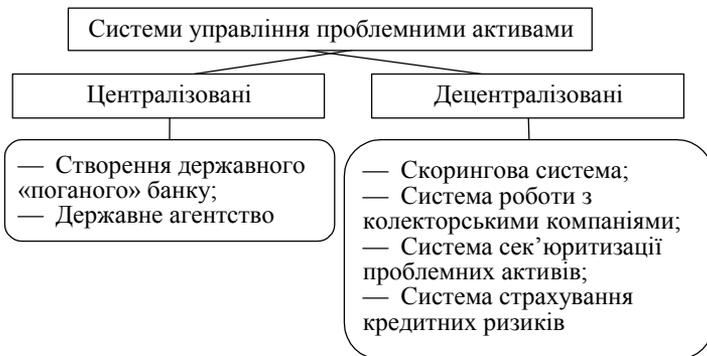


Рис. 1. Класифікація систем управління проблемними активами кредитних організацій

З плином часу та, особливо, в умовах економічних спадів змінюються пріоритети щодо залучення систем управління проблем-

ними кредитами. Так, вагомим у системі кредитного скорингу стає колекторський скоринг. З метою оптимізації витрат зі стягнення прострочених боргів активно залучаються колекторські агентства. Послаблюється роль системи страхування кредитних ризиків, оскільки за кризових умов ймовірність дефолтів набуває свого апогею і таке страхування стає непропорційно дорогим.

Отже, розроблення і впровадження ефективних систем кредитного скорингу у бізнес процеси комерційного банку є одним з важливих завдань ризик-менеджменту.

Одним з першочергових завдань сьогодення, що стоять перед комерційними банками, є грамотне управління проблемною заборгованістю з метою забезпечення їхньої фінансової стійкості та конкурентоспроможності, відповідності стандартам зовнішніх регуляторів.

У процесі роботи з повернення простроченої заборгованості перед банком часто постають такі проблеми, як перевищення витрат на повернення боргу над сумою повернених коштів, визначення черговості та пріоритетності при роботі з позичальниками, ефективний вибір інструментарію впливу на позичальників, оцінювання реальної вартості продажу портфеля проблемних кредитів колекторській компанії тощо. Залучення математичних моделей в аналітичні системи комерційного банку і адаптація цих систем під поставлені бізнес-завдання надасть можливість значно підвищити якість процесу управління портфелем кредитних позик, у тому числі і заходами щодо повернення (стягнення) простроченої заборгованості.

Колекторський скоринг поділяє позичальників на окремі групи, що є зручним для роботи колекторів і дозволяє сегментувати позичальників незалежно від типу кредитного продукту (виду кредиту). Важливо зазначити, що сегментування позичальників є важливим окремим етапом роботи при організації процесу повернення прострочених кредитних коштів. Після сегментування до кожної окремої групи позичальників застосовуються різні стратегії роботи, що дозволяє зробити роботу зі стягнення (повернення) простроченої заборгованості найефективнішою [10].

Отже, сегментація позичальників здійснюється залежно від таких факторів [9]: параметрів кредитної справи (кількість днів у простроченні, сума кредиту; характеристики позичальника тощо); числової характеристики ймовірності контакту з клієнтом-

боржником — locator score (пріоритетними є боржники, які характеризуються високим значенням даного показника, що свідчить про мінімальні обсяги витрат, спрямованих на встановлення контакту з клієнтом); числової характеристики ймовірності повернення заборгованості за кредитом — collectability score (низьке значення цього показника свідчить про необхідність більш тісного контакту з боржником і, відповідно, необхідності залучення більшої кількості ресурсів); результатів попереднього впливу тощо.

Таким чином, колекторський скоринг допомагає вирішити такі задачі при роботі зі стягнення прострочених позик: здійснює сегментування клієнтів, визначає їхню черговість і пріоритетність дій працівників банку щодо позичальника, а також відповідний інструментарій впливу. Крім цього, такий скоринг дає можливість отримати оцінку портфеля прострочених кредитів для продажу іншій структурі (наприклад, колекторській компанії).

Колекторський скоринг враховує характеристики клієнтів-позичальників, які зазвичай залучаються у якості змінних до моделей аплікаційного та поведінкового скорингів. Тобто, змінними моделі колекторського скорингу можуть виступати такі характеристики позичальників: особисті дані про позичальника (вік, стать, сімейний стан, кількість дітей, освіта, місце проживання, місце реєстрації, наявність нерухомості та спосіб її придбання, займана посада, галузь діяльності, досвід роботи на останньому місці, загальний трудовий стаж); інформація щодо кредитної історії (кількість і види кредитів, якими користувався позичальник за останні 5 років); інформація щодо наданої позики (сума та валюта кредитування, відсоткова ставка за кредитом, вид кредиту, термін кредитування, наявність застави, показник співвідношення обсягу кредитування до вартості заставного майна — LTV¹, статус кредиту — новий або повторний, територіальне місце видачі кредиту, сума заборгованості за позикою, інформація щодо останнього платежу, співвідношення обсягу кредитування до обсягів заборгованості за кредитом); інформація щодо прострочення за наданою позикою (кількість днів у простроченні, інформація про штрафи та пені); фінансові показники позичальника

¹ Показник LTV (Loan-to-Value ratio) – демонструє суму позичкових коштів до вартості майна, що береться у заставу.

(загальний чистий дохід, співвідношення доходу та платежу за кредитом — DTI¹) тощо. На основі зазначених характеристик розробляється скорингова карта, яка класифікує проблемні позики у відповідні групи залежно від ступеня ризику неповернення кредиту.

За результатами кредитного скорингу до кожного окремого сегмента позичальників може бути застосована низка типових дій (листування, смс-повідомлення, дзвінок секретаря, дзвінок колектора, неформалізована дія колектора тощо). Такі дії мають бути завчасно розроблені ризик-менеджментом фінансової установи.

Важливо зазначити, що системи кредитного скорингу у комерційних банках мають відповідати принципам Базеля II. Це стосується як оцінювання позичальника, так і організації самого робочого процесу. Так, результатом роботи системи має бути не лише класифікація позичальників на «хороших» і «поганих», а також оцінка ймовірності дефолту за позиками, оцінка рівня ризику та пропонований моделлю механізм стягнення боргу (для колекторського скорингу).

Комерційні банки мають впроваджувати такі технології кредитного скорингу, які б дозволяли централізовано зберігати всю інформацію щодо клієнтів-позичальників. З плином часу накопичення даних надавало б можливості автоматично оновлювати скорингові моделі та здійснювати їх оптимізацію відповідно до ретроспективних даних. Такі технології мають допускати внесення людиною змін у моделі. Можливість здійснення контролю і оцінювання кредитних справ забезпечить позитивні результати від провадження таких скорингових технологій. За таких умов спрощується і управління портфелем прострочених кредитів. Відбувається оптимізація витрат на стягнення боргів, скорочуються терміни прийняття рішень, реалізується оперативне управління простроченою заборгованістю та здійснюється управління кредитним ризиком. Успішна інтеграція технологій кредитного скорингу залежить від наявності ретроспективних даних щодо позичальників банку, що включають і результати роботи з проблемними кредитами як у період кредитних бумів, так і в умовах економіч-

¹ **Показник DTI** (Debt-to-Income ratio) — питома вага боргових платежів у доході — є одним з ключових показників при здійсненні кредитування фізичних осіб. Значення показника демонструє питому вагу щомісячного доходу фізичної особи, що спрямовується на погашення кредитної позики.

ного спаду. Крім цього, з метою побудови адекватних моделей колекторського скорингу досить важливим є обмін між комерційними банками такою інформацією як чорні списки (Black List), а також залучення інформації з бюро кредитних історій тощо [11, с. 15—16].

Ураховуючи все вищесказане, авторами було вирішено здійснити розробку інструментарію оцінювання проблемної заборгованості в рамках побудови моделі колекторського скорингу.

Задачею моделі колекторського скорингу є класифікація (групування) позичальників з простроченими кредитними платежами для подальшої роботи зі стягнення боргів. Групування позичальників здійснюватиметься за «скоринговим балом», що є результатом інтегрованого оцінювання низки якісних і кількісних характеристик позичальників на підґрунті ієрархічної моделі, представленої на рис. 2.

З метою оцінювання проблемної заборгованості в рамках побудови моделі колекторського скорингу автори обрали інструментарій теорії нечіткої логіки та нейронних мереж. Такий вибір пояснюється неоднорідністю вхідної інформації, багатокритеріальністю, відсутністю бази для порівняння результуючих інтегральних змінних моделі тощо.

Процес моделювання колекторського скорингу із залученням зазначеного інструментарію здійснюється за такими етапами:

1. Формування навчальної вибірки щодо вхідних критеріїв оцінювання позичальників.

2. Лінгвістичний опис вхідних критеріїв оцінювання IV рівня ієрархії, встановлення параметрів їх функцій належності на підґрунті використання карт Кохонена з подальшою фазифікацією цих критеріїв.

3. Згортка вхідних критеріїв оцінювання IV рівня ієрархії у відповідні проміжні інтегральні показники оцінювання III рівня ієрархії.

3.1 Розрахунок інтегрованих показників (Y_i^s) на базі кількісних змінних IV рівня ієрархії у розрізі проміжних інтегральних показників (r_i^s) III рівня ієрархії.

3.2 Розрахунок лінгвістичних змінних (K_i^g) щодо вхідних якісних змінних.

3.3 Згортка кількісних (Y_i^g) та якісних (K_i^g) показників у проміжні інтегральні показники (r_i^g).

4. Лінгвістичний опис проміжних інтегральних показників оцінювання III рівня ієрархії, встановлення параметрів їх функцій належності на підґрунті використання карт Кохонена з подальшою фаззифікацією цих показників.

5. Згортка проміжних інтегральних показників оцінювання III рівня ієрархії у відповідні інтегральні показники оцінювання II рівня ієрархії.

6. Лінгвістичний опис інтегральних показників оцінювання II рівня ієрархії, встановлення параметрів їх функцій належності на підґрунті використання карт Кохонена з подальшою фаззифікацією цих показників.

7. Згортка інтегральних показників оцінювання II рівня ієрархії у результуючий скоринговий бал (інтегральний показник I рівня ієрархії).

8. Аналіз результатів оцінювання.

Навчальною вибіркою для побудови моделі слугував імітований кредитний портфель комерційного банку щодо кредитних угод фізичних осіб. Обсяг підготовленої вибірки становив 1000 кредитних угод з активними простроченими платежами. Таким чином було сформовано *Debtor's Pool*, тобто портфель кредитів з простроченими термінами погашення заборгованості.

У якості вхідних змінних моделі (критеріїв оцінювання IV рівня ієрархії) будемо використовувати інформацію про позичальника, зокрема дані щодо якісних і кількісних характеристик. Універсальною множиною (діапазонами) змінної моделі назвемо значення, яких вона може набувати. Наприклад, змінна «стать» визначена на універсальній множині {«чоловіча»; «жіноча»}.

Відбір вхідних змінних моделі здійснювався таким чином, щоб скоринговий бал (результуючий інтегральний показник) враховував такі характеристики позичальника, як: соціально-демографічні дані; зайнятість; фінансовий стан; інформація щодо наданої позики; інформація щодо прострочення.

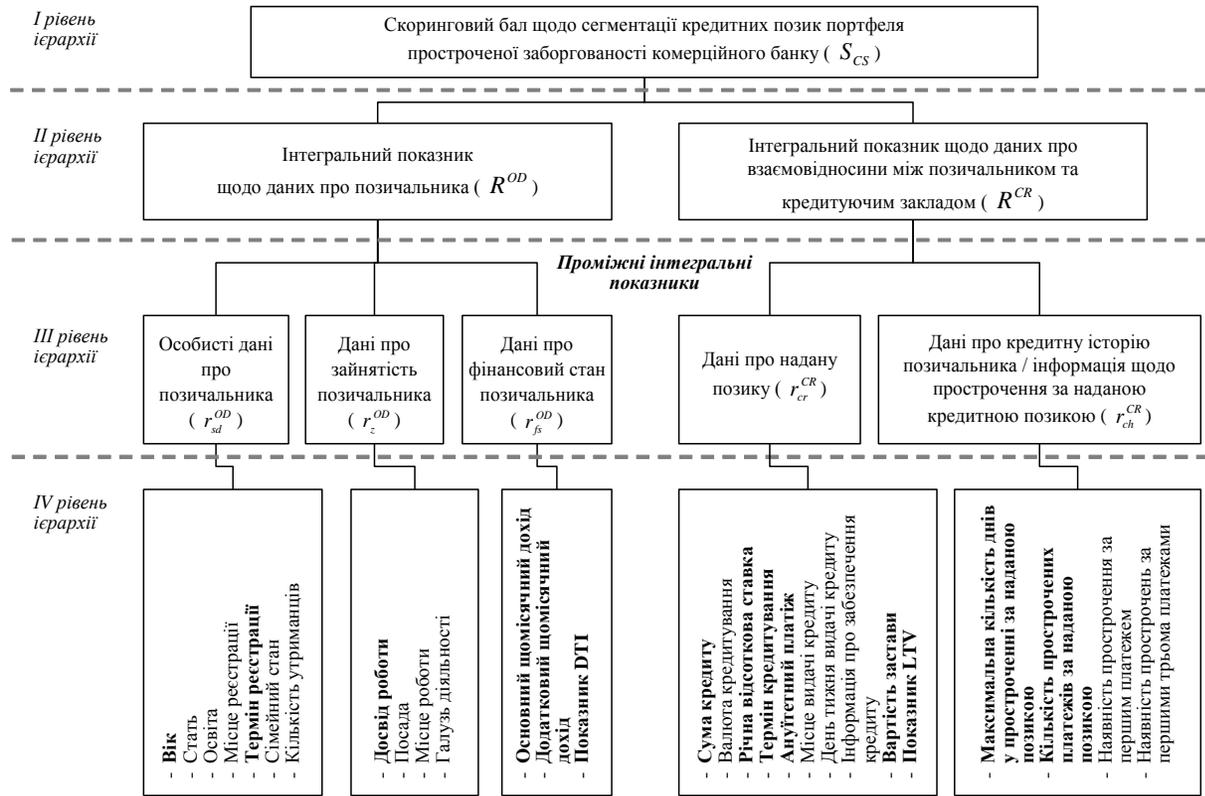


Рис. 2. Дерево ієрархії економіко-математичної моделі оцінювання ризику кредитних позик портфеля простроченої заборгованості комерційного банку за сегментом кредитування фізичних осіб

Авторами було проаналізовано всі доступні змінні вибірки, що характеризують позичальників комерційного банку, і до моделі включено такі: вік (x_{sd1}^{OD}); стать (x_{sd2}^{OD}); рівень освіти (x_{sd3}^{OD}); місце реєстрації (x_{sd4}^{OD}); термін реєстрації за паспортом (x_{sd5}^{OD}); сімейний стан (x_{sd6}^{OD}); кількість утриманців (x_{sd7}^{OD}); досвід роботи (x_{z1}^{OD}); посада (x_{z2}^{OD}); місце роботи (x_{z3}^{OD}); галузь діяльності (x_{z4}^{OD}); основний щомісячний дохід (x_{fs1}^{OD}); додатковий щомісячний дохід (x_{fs2}^{OD}); показник питомої ваги боргових платежів у доході — ДПІ (x_{fs3}^{OD}); сума кредиту (x_{cr1}^{CR}); валюта кредитування (x_{cr2}^{CR}); річна відсоткова ставка (x_{cr3}^{CR}); термін кредитування (x_{cr4}^{CR}); ануїтетний платіж (x_{cr5}^{CR}); регіон видачі кредиту (x_{cr6}^{CR}); день тижня видачі кредиту (x_{cr7}^{CR}); інформація про забезпечення кредиту (вид забезпечення) (x_{cr8}^{CR}); вартість застави (x_{cr9}^{CR}); показник співвідношення суми кредиту до вартості застави — LTV (x_{cr10}^{CR}); максимальна кількість днів у простроченні за наданою позикою (x_{ch1}^{CR}); кількість прострочених платежів за наданою позикою (x_{ch2}^{CR}); показник наявності прострочення за першим платежем за наданою позикою (x_{ch3}^{CR}); показник наявності прострочень за трьома першими платежами щодо наданої позики (x_{ch4}^{CR}).

У якості вихідної (результуючої) змінної використовується скоринговий бал/оцінка (*Score*) щодо розподілу кредитних угод за такими сегментами непогашених прострочених боргів — «некритичний», «середній», «поганий», «дуже поганий» і «списання» (класи S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 , відповідно).

Зазначимо, що назва лінгвістичної змінної та її універсальна множина зазвичай відповідають назві та множині значень певного кількісного критерію оцінювання.

Для кожної вхідної неперервної змінної (вік (x_{sd1}^{OD}), термін реєстрації за паспортом (x_{sd5}^{OD}), досвід роботи (x_{z1}^{OD}), основний щомісячний дохід (x_{fs1}^{OD}), додатковий щомісячний дохід (x_{fs2}^{OD}), показ-

ник DTI (x_{fs3}^{OD}), сума кредиту (x_{cr1}^{CR}), річна відсоткова ставка (x_{cr3}^{CR}), термін кредитування (x_{cr4}^{CR}), ануїтетний платіж (x_{cr5}^{CR}), вартість застави (x_{cr9}^{CR}), показник оцінювання LTV (x_{cr10}^{CR}), максимальна кількість днів у простроченні за наданою позикою (x_{ch1}^{CR}), кількість прострочених платежів за наданою позикою (x_{ch2}^{CR}) визначається лінгвістична змінна x_{ij}^g (де g — індекс, що вказує на інтегральний показник II рівня ієрархії; i — індекс, що вказує на проміжний інтегральний показник III рівня ієрархії; j — індекс, що вказує на відповідну вхідну змінну), назва якої співпадає із назвою відповідної змінної, та формується терм-множина значень $T_{ij}^g = \{t_{ij1}^g, t_{ij2}^g, t_{ij3}^g\}$. Тут t_{ij1}^g — терм лінгвістичної змінної, що має назву «Низький» (Н); t_{ij2}^g — «Середній» (С); t_{ij3}^g — «Високий» (В).

Порядок термів встановлено від менших значень до більших значень універсальної множини, тобто від найгіршого до найкращого для змінних: термін реєстрації за паспортом (x_{sd5}^{OD}), досвід роботи (x_{z1}^{OD}), основний щомісячний дохід (x_{fs1}^{OD}), додатковий щомісячний дохід (x_{fs2}^{OD}), вартість застави (x_{cr9}^{CR}). Та навпаки — від кращого до гіршого для змінних: показник DTI (x_{fs3}^{OD}), сума кредиту (x_{cr1}^{CR}), річна відсоткова ставка (x_{cr3}^{CR}), термін кредитування (x_{cr4}^{CR}), ануїтетний платіж (x_{cr5}^{CR}), показник оцінювання LTV (x_{cr10}^{CR}), максимальна кількість днів у простроченні за наданою позикою (x_{ch1}^{CR}), кількість прострочених платежів за наданою позикою (x_{ch2}^{CR}).

Для змінної «Вік» (x_{sd1}^{OD}) терм-множина значень має таку структуру на універсальній множині $T_{sd1}^{OD} = \{t_{sd11}^{OD}, t_{sd12}^{OD}, t_{sd13}^{OD}, t_{sd12}^{OD}, t_{sd11}^{OD}\}$. Тут t_{sd11}^{OD} — терм лінгвістичної змінної, що має назву «Низький» (Н); t_{sd12}^{OD} — «Середній» (С); t_{sd13}^{OD} — «Високий» (В). Така структура терм-множини значень змінної адекватно розподілить позичальників на векторі значень змінної «Вік». Так, згідно статис-

тичних досліджень комерційних банків найбільший рівень довіри мають позичальники середнього віку. Молодші та старші позичальники зарекомендували себе як такі, хто дозволяє собі не виконувати зобов'язання перед комерційним банком.

Належність значень вхідних змінних до термів відповідних терм-множин визначається функціями належності. У представленому дослідженні за основу для конструювання функцій належності обрано квазідзвоноподібні функції, як зображено на рис. 3.

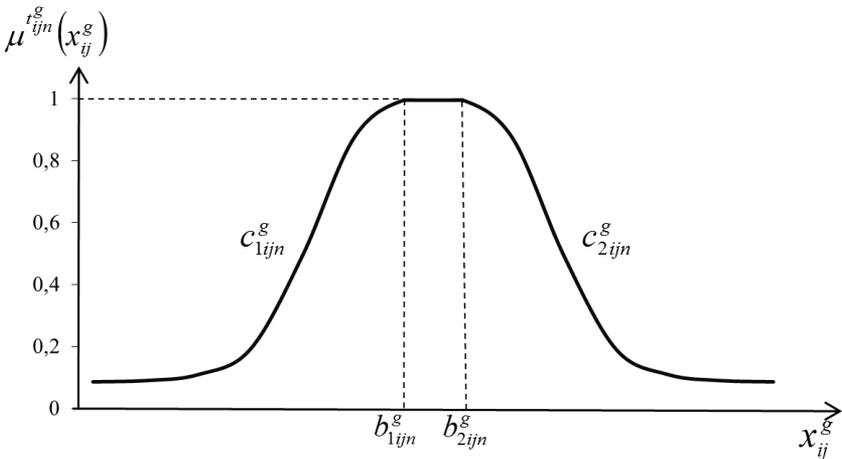


Рис. 3. Функції належності квазідзвоноподібного типу

Так, система квазідзвоноподібних функцій належності для терм-множини лінгвістичної змінної x_{ij}^g матиме такий аналітичний вигляд:

$$\mu^{t_{ij1}^g}(x_{ij}^g) = \begin{cases} 1, & x_{ij}^g \leq b_{2ij1}^g, \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{x_{ij}^g - b_{2ij1}^g}{c_{2ij1}^g}\right)^2}, & b_{2ij1}^g < x_{ij}^g; \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu^{t_{ij}^g}(x_{ij}^g) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{x_{ij}^g - b_{1ij2}^g}{c_{1ij2}^g}\right)^2}, & x_{ij}^g < b_{1ij2}^g, \\ 1, & b_{1ij2}^g \leq x_{ij}^g \leq b_{2ij2}^g, \\ \frac{1}{1 + \left(\frac{x_{ij}^g - b_{2ij2}^g}{c_{2ij2}^g}\right)^2}, & b_{2ij2}^g < x_{ij}^g; \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu^{t_{ij}^g}(x_{ij}^g) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{x_{ij}^g - b_{1ij3}^g}{c_{1ij3}^g}\right)^2}, & x_{ij}^g < b_{1ij3}^g, \\ 1, & b_{1ij3}^g \leq x_{ij}^g; \end{cases} \quad (6)$$

де x_{ij}^g — j -та змінна i -го проміжного інтегрального показника g -го інтегрального показника, $j = \overline{1, J_i}$;

J_i — кількість вхідних змінних, що відносяться до i -го проміжного інтегрального показника, $i = \overline{1, I_g}$;

I_g — кількість проміжних інтегральних показників для g -го інтегрального показника, $g = \overline{1, G}$;

G — кількість інтегральних показників оцінювання II рівня ієрархії ($G = 2$);

$\mu^{t_{ij}^g}(x_{ij}^g)$ — функція належності змінної x_{ij}^g n -му терму термножини значень $T_{ij}^g = \{t_{ij1}^g, t_{ij2}^g, t_{ij3}^g\}$, $n = \overline{1, N}$;

N — кількість термів термножини T_{ij}^g ($N = 3$);

b_{1ijn}^g — ліва координата максимуму функції $\left(\mu^{t_{ijn}^g}(b_{1ijn}^g) = 1\right)$;

c_{1ijn}^g — коефіцієнт стиснення/розтягування лівої дуги функції належності;

b_{2ijn}^g — права координата максимуму функції $\left(\mu^{t_{ijn}^g}(b_{2ijn}^g) = 1\right)$;

c_{2ijn}^g — коефіцієнт стиснення/розтягування правої дуги функції належності.

Для встановлення параметрів функцій належності автори цієї статті використовують нейронні мережі, що самоорганізуються (карти Кохонена) [12]. Переваги цього підходу полягають у тому, що процес побудови карт Кохонена не потребує наявності апріорної інформації про параметри кластерів — на відміну від статистичних методів кластеризації «еталони кластерів» формуються в процесі навчання нейронної мережі виключно на основі вхідної інформації; відомих значень «виходу» моделі; залучення експертної думки.

У результаті нейронної обробки статистичної вибірки значень вхідних показників та аналізу профілів побудованих карт Кохонена¹ було отримано такі параметри функцій належності b_{1ijn}^g , b_{2ijn}^g , c_{1ijn}^g , c_{2ijn}^g (табл. 1).

Таблиця 1

ПАРАМЕТРИ КЛАСТЕРІВ ТА ПАРАМЕТРИ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ ВХІДНИХ ЗМІННИХ ЩОДО КІЛЬКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЗИЧАЛЬНИКІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ НЕЙРОННОЇ ОБРОБКИ ВИБІРКИ

Назва змінної	Назва кластеру	Центроїд кластеру	Значення параметрів функцій належностей			
			b_{1ijn}^g	b_{2ijn}^g	c_{1ijn}^g	c_{2ijn}^g
Вік	Н	25	—	26,25	—	0,75
	С	31	29,45	32,55	1,45	0,45
	В	37	35,15	38,85	1,15	0,15
	С	43	40,85	45,15	0,85	0,85
	Н	50	47,5	—	0,5	—
Термін реєстрації	Н	56	—	59	—	59
	С	182	173	191	54	62
	В	325	309	—	55	—

¹ Розрахунки проводились у середовищі демоверсії програмного модуля Deductor Studio Academic 5.3. Сайт розробників — <http://www.basegroup.ru/>.

Продовження табл. 1

Назва змінної	Назва кластеру	Центроїд кластеру	Значення параметрів функцій належностей			
			b_{1ijn}^g	b_{2ijn}^g	c_{1ijn}^g	c_{2ijn}^g
Досвід роботи	Н	83	—	87	—	53
	С	198	188	208	47	50
	В	320	304	—	45	—
Основний щомісячний дохід	Н	5 841	—	6 133	—	1 229
	С	8 914	8 468	9 360	1 085	1 221
	В	12 322	11 706	—	1 091	—
Додатковий щомісячний дохід	Н	2 621	—	2 752	—	1 210
	С	5 311	5 045	5 577	1 075	1 055
	В	8 000	7 600	—	939	—
DTI	Н	2,49	—	2,61	—	1,00
	С	4,74	4,50	4,97	0,88	0,81
	В	6,83	6,49	—	0,70	—
Сума кредиту	Н	33 360	—	35 028	—	14 492
	С	65 920	62 624	69 216	12 704	11 984
	В	97 200	92 340	—	10 340	—
Річна відсоткова ставка	Н	10	—	10,5	—	2,5
	С	16	15,2	16,8	1,2	1,2
	В	22	20,9	—	1,9	—
Термін кредитування	Н	830	—	872	—	155
	С	1 229	1 168	1 290	138	122
	В	1 600	1 520	—	105	—
Ануїтет	Н	1 533	—	1 609	—	795
	С	3 288	3 124	3 453	710	974
	В	5 547	5 270	—	812	—
Вартість застави	Н	99 000	—	103 950	—	36 050
	С	182 000	172 900	191 100	31 900	51 900
	В	306 000	290 700	—	46 700	—

Закінчення табл. 1

Назва змінної	Назва кластеру	Центроїд кластеру	Значення параметрів функцій належностей			
			b_{1ijn}^g	b_{2ijn}^g	c_{1ijn}^g	c_{2ijn}^g
LTV	H	0,38	—	0,40	—	0,21
	C	0,84	0,80	0,88	0,19	0,47
	B	1,91	1,81	—	0,44	—
Максимальна кількість прострочених днів	H	253	—	266	—	153
	C	587	558	616	137	161
	B	973	924	—	144	—
Кількість прострочених платежів	H	10	—	10,5	—	5,5
	C	23	21,85	24,15	4,85	4,85
	B	37	35,15	—	5,15	—

У процесі побудови карт самоорганізації експериментальним шляхом визначено, що найточніший результат для змінних вік (x_{sd1}^{OD}), термін реєстрації за паспортом (x_{sd5}^{OD}), досвід роботи (x_{z1}^{OD}) надають карти розмірності $[25 \times 25]$. Для змінних: основний щомісячний дохід (x_{fs1}^{OD}), додатковий щомісячний дохід (x_{fs2}^{OD}), показник DTI (x_{fs3}^{OD}), сума кредиту (x_{cr1}^{CR}), річна відсоткова ставка (x_{cr3}^{CR}), термін кредитування (x_{cr4}^{CR}), ануїтетний платіж (x_{cr5}^{CR}), вартість застави (x_{cr9}^{CR}), показник оцінювання LTV (x_{cr10}^{CR}), максимальна кількість днів у простроченні за наданою позикою (x_{ch1}^{CR}), кількість прострочених платежів за наданою позикою (x_{ch2}^{CR}) будувались топологічні карти розмірності $[30 \times 30]$. Саме за таких розмірностей карт самоорганізації максимальні значення похибок матриці квантування мають допустимий рівень 0,036. Також, задані топологічні розмірності пояснюються великим обсягом вибірки (1 000 кредитних угод). Топологічне відображення кластеризації наведено на рис. 4. Такі топологічні карти самоорганізації

нізації будуються у програмному модулі Deductor Studio Academic 5.3.

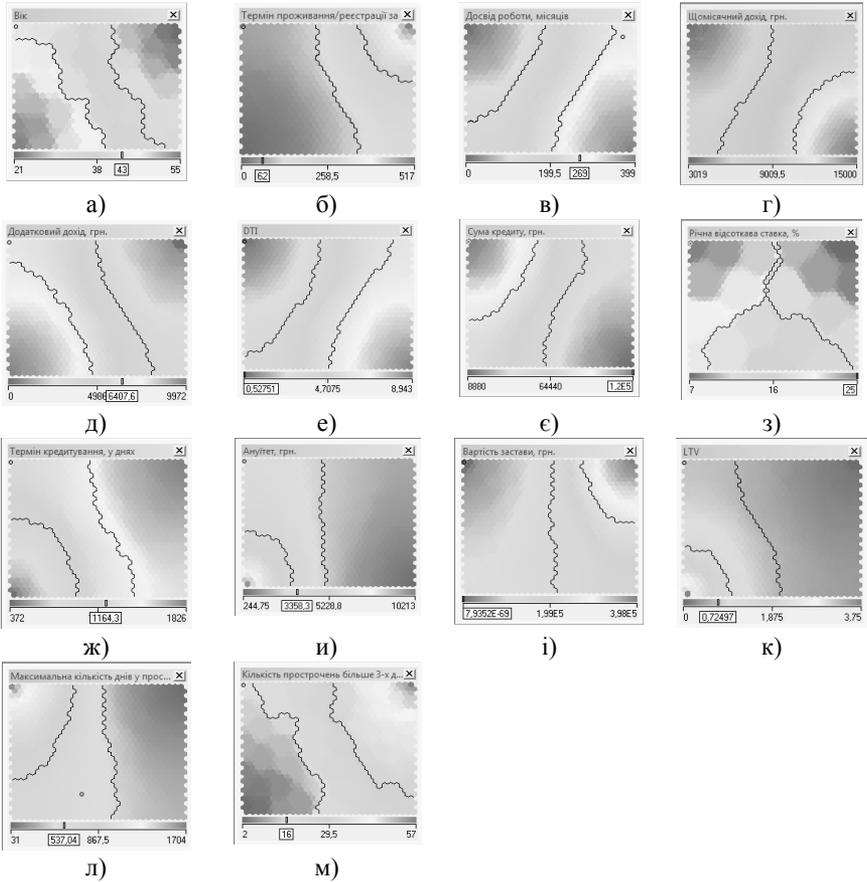


Рис. 4. Топологічні карти Кохонена змінних:

(а) «Вік» [25 × 25], (б) «Термін реєстрації» [25 × 25], (в) «Досвід роботи» [25 × 25], (г) «Щомісячний дохід» [30 × 30], (д) «Додатковий щомісячний дохід» [30 × 30], (е) «Показник ДТІ» [30 × 30], (є) «Сума кредиту» [30 × 30], (ж) «Річна відсоткова ставка» [30 × 30], (з) «Термін кредитування» [30 × 30], (и) «Ануїтетний платіж» [30 × 30], (і) «Вартість застави» [30 × 30], (к) «Показник оцінювання LTV» [30 × 30], (л) «Максимальна кількість днів у простроченні за наданою позицією» [30 × 30], (м) «Кількість прострочених платежів за наданою позицією» [30 × 30]

Наступним етапом моделювання колекторського скорингу є згортка вхідних критеріїв оцінювання IV рівня ієрархії у відповідні проміжні інтегральні показники оцінювання III рівня ієрархії.

Серед різноманіття правил нечіткого логічного висновку найуживанішими є правила Мамдані, Сугено, ієрархічні, композиційне правило Заде та інші.

Використання згортки типу Мамдані у нашому випадку не є доречним у зв'язку з великою кількістю можливих комбінацій лінгвістичних термів вхідних змінних. Так, лише за кількісними змінними налічувалось близько півтисячі варіантів. Залучення експерта-аналітика до формування такої бази правил надасть хибний результат у сегментації проблемних клієнтів з метою управління проблемною заборгованістю.

Залучення до процесу моделювання ієрархічних систем нечіткого логічного висновку є одним з найприйнятніших у випадку моделювання на вибірках, що налічують тисячі спостережень і з широким переліком змінних. Використання такої системи нечіткого логічного висновку дозволяє подолати проблеми високої розмірності при моделюванні багатомірних залежностей. Так, за значної кількості входів експерту-аналітику важко викласти причинно-наслідкові зв'язки нечіткими правилами. Перевагою використання ієрархічної системи нечіткого логічного висновку також є і її компактність. Але недоліком використання такого типу висновку у нашому випадку є вплив людського фактору на результат групування позичальників, що пов'язано з експертним встановленням правил прийняття рішень. Якщо стоїть задача сегментування сукупності боржників з метою встановлення відповідної стратегії відносин кредитуючого закладу та позичальника щодо повернення прострочених боргів, то варто здійснювати згортку показників, що характеризують позичальників (такі як вік, наявність освіти, сім'ї, дітей, стажу роботи, місця реєстрації та інше), таким чином, щоб виявити залежність «вхідні змінні моделі → ризик неповернення».

Так, на думку авторів, з метою отримання більш адекватних результатів оцінювання кредитного ризику доречно у такому випадку застосувати ієрархічний підхід, залучивши на етапах згортки адитивне композиційне правило з подальшою нейронною обробкою отриманої множини значень результуючого інтегрованого показника за допомогою карт Кохонена [13, с. 86]. Приклад

реалізації адитивного композиційного правила для згортки кількісних змінних з метою подальшого визначення проміжних інтегральних показників оцінювання III рівня ієрархії представлений функцією:

$$Y_i^g = \sum_{j=1}^{J_i} \left\{ \beta \left(\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{ij}^{t_{jn}^g} \left(x_{ij}^g \right) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{ij}^{t_{jn}^g} \left(x_{ij}^g \right) \right) \right), i = \overline{1, I_g}, g = \overline{1, 2}. \quad (7)$$

Отже, система рівнянь адитивної композиційної згортки кількісних вхідних показників для розрахунку проміжних інтегральних показників оцінювання III рівня ієрархії матиме таких вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned} & Y_{sd}^{OD} = \beta \left(\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{sd1n}^{t_{sd1n}^{OD}} \left(x_{sd1}^{OD} \right) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{sd1n}^{t_{sd1n}^{OD}} \left(x_{sd1}^{OD} \right) \right) + \beta \left(\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{sd5n}^{t_{sd5n}^{OD}} \left(x_{sd5}^{OD} \right) \right) \right) \right) \times \right. \\ & \left. \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{sd5n}^{t_{sd5n}^{OD}} \left(x_{sd5}^{OD} \right) \right) \right\}; \\ & Y_z^{OD} = \beta \left(\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{z1n}^{t_{z1n}^{OD}} \left(x_{z1}^{OD} \right) \right) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{z1n}^{t_{z1n}^{OD}} \left(x_{z1}^{OD} \right) \right); \\ & Y_{fs}^{OD} = \beta \left(\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{fs1n}^{t_{fs1n}^{OD}} \left(x_{fs1}^{OD} \right) \right) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{fs1n}^{t_{fs1n}^{OD}} \left(x_{fs1}^{OD} \right) \right) + \beta \left(\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{fs2n}^{t_{fs2n}^{OD}} \left(x_{fs2}^{OD} \right) \right) \right) \right) \times \right. \\ & \left. \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{fs2n}^{t_{fs2n}^{OD}} \left(x_{fs2}^{OD} \right) \right) + \beta \left(\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{fs3n}^{t_{fs3n}^{OD}} \left(x_{fs3}^{OD} \right) \right) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{fs3n}^{t_{fs3n}^{OD}} \left(x_{fs3}^{OD} \right) \right) \right); \\ & Y_{cr}^{CR} = \beta \left(\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{cr1n}^{t_{cr1n}^{CR}} \left(x_{cr1}^{CR} \right) \right) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{cr1n}^{t_{cr1n}^{CR}} \left(x_{cr1}^{CR} \right) \right) + \beta \left(\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{cr3n}^{t_{cr3n}^{CR}} \left(x_{cr3}^{CR} \right) \right) \right) \right) \times \right. \\ & \left. \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{cr3n}^{t_{cr3n}^{CR}} \left(x_{cr3}^{CR} \right) \right) + \beta \left(\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{cr4n}^{t_{cr4n}^{CR}} \left(x_{cr4}^{CR} \right) \right) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{cr4n}^{t_{cr4n}^{CR}} \left(x_{cr4}^{CR} \right) \right) + \right. \\ & \left. + \beta \left(\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{cr5n}^{t_{cr5n}^{CR}} \left(x_{cr5}^{CR} \right) \right) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{cr5n}^{t_{cr5n}^{CR}} \left(x_{cr5}^{CR} \right) \right) + \beta \left(\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{cr9n}^{t_{cr9n}^{CR}} \left(x_{cr9}^{CR} \right) \right) \right) \right) \times \right. \end{aligned} \right. \quad (8)$$

$$Y_{ch}^{CR} = \left\{ \begin{array}{l} \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{cr9n}^{CR} \left(x_{cr9}^{CR} \right) \right) + \beta_{\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{cr10n}^{CR} \left(x_{cr10}^{CR} \right) \right) \right)} \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{cr10n}^{CR} \left(x_{cr10}^{CR} \right) \right) \\ \beta_{\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{ch1n}^{CR} \left(x_{ch1}^{CR} \right) \right) \right)} \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{ch1n}^{CR} \left(x_{ch1}^{CR} \right) \right) + \beta_{\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{ch2n}^{CR} \left(x_{ch2}^{CR} \right) \right) \right)} \times \\ \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{ch2n}^{CR} \left(x_{ch2}^{CR} \right) \right) \end{array} \right.$$

Для визначення векторів коригуючих коефіцієнтів β авторами були проведені численні експерименти окремо для кожної змінної.

Оскільки вхідні змінні мають позитивний або негативний інгредієнт, то вектори коригуючих коефіцієнтів мають враховувати цю властивість. Так, до змінних з позитивним інгредієнтом відносяться термін реєстрації за паспортом (x_{sd5}^{OD}), досвід роботи (x_{z1}^{OD}), основний щомісячний дохід (x_{fs1}^{OD}), додатковий щомісячний дохід (x_{fs2}^{OD}) і вартість застави (x_{cr9}^{CR}). Тобто, чим більше значення таких змінних, тим краще (менш ризикованіше). Очікується, що у таких позичальників більше ймовірність розрахуватися з кредитором. Для таких змінних елементи вектора коригуючих коефіцієнтів приймають додатні значення і розташовані у порядку зростання.

Щодо таких кількісних змінних, як показник ДПІ (x_{fs3}^{OD}), сума кредиту (x_{cr1}^{CR}), річна відсоткова ставка (x_{cr3}^{CR}), термін кредитування (x_{cr4}^{CR}), анuitетний платіж (x_{cr5}^{CR}), показник оцінювання LTV (x_{cr10}^{CR}), максимальна кількість днів у простроченні за наданою позицією (x_{ch1}^{CR}), кількість прострочених платежів за наданою позицією (x_{ch2}^{CR}), то зі збільшенням їхніх значень зменшуються і шанси на повернення боргу кредиторю. Ці змінні мають негативний інгредієнт. Для таких змінних елементи векторів коригуючих коефіцієнтів можуть приймати як додатні, так і від'ємні значення, але розташовані у спадному порядку.

Результати експериментальних досліджень щодо встановлення векторів коригуючих коефіцієнтів наведено у табл. 2.

Таблиця 2

ВЕКТОРИ КОРИГУЮЧИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ДЛЯ НЕПЕРЕРВНИХ ЧИСЛОВИХ ЗМІННИХ МОДЕЛІ КОЛЕКТОРСЬКОГО СКОРИНГУ

Назва змінної	Аналітичний запис змінної	Вектор коригуючих коефіцієнтів
Вік	x_{sd1}^{OD}	{1, 1,5, 2, 1,5, 1}
Термін реєстрації за паспортом	x_{sd5}^{OD}	{1, 1,5, 2}
Досвід роботи	x_{z1}^{OD}	{1, 2, 3}
Основний щомісячний дохід	x_{fs1}^{OD}	{1, 2, 3}
Додатковий щомісячний дохід	x_{fs2}^{OD}	{1, 2, 3}
Показник ДТІ	x_{fs3}^{OD}	{3, 2, 1}
Сума кредиту	x_{cr1}^{CR}	{2, 1,5, 1}
Річна відсоткова ставка	x_{cr3}^{CR}	{2, 1,5, 1}
Термін кредитування	x_{cr4}^{CR}	{3, 2, 1}
Ануїтетний платіж	x_{cr5}^{CR}	{2, 1,5, 1}
Вартість застави	x_{cr9}^{CR}	{1, 2, 3}
Показник оцінювання LTV	x_{cr10}^{CR}	{3, 2, 1}
Максимальна кількість днів у простроченні за наданою позикою	x_{ch1}^{CR}	{-1, -5, -10}
Кількість прострочених платежів за наданою позикою	x_{ch2}^{CR}	{-1, -2, -3}

Так, наприклад, вектор коригуючих коефіцієнтів для змінної «Термін реєстрації за паспортом» має такий аналітичний вигляд:

$$\beta_{\arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{sd5n}^{OD} (x_{sd5}^{OD}) \right) \right)} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{sd5n}^{OD} (x_{sd5}^{OD}) \right) = \mu_{sd51}^{OD} (x_{sd5}^{OD}); \\ 1,5, & \text{якщо } \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{sd5n}^{OD} (x_{sd5}^{OD}) \right) = \mu_{sd52}^{OD} (x_{sd5}^{OD}); \\ 2, & \text{якщо } \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{sd5n}^{OD} (x_{sd5}^{OD}) \right) = \mu_{sd53}^{OD} (x_{sd5}^{OD}). \end{cases} \quad (9)$$

Якісні вхідні змінні, що формують проміжні інтегральні показники III рівня ієрархії, залучаються до нейронної обробки одним масивом. Кожному значенню якісної змінної надаємо числове значення з метою обробки картами самоорганізації Кохонена. Так, група змінних {«Стать», «Рівень освіти», «Місце реєстрації», «Сімейний стан», «Кількість утриманців»} одночасно залучаються з метою кластеризації спостережень для розрахунку проміжного інтегрального показника «Особисті дані про позичальника». Результатом розрахунку буде лінгвістична змінна K_{sd}^{OD} , що містить інтегральну оцінку відповідних вхідних якісних змінних, з терм-множиною значень «Низький», «Середній», «Високий». Вхідну змінну «Кількість утриманців» умовно вважатимемо якісним показником, так як чітко не прослідковується поведінка позичальника залежно від кількості утриманців. У зв'язку з цим змінна залучається до одночасної обробки з якісними змінними.

Також одночасно обробляються групи змінних {«Посада», «Місце роботи», «Галузь діяльності»} (результатом буде лінгвістична змінна K_z^{OD} з терм-множиною значень «Низький», «Середній», «Високий»), {«Валюта кредитування», «Регіон видачі кредиту», «День тижня видачі кредиту», «Інформація про забезпечення кредиту»} (результатом буде лінгвістична змінна K_{cr}^{CR} з терм-множиною значень «Низький», «Середній», «Високий»), {«Наявність прострочення за першим платежем», «Наявність прострочень за першими трьома платежами»} (результатом буде лінгвістична змінна K_{ch}^{CR} з терм-множиною значень «Низький», «Середній», «Високий»). Результатом такої обробки масивів вхідних якісних змінних є формування чотирьох баз правил, фрагменти яких наведено в табл. 3—6.

Загальна кількість правил для якісних змінних проміжного інтегрального показника щодо особистих даних позичальника (K_{sd}^{OD}) за результатами нейронної обробки склала 322 правила. База правил для якісних змінних проміжного інтегрального показника щодо даних про зайнятість позичальника (K_z^{OD}) за результатами нейронної обробки містить 159 правил. База правил для якісних змінних проміжного інтегрального показника щодо даних про надану позику (K_{cr}^{CR}) за результатами нейронної обробки налічує 215 правил. База правил для якісних змінних проміжного інтегрального показника щодо даних про прострочення позичальника (K_{ch}^{CR}) за результатами нейронної обробки має 3 правила.

Таблиця 3

**ФРАГМЕНТ БАЗИ ПРАВИЛ ДЛЯ ЯКІСНИХ ЗМІННИХ ПРОМІЖНОГО
ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ЩОДО ОСОБИСТИХ ДАНИХ
ПОЗИЧАЛЬНИКА (K_{sd}^{OD}) ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ НЕЙРОННОЇ ОБРОБКИ**

Терм результуючої лінгвістичної змінної	Вхідні змінні				
	Стать	Рівень освіти	Місце реєстрації	Сімейний стан	Кількість утриман- ців
Н	...	...	...	...	...
	чоловік	середня	Київ місто	неодру- жений/а	1
	чоловік	середня	Київ місто	одружений/а	1
	чоловік	середня спеціальна	Північний	одружений/а	0
	чоловік	середня спеціальна	Південний	громадян- ський шлюб	1

С	...	...	...	...	...
	чоловік	неповна вища	Південний	одружений/а	2
	чоловік	вища	Київ місто	одружений/а	2
	чоловік	вища	Північний	неодружений/а	0
	чоловік	вища	Північний	одружений/а	0

В	...	...	...	...	...
	жінка	вища	Центральний	одружений/а	0
	жінка	неповна вища	Північний	одружений/а	4
	жінка	середня спеціальна	Південний	розлуче- ний/а	1
	жінка	неповна вища	Західний	вдовець/а	1
...	

Таблиця 4

ФРАГМЕНТ БАЗИ ПРАВИЛ ДЛЯ ЯКІСНИХ ЗМІННИХ ПРОМІЖНОГО ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ЩОДО ДАНИХ ПРО ЗАЙНЯТІСТЬ ПОЗИЧАЛЬНИКА (K_z^{OD}) ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ НЕЙРОННОЇ ОБРОБКИ

Терм результуючої лінгвістичної змінної	Вхідні змінні		
	Посада	Місце роботи	Галузь діяльності
Н	...	...	...
	інше	співтовариство	роздрібна торгівля
	працівник	співтовариство	фінансовий заклад
	інше	співтовариство	обслуговування населення
	службовець	співтовариство	перевезення

С	...	...	...
	інше	приватне підприємство	розваги
	службовець	приватне підприємство	розваги
	інше	приватне підприємство	с/г
	службовець	приватне підприємство	с/г

В	...	...	...
	директор	приватний підприємець	обслуговування населення
	службовець	приватне підприємство	обслуговування населення
	службовець	комунальна установа	інше
	директор	приватний підприємець	оптова торгівля

Таблиця 5

**ФРАГМЕНТ БАЗИ ПРАВИЛ ДЛЯ ЯКІСНИХ ЗМІННИХ ПРОМІЖНОГО
ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ЩОДО ДАНИХ ПРО НАДАНУ ПОЗИКУ (K_{cr}^{CR})
ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ НЕЙРОННОЇ ОБРОБКИ**

Терм результую- чої лінгвіс- тичної змінної	Вхідні змінні			
	Валюта кредиту- вання	Регіон видачі кредиту	День тижня видачі кредиту	Інформація про забезпечення кредиту
Н	...	...	...	...
	USD	Південний	п`ятниця	порука
	USD	Північний	понеділок	порука
	USD	Західний	понеділок	рухоме майно
	USD	Київ місто	п`ятниця	порука

С	...	...	...	...
	EUR	Північний	вівторок	рухоме майно
	UAH	Західний	середа	рухоме майно
	EUR	Київ місто	вівторок	рухоме майно
	UAH	Східний	четвер	рухоме майно

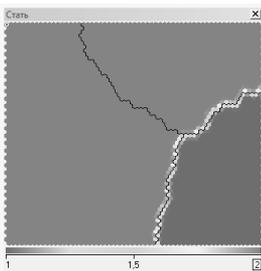
В	...	...	...	...
	UAH	Центральний	четвер	порука
	USD	Центральний	середа	нерухоме майно
	USD	Східний	понеділок	нерухоме майно
	EUR	Київ місто	понеділок	нерухоме майно

Таблиця 6

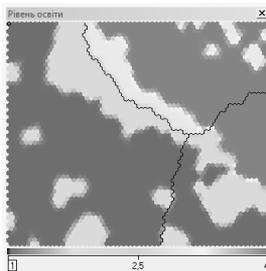
БАЗА ПРАВИЛ ДЛЯ ЯКІСНИХ ЗМІННИХ ПРОМІЖНОГО ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ЩОДО ДАНИХ ПРО ПРОСТРОЧЕННЯ ПОЗИЧАЛЬНИКА (K_{ch}^{CR}) ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ НЕЙРОННОЇ ОБРОБКИ

Терм результуючої лінгвістичної змінної	Вхідні змінні	
	Наявність прострочень за першим платежем	Наявність прострочень одночасно за першими трьома платежами
Н	є прострочення	є прострочення
С	є прострочення	немає прострочень
В	немає прострочень	немає прострочень

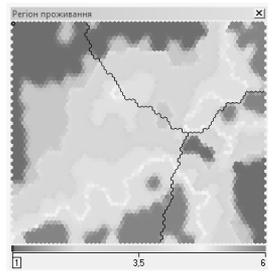
За результатами численних експериментів для топологічних карт Кохонена якісних змінних щодо особистих даних позичальника («Стать», «Рівень освіти», «Регіон проживання», «Сімейний стан» та «Кількість утриманців») найбільш адекватною встановлена розмірність $[60 \times 60]$, для топологічних карт Кохонена якісних змінних щодо зайнятості позичальника («Посада», «Місце роботи», «Галузь діяльності») — $[30 \times 30]$, для топологічних карт Кохонена якісних змінних щодо наданої позики («Валюта кредитування», «Регіон видачі кредиту», «День тижня видачі кредиту», «Забезпечення кредиту») — $[50 \times 50]$, для топологічних карт Кохонена якісних змінних щодо прострочення за наданою позикою («Наявність прострочення за першим кредитним платежем», «Наявність прострочення за першими трьома кредитними платежами») — $[20 \times 20]$ (рис. 5—8).



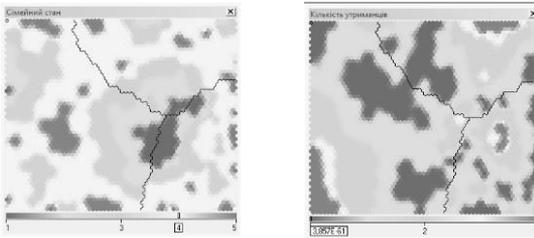
а)



б)



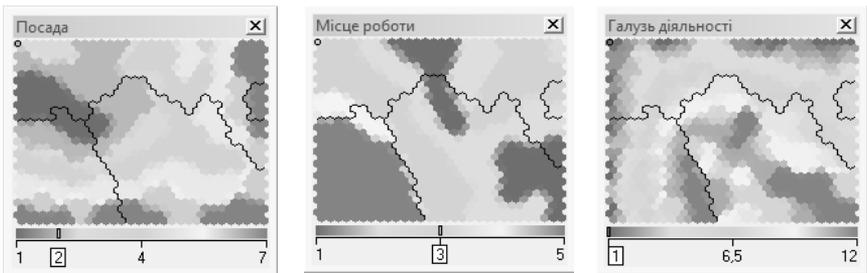
в)



г) д)

Рис. 5. Топологічні карти Кохонена якісних змінних щодо особистих даних позичальника:

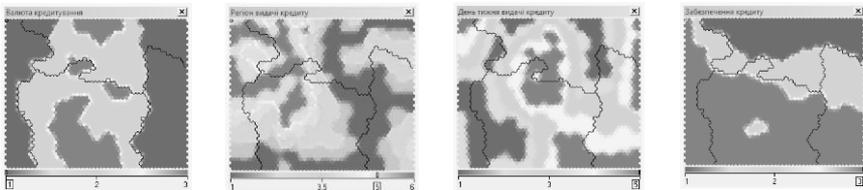
«Стать» (а), «Рівень освіти» (б), «Регіон проживання» (в), «Сімейний стан» (г), «Кількість утриманців» (д) [60 × 60]



а) б) в)

Рис. 6. Топологічні карти Кохонена якісних змінних щодо зайнятості позичальника:

«Посада» (а), «Місце роботи» (б), «Галузь діяльності» (в) [30 × 30]



а) б) в) г)

Рис. 7. Топологічні карти Кохонена якісних змінних щодо наданої позики:

«Валюта кредитування» (а), «Регіон видачі кредиту» (б), «День тижня видачі кредиту» (в), «Забезпечення кредиту» (г) [50 × 50]

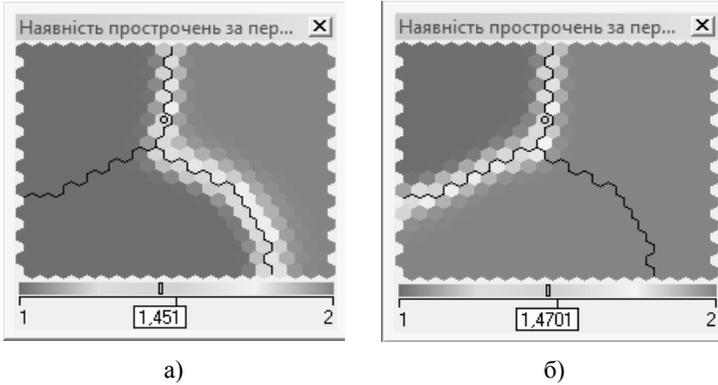


Рис. 8. Топологічні карти Кохонена якісних змінних щодо прострочення за наданою позикуо:

«Наявність прострочення за першим кредитним платежем» (а), «Наявність прострочення за першими трьома кредитними платежами» [20 × 20]

Отже, здійснивши окремо згортку кількісних змінних IV рівня ієрархії за формулами (8) та якісних змінних IV рівня ієрархії за допомогою описаних баз правил (табл. 3—6), формуємо проміжні інтегральні показники оцінювання III рівня ієрархії:

$$\begin{cases} r_{sd}^{OD} = Y_{sd}^{OD} + \hat{K}_{sd}^{OD}, \\ r_z^{OD} = Y_z^{OD} + \hat{K}_z^{OD}, \\ r_{cr}^{CR} = Y_{cr}^{CR} + \hat{K}_{cr}^{CR}, \\ r_{fs}^{OD} = Y_{fs}^{OD}, \\ r_{ch}^{CR} = Y_{ch}^{CR} + \hat{K}_{ch}^{CR}, \end{cases} \quad (10)$$

де r_{sd}^{OD} — проміжний інтегральний показник соціально-демографічних ознак позичальника інтегрального показника щодо даних про позичальника (R^{OD});

r_z^{OD} — проміжний інтегральний показник щодо даних про зайнятість позичальника інтегрального показника щодо даних про позичальника (R^{OD});

r_{fs}^{OD} — проміжний інтегральний показник фінансового стану позичальника інтегрального показника щодо даних про позичальника (R^{OD});

r_{cr}^{CR} — проміжний інтегральний показник щодо даних про надану позику інтегрального показника щодо даних про взаємовідносини між позичальником і кредитуючим закладом (R^{CR});

r_{ch}^{CR} — проміжний інтегральний показник щодо даних про кредитну історію позичальника інтегрального показника щодо даних про взаємовідносини між позичальником і кредитуючим закладом (R^{CR});

\hat{K}_{sd}^{OD} , \hat{K}_z^{OD} , \hat{K}_{cr}^{CR} , \hat{K}_{ch}^{CR} — кількісні аналоги лінгвістичних змінних K_{sd}^{OD} , K_z^{OD} , K_{cr}^{CR} , K_{ch}^{CR} , які приймають значення 1, якщо відповідні лінгвістичні змінні описуються термом «Низький», значення 2, якщо відповідні лінгвістичні змінні K_{sd}^{OD} , K_z^{OD} , K_{cr}^{CR} , K_{ch}^{CR} описуються термом «Середній», і значення 3, якщо термом «Високий».

Наступним кроком є побудова функцій належності для лінгвістичних змінних, що описують проміжні інтегральні показники оцінювання III рівня ієрархії — r_{sd}^{OD} , r_z^{OD} , r_{fs}^{OD} , r_{fs}^{OD} , r_{ch}^{CR} . З метою визначення параметрів для функцій належностей $\mu(r_{sd}^{OD})$, $\mu(r_z^{OD})$, $\mu(r_{fs}^{OD})$, $\mu(r_{ch}^{CR})$ і $\mu(r_{ch}^{CR})$, вектори даних зазначених показників піддаються подальшій нейронній обробці за допомогою карт Кохонена, які можна бачити на рис. 9.

У результаті нейронної обробки векторів даних проміжних інтегральних показників матимемо належність кожного спостереження до певного кластеру (одного з трьох, що характеризують відповідне лінгвістичне значення «Низький», «Середній», «Високий»), відстань нейрона до визначеного центра кластеру на відповідній топологічній карті. Використовуючи результати, отримані після нейронної обробки, розраховуємо параметри функцій належностей для всіх проміжних інтегральних показників оцінювання III рівня ієрархії — b_{1in}^g , b_{2in}^g , c_{1in}^g , c_{2in}^g (табл. 7).

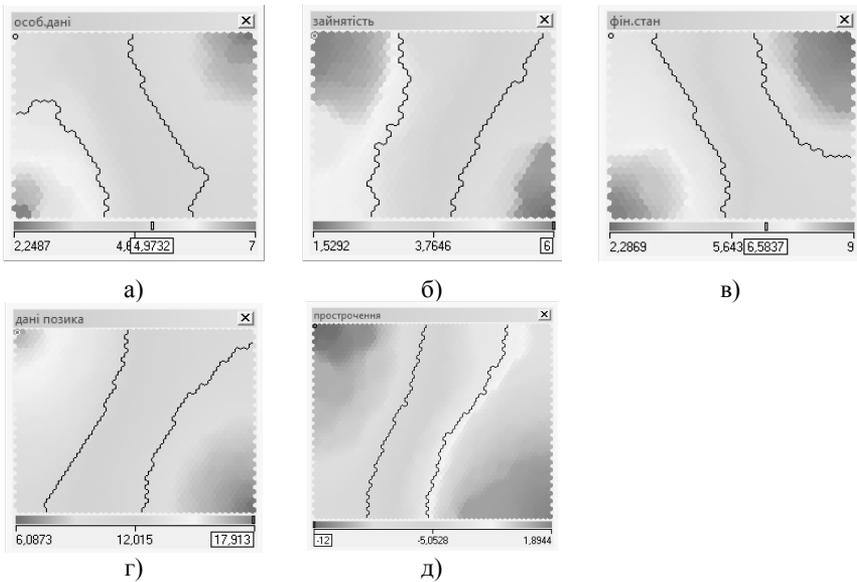


Рис. 9. Топологічні карти Кохонена проміжних інтегральних показників:

- (а) «Особисті дані» [30 × 30], (б) «Зайнятість позичальника» [30 × 30],
- (в) «Фінансовий стан» [30 × 30], (г) «Дані щодо позики» [40 × 40],
- (д) «Дані щодо прострочення» [50 × 50]

Таблиця 7

**ПАРАМЕТРИ КЛАСТЕРІВ ТА ПАРАМЕТРИ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТЕЙ
ПРОМІЖНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ $r_{sd}^{OD}, r_z^{OD}, r_{fs}^{OD}, r_{cr}^{CR}, r_{ch}^{CR}$
ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЇХНЬОЇ НЕЙРОННОЇ ОБРОБКИ**

Назва змінної	Назва кластеру	центроїд кластеру	Значення параметрів функцій належностей			
			b_{1in}^g	b_{2in}^g	c_{1in}^g	c_{2in}^g
Особисті дані	Н	3,60	—	3,78	—	0,36
	С	4,68	4,44	4,91	0,29	0,29
	В	5,75	5,46	—	0,23	—

Закінчення табл. 7

Назва змінної	Назва кластеру	центроїд кластеру	Значення параметрів функцій належностей			
			b_{1in}^g	b_{2in}^g	c_{1in}^g	c_{2in}^g
Дані про зайнятість	Н	2,63	—	2,76	—	0,37
	С	3,85	3,66	4,05	0,37	0,45
	В	5,09	4,83	—	0,30	—
Дані про фінансовий стан	Н	3,43	—	3,60	—	0,66
	С	5,10	4,84	5,35	0,55	0,77
	В	7,08	6,73	—	0,59	—
Дані щодо позики	Н	8,91	—	9,36	—	0,76
	С	11,34	10,77	11,91	0,64	0,57
	В	13,62	12,94	—	0,45	—
Дані про прострочення	Н	-8,94	—	-9,39	—	2,64
	С	-4,49	-4,27	-4,72	2,40	2,07
	В	-0,28	-0,27	—	2,11	—

Підставляємо у системи рівнянь (4)—(6) параметри з табл. 7 для отримання функцій належностей проміжних інтегральних показників r_{sd}^{OD} , r_z^{OD} , r_{fs}^{OD} , r_{cr}^{CR} , r_{ch}^{CR} .

Далі здійснюємо згортку проміжних інтегральних показників оцінювання III рівня ієрархії r_{sd}^{OD} , r_z^{OD} , r_{fs}^{OD} , r_{cr}^{CR} , r_{ch}^{CR} у інтегральні показники оцінювання II рівня ієрархії R^{OD} та R^{CR} :

$$\left\{ \begin{aligned} & R^{OD} = \beta \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{sd\ n}^{OD} (r_{sd}^{OD}) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{sd\ n}^{OD} (r_{sd}^{OD}) \right) + \beta \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{z\ n}^{OD} (r_z^{OD}) \right) \right) \times \\ & \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{z\ n}^{OD} (r_z^{OD}) \right) + \beta \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_{fs\ n}^{OD} (r_{fs}^{OD}) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_{fs\ n}^{OD} (r_{fs}^{OD}) \right) \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} R^{CR} = & \beta \arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu^{t_{cr n}^{CR}}(r_{cr}^{CR}) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu^{t_{cr n}^{CR}}(r_{cr}^{CR}) \right) + \beta \arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu^{t_{ch n}^{CR}}(r_{ch}^{CR}) \right) \right) \times \\ & \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu^{t_{ch n}^{CR}}(r_{ch}^{CR}) \right). \end{aligned} \right. \quad (11)$$

Експериментальним шляхом для проміжних інтегральних показників III рівня ієрархії визначені наступні вектори коригуючих коефіцієнтів: {1, 1,5, 2} для проміжного інтегрального показника щодо особистих даних позичальника (r_{sd}^{OD}), даних про зайнятість (r_z^{OD}) і даних щодо наданої позики (r_{cr}^{CR}); {1, 2, 3} для проміжного інтегрального показника щодо фінансового стану позичальника (r_{fs}^{OD}) та щодо прострочення платежів за кредитом (r_{ch}^{CR}).

Аналогічно попереднім етапам моделювання визначаємо лінгвістичні змінні для інтегральних показників II рівня ієрархії, терм-множини значень лінгвістичних змінних, будуємо функції належностей. З метою визначення параметрів функцій належностей, як і на попередніх етапах, залуцаємо до нейронної обробки вектори числових значень R^{OD} та R^{CR} , розрахованих на показниках навчальної вибірки. Результатом нейронної обробки є належність кожного позичальника за інтегральними показниками (R^{OD}) та (R^{CR}) одному з трьох кластерів. У результаті опрацювання даних розподілу позичальників за цими кластерами отримуємо параметри функцій належності всіх термів цих інтегральних показників, які зведемо до табл. 8.

Таблиця 8

ПАРАМЕТРИ КЛАСТЕРІВ І ПАРАМЕТРИ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТЕЙ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ R^{OD} ТА R^{CR} ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЇХНЬОЇ НЕЙРОННОЇ ОБРОБКИ

Назва змінної	Назва кластеру	Центроїд кластеру	Значення параметрів функцій належностей			
			b_{1n}^g	b_{2n}^g	c_{1n}^g	c_{2n}^g
Інтегральний показник щодо даних про позичальника	Н	3,57	—	3,75	—	0,39
	С	4,74	4,50	4,98	0,33	0,32
	В	5,83	5,54	—	0,23	—
Інтегральний показник щодо даних про взаємовідносини позичальника та кредитора	Н	2,13	—	2,24	—	0,36
	С	3,09	2,93	3,24	0,29	0,40
	В	4,23	4,02	—	0,34	—

Топологічне зображення кластеризації позичальників за інтегральними показниками II рівня ієрархії наведено на рис. 10. Розмірність при побудові карт Кохонена встановлена [30 × 30].

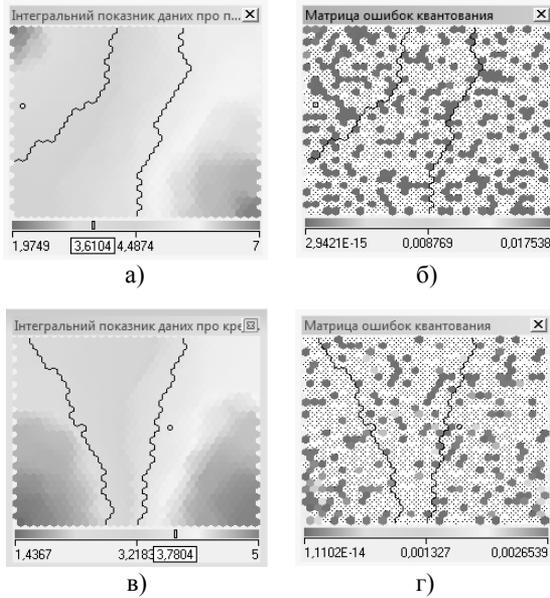


Рис. 10. Топологічні карти Кохонена інтегральних показників та їхні матриці похибок квантування:

«Соціально-демографічні дані позичальника» [30 × 30] (а) з матрицею похибок квантування (б), «Дані щодо взаємовідносин між позичальником та кредитуючим закладом позичальника» [30 × 30] (в) з матрицею похибок квантування (г)

Розрахувавши параметри функцій належності (див. табл. 8) та на їх основі значення функцій належностей, здійснюємо згортку інтегральних показників II рівня ієрархії у загальний скоринговий бал (S_{CS}) за таким правилом:

$$S_{CS} = \beta \arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_n^{OD} (R^{OD}) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_n^{OD} (R^{OD}) \right) + \beta \arg \left(\max_{n=1,2,3} \left(\mu_n^{CR} (R^{CR}) \right) \right) \times \max_{n=1,2,3} \left(\mu_n^{CR} (R^{CR}) \right) \quad (12)$$

У результаті проведення низки числових експериментів для інтегральних показників R^{OD} і R^{CR} визначено наступний вектор коригуючих коефіцієнтів: $\{1, 2, 3\}$.

Лінгвістична змінна, яка описує скоринговий бал S_{CS} , визначається терм-множиною значень з трьома термами: «Низький», «Середній», «Високий». Для визначення параметрів функцій належностей скорингового показника (S_{CS}) вектор його числових значень, розрахованих для позичальників навчальної вибірки, піддається нейронній обробці, у результаті якої отримуємо дані щодо параметрів кластерів (табл. 9).

Таблиця 9

**ПАРАМЕТРИ КЛАСТЕРІВ ТА ПАРАМЕТРИ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТЕЙ
СКОРИНГОВОГО ПОКАЗНИКА S_{CS}
ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ НЕЙРОННОЇ ОБРОБКИ**

Назва змінної	Назва кластеру	центроїд кластеру	Значення параметрів функцій належностей			
			b_1	b_2	c_1	c_2
Скоринговий показник	Н	2,02	—	2,12	—	0,27
	С	2,79	2,65	2,93	0,24	0,20
	В	3,48	3,31	—	0,16	—

Топологічне зображення кластеризації скорингових балів позичальників і матриця похибок квантування наведені на рис. 11. При побудові карти Кохонена для скорингового показника встановлювалась розмірність топологічної карти $[30 \times 30]$.

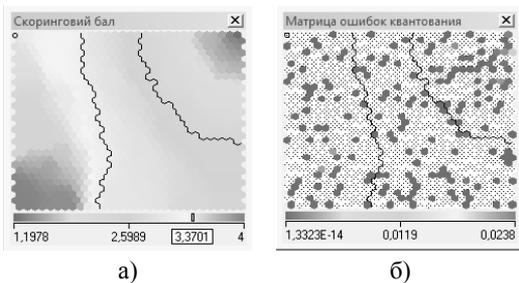


Рис. 11. Топологічна карта Кохонена скорингових балів позичальників $[30 \times 30]$ (а) і матриця похибок квантування (б)

Результатом нейро-нечіткої кластеризації буде сегментація позичальників з простроченими термінами погашення кредитної заборгованості, на основі якої можна визначати найбільш адекватну стратегію взаємодії з кожним окремим боржником. Сегмент простроченого кредитного портфеля комерційного банку визначається на основі розрахованих значень скорингового показника (S_{CS}), як показано в табл. 10.

Таблиця 10

**СПИВІДНОШЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ
ТА СЕГМЕНТІВ ПРОСТРОЧЕНОГО КРЕДИТНОГО ПОРТФЕЛЯ
КОМЕРЦІЙНОГО БАНКУ**

Умова	Назва терму	Назва сегменту простроченого кредитного портфеля
$S_{CS} \leq 2,38$	Н	S_5 — «Списання»
$2,38 < S_{CS} < 2,41$	Н-С	S_4 — «Дуже поганий»
$2,41 \leq S_{CS} \leq 3,12$	С	S_3 — «Поганий»
$3,12 < S_{CS} < 3,14$	С-В	S_2 — «Середній»
$3,14 \leq S_{CS}$	В	S_1 — «Некритичний»

Результат сегментації позичальників з простроченими термінами погашення кредитної заборгованості представлено у табл. 11 та діаграмою, наведеною на рис. 12.

Таблиця 11

**РЕЗУЛЬТАТИ НЕЙРО-НЕЧІТКОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ ПОЗИЧАЛЬНИКІВ
КОМЕРЦІЙНОГО БАНКУ З АКТИВНИМИ ПРОСТРОЧЕНИМИ ПЛАТЕЖАМИ**

Сегмент портфеля боргів	Кількість кредитних угод	Питома вага сегменту у портфелі, %
S_1	536	54 %
S_2	36	4 %
S_3	65	7 %
S_4	260	26 %
S_5	103	10 %
Всього	1000	100 %

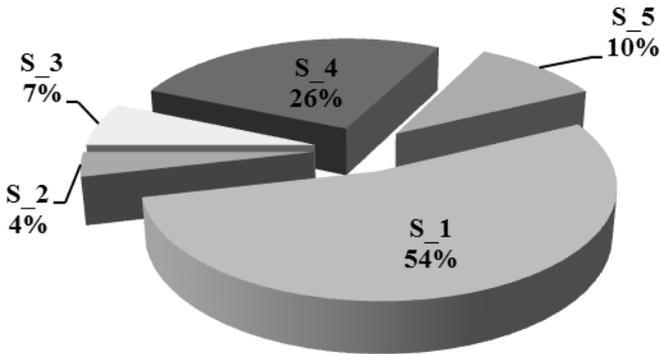


Рис. 12. Портфель прострочених кредитів за результатами нейронної обробки (у кількісному виразі), %

Результати табл. 11 характеризують лише окремий портфель прострочених кредитів. Нагадаємо, що скорингові системи окремо розробляються під кожну конкретну задачу. Так, скорингові моделі, розроблені на даних щодо клієнтів, котрі скористались споживчими кредитами на невеликі суми, не можуть адекватно працювати, наприклад, на кредитному портфелі позик щодо автокредитування.

Побудована модель колекторського скорингу щодо стягнення простроченої заборгованості дає можливість розробити рекомендації щодо роботи з кожним сегментом портфеля прострочених кредитів відповідно до рівня кредитного ризику, які зведемо до табл. 12.

Отже, оскільки за позичальниками, які згруповані у першому сегменті, очікується найбільша ймовірність щодо повернення позичкових коштів, то таких позичальників автори рекомендують «брати» в активну роботу.

Сукупність позичальників, що формує другий сегмент, надає менше шансів порівняно з першим сегментом щодо виплати боргу комерційному банку. Проте, такі кредитні справи залишаються пріоритетними для фінансової установи (звісно, після першої групи і за умов прострочення не більше трьох місяців). Це пов'язано з тим, що якщо несплата заборгованості сягає 90 днів, дефолт за позику відбувається у близько 75 % подібних позичальників.

Таблиця 12

**РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО УПРАВЛІННЯ ПОРТФЕЛЕМ
ПРОБЛЕМНИХ КРЕДИТІВ**

Сегмент позичальників	Скоринговий бал позичальника	Опис дій щодо стягнення простроченої заборгованості з позичальників комерційного банку
S_1	B	Робота з такими позичальниками включає телефонний дзвінок банківського працівника, відправлення електронного листа з нагадуванням про непогашений борг і можливі наслідки ухилення від зобов'язань
S_2	C-B	Телефонні дзвінки та смс-повідомлення з вимогою погашення боргу. Телефонний дзвінок контактній особі позичальника комерційного банку з вимогою посприяти на боржника щодо погашення заборгованості
S_3	C	Особисті зустрічі з боржником, залучення контактної особи до процесу повернення простроченого боргу. В окремих випадках вимога дострокового погашення заборгованості
S_4	H-C	Телефонні дзвінки боржникам з вимогою дострокового погашення боргу. Залучення контактної особи боржника Судові справи. В окремих випадках передача кредитних справ у колекторське агентство
S_5	H	Передача/продаж (цесія) кредитних справ до колекторських агентств / інших кредитних закладів. В окремих випадках — списання як безнадійної заборгованості

Пріоритетність справ у третій групі варто визначати відповідно до рівня ризику. Більш «щільна» робота з такими боржниками може виявитись результативною.

Щодо четвертого сегменту, то тут варто визначитись, наскільки результативним може виявитись проведення робіт зі стягнення простроченої заборгованості. Тобто, чи не перевищать витрати на проведення роботи зі стягнення боргу повернених таким шляхом кредитних коштів. У випадку виявлення від'ємного фінансового результату рекомендується списати таку заборгованість як безнадійну. Співставлення витрат на стягнення з сумою боргу та

очікуваною сумою повернення є важливим етапом побудови стратегії з повернення прострочених платежів.

Від боргів, що сформували п'ятий сегмент, рекомендується позбутися (цесія, списання).

Висновки. У статті розроблено економіко-математичну модель колекторського скорингу з використанням нейро-нечітких технологій. Запропонована модель має ієрархічну структуру. Оцінювання ризику невиконання позичальниками кредитних зобов'язань здійснюється на основі як кількісних, так і якісних змінних щодо прострочених позик комерційного банку. З метою згортки кількісних змінних авторами використовувалось адитивне композиційне правило згортки [13], яке дозволяє сформувати базу нечітких знань без залучення експертної думки в умовах багатокритеріальності та відсутності бази порівняння для інтегральних змінних вищого рівня ієрархії.

Питання врахування якісних змінних було вирішено шляхом одночасного їхнього залучення до нейронної обробки у розрізі окремих проміжних інтегральних показників, у результаті чого було отримано автоматично побудовані бази знань. Такого типу згортка дозволяє врахувати всі необхідні змінні та побудувати базу нечітких знань без людського втручання. Для встановлення параметрів функцій належності використано підхід, що ґрунтується на використанні карт Кохонена для кластеризації змінних.

Одним із критеріїв оцінювання адекватності побудованої скорингової моделі є результати розрахунку матриць похибок квантування. Так, у процесі налаштування параметрів функцій належності така максимальна похибка не перевищувала значення 0,1, що є задовільним результатом.

Запропонований у статті підхід до побудови економіко-математичних моделей можна застосувати і для вирішення інших задач класифікації, причому не тільки у банківській діяльності. Разом з тим, впровадження у бізнес-процеси фінансових установ потужних моделей оцінювання кредитних ризиків на підґрунті нейро-нечітких технологій матиме позитивний вплив на фінансові результати від кредитної діяльності комерційних банків і сприятиме стабільності фінансової системи в цілому. При цьому варто взяти до уваги доцільність адаптації подібних моделей до оцінювання різних кредитних ризиків і проведення налаштування параметрів моделей на статистичних даних у кожному окремому банку.

Література

1. Камінський А. Б. Експертна модель кредитного скорингу позичальника банку [Текст] / А.Б. Камінський // Банківська справа. — 2006. — № 1. — С. 75—81.
2. Камінський А. Б. Скорингові технології в кредитному ризик-менеджменті [Текст] / А. Б. Камінський, К. К. Писанець // Бізнес Інформ. — 2012. — № 4. — С. 197—201.
3. Камінський А. Б. Нейромережеві технології в управлінні портфелем простроченої заборгованості [Текст] / А. Б. Камінський, В. О. Сікач // Міжвід. наук. зб. «Моделювання та інформаційні системи в економіці». — 2011. — Вип. 84. — С. 5—19.
4. Матвійчук А. В. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка : монографія [Текст] / А. В. Матвійчук. — К. : КНЕУ, 2011. — 439 с.
5. Міщенко В. І. Банківські операції: Підручник [Текст] / В. І. Міщенко, Н. Г. Слав'янська, О. Г. Коренева // 2-ге видання, перероблене та доповнене. — К.: Знання, 2007. — 796 с.
6. Мороз А. М. Кредитний менеджмент: Навч. посібник [Текст] / А. М. Мороз. — К.: КНЕУ, 2009. — 400 с.
7. Вовк В. Я. Кредитування і контроль: Навч. посібник [Текст] / В. Я. Вовк, О. В. Хмеленко. — К.: Знання, 2008. — 464 с.
8. Четыркин Е. М. Финансовые риски: научно-практическое пособие [Текст] / Е.М. Четыркин. — М.: Издательство «Дело» АНХ, 2008. — 176 с.
9. Мирошниченко Ю. В. Работа с просроченной задолженностью в условиях кризиса [Електронний ресурс] / Ю.В. Мирошниченко. — Банковский ритейл. — 2009. — №1. — Режим доступа: http://www.reglament.net/bank/retail/2009_1_article.htm
10. Ципривуз К. Эффективный коллекшен... [Електронний ресурс] / К. Ципривуз. — Режим доступа: <http://minfin.com.ua/blogs/tsiprivuz/11545/>.
11. Александров А. Ю. Управление портфелем проблемных кредитов коммерческого банка : Автореф. дис... канд. экон. наук: 08.00.10 «Финансы, денежное обращение и кредит» / СПбГУЭФ. — СПб., 2010. — 23 с.
12. Deboeck, G. Visual Explorations in Finance with Self-Organizing Maps. / G. Deboeck, T. Kohonen. — London: Springer-Verlag, 1998. — 316 p.
13. Великоіваненко Г. І. Комплекс економіко-математичних моделей оцінювання інвестиційної привабливості суб'єктів господарювання [Текст] / Г.І. Великоіваненко, К.М. Мамонова // Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. Науково-аналітичний журнал. — 2012. — № 1. — С. 65—96.

References

1. Kaminskyi, A. B. (2006). Ekspertna model kredytnoho skorynhu pozychalnyka banku. *Bankivska sprava (The banking)*, 1, 75—81 [in Ukrainian].
2. Kaminskyi, A. B., Pysanets, K. K. (2012). Skoryngovi tekhnolohii v kredytnomu ryzyk-menedzhmenti. *Biznes Inform (Inform business)*, 4, 197—201 [in Ukrainian].
3. Kaminskyi, A. B., Sikach, V. O. (2011). Neyromerezhevi tekhnolohii v upravlinni portfelem prostrochenoi zaborhovanosti. *Modeluvannia ta informatsiini tehnolohii v ekonomitsi (Modeling and information systems in the economy)*, 84, 5—19 [in Ukrainian].
4. Matviychuk, A. V. (2011). *Shtuchnyi intelekt v ekonomitsi: neironni merezhi, nechitka lohika*. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].
5. Mishchenko, V. I., Slavianska, N. H., Korenieva, O. H. (2007). *Bankivski operatsii*. Kyiv: Znannia [in Ukrainian].
6. Moroz, A. M. (2009). *Kredytnyi menedzhment*. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].
7. Vovk, V. Ya., Khmelenko, O. V. (2008). *Kredytuvannia I kontrol*. Kyiv: Znannia [in Ukrainian].
8. Chetyrkin, E. M. (2008). *Finansovyye riski*. Moskva: Izdatelstvo «Delo» [in Russian].
9. Miroshnichenko, Yu. V. (2009). Rabota s prosrochenoi zadolzhennostu v usloviakh krizisa. *REGLAMENT.net*. Bankovskii riteil (Retail of bank), 1. Retrieved May 12, 2014, from http://www.reglament.net/bank/retail/2009_1_article.htm [in Russian].
10. Tsyprivuz, K. Efektivnyi kollekshen. *MINFIN.com.ua*. Retrieved April 23, 2014, from <http://minfin.com.ua/blogs/tsyprivuz/11545/> [in Russian].
11. Aleksandrov, A. Yu. (2010). *Upravlenie portfelem problemnykh kreditov kommercheskogo banka*. SPb. [in Russian].
12. Deboeck, G., Kohonen T. (Eds.). (1998). *Visual Explorations in Finance with Self-Organizing Maps*. London: Springer-Verlag.
13. Velykoivanenko, H. I. Mamonova, K. M. (2012). Kompleks ekonomiko-matematychnykh modelei otsinuvannia investytsiinoi pryvablyvosti subiektiv hospodaruvannia. *Neiro-nechitki tekhnologii modeluvannia v ekonomitsi (Neuro-Fuzzy Modeling Techniques in Economics)*, 1, 65—96 [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 17.01.2014

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ФІНАНСОВОЇ СТІЙКОСТІ БАНКІВСЬКОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ КАРТ КОХОНЕНА

О. П. Заруцька

Канд. екон. наук,
начальник відділу банківського нагляду

Управління Національного банку України в Дніпропетровській області
вул. Леніна, 13, м. Дніпропетровськ, 49000, Україна
Helenzar@yandex.ru

У системі банківського нагляду важливе місце займає аналіз фінансового стану банків та ефективності систем управління ризиками. Для забезпечення адекватного контролю за діяльністю банків необхідне використання інструментарію, адаптованого до структури та профілю ризиків конкретних етапів розвитку системи та окремих структурно-функціональних груп банків. Відповідно, стаття присвячена розробці практичного інструментарію організації нагляду в Україні в умовах переходу від мікро- до макропруденційного банківського нагляду. Метою роботи стала розробка підходів до формування системи медіопруденційного нагляду, формування структурно-функціональних груп банків як однорідних сукупностей банків, формалізація їх ідентифікаційних характеристик, розробка підходів до ранньої діагностики фінансової стійкості банків, диференціація підходів банківського нагляду залежно від груп банків. Предметом дослідження є теоретико-методологічні засади та практичний інструментарій реформування системи банківського нагляду в Україні на засадах структурно-функціонального аналізу. Автором вперше запропоновано використання диференційованого підходу до окремих структурно-функціональних груп банків і динамічного моделювання фінансового стану банків з використанням карт Кохонена. Наукова новизна даного підходу пов'язана із переходом від групування банків за розмірами активів до методу групування за структурно-функціональними характеристиками. Це дозволяє спрямувати ресурси банківського нагляду до сфер підвищених ризиків. Значення фінансових показників кожного банку отримують нову якісну оцінку з огляду на його місце у мінливій системі показників банківської системи.

Ключові слова. *Банківський нагляд, фінансові показники банків, профіль ризиків, карта Кохонена.*

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРТ КОХОНЕНА

Е. П. Заруцкая

Канд. экон. наук,
начальник отдела банковского надзора

Управление Национального банка Украины в Днепропетровской области
ул. Ленина, 13, г. Днепропетровск, 49000, Украина

Helenzar@yandex.ru

В системе банковского надзора важное место занимает анализ финансового состояния банков и эффективности систем управления рисками. С целью организации адекватного контроля за деятельностью банков необходимо использование инструментария, адаптированного к структуре и профилю рисков конкретных этапов развития системы и отдельных структурно-функциональных групп банков. Соответственно, статья посвящена разработке практического инструментария организации надзора в Украине в условиях перехода от микро- к макропруденциальному банковскому надзору. Целью работы стала разработка подходов к формированию системы медиопруденциального надзора, формирования структурно-функциональных групп банков как однородных совокупностей банков, формализация их идентификационных характеристик, разработка подходов к ранней диагностике финансовой устойчивости банков, дифференциация подходов банковского надзора в зависимости от групп банков. Предметом исследования является инструментарий реформирования системы банковского надзора в Украине с использованием структурно-функционального анализа. Автором впервые предложено использование дифференцированного подхода к отдельным структурно-функциональным группам банков и динамическое моделирование финансового состояния банков с использованием самоорганизующихся карт Кохонена. Научная новизна заключается в переходе от группировки банков по размерам активов к формированию структурно-функциональных групп. Это позволяет направлять ресурсы банковского надзора на сферы повышенных рисков. Значения финансовых показателей каждого банка получают новую качественную оценку в зависимости от его места в динамической системе показателей банковской системы.

Ключевые слова. *Банковский надзор, финансовые показатели банков, профиль рисков, карта Кохонена.*

THE STRUCTURE-FUNCTIONAL ANALYSIS OF THE FINANCIAL STABILITY OF THE BANKING SYSTEM WITH THE USE OF KOHONEN MAPS

Olena Zarutska

PhD (Economic Sciences),
Head of the Department of Banking Supervision

Office of the National Bank of Ukraine in Dnipropetrovsk region
13 Lenin street, Dnipropetrovsk, 49000, Ukraine

Helenzar@yandex.ru

The financial analysis of banks and risk management systems' effectiveness takes significant place in the system of banking supervision. To ensure an adequate remote control of bank activity it is necessary to use the set of instruments adapted to the structure and profile of risks at certain stages of system developing and separate structural and functional banks groups. The article is dedicated to the elaboration of the theoretical and methodological principles and practical tools of organization of the supervision in Ukraine in the transition conditions from micro to macroprudential bank supervision. The purpose of the article is developing approaches to the forming of medioprudential supervision system, picking out homogeneous structural and functional groups of banks as the objects for supervision, elaborated criterion basis for the picking up groups of banks, formalized their identifiable characteristics, suggested approaches to the early diagnostics of the banks financial stability loss threats, supervision activities differentiation according to the specification of the groups of banks. The subject of this study is toolkit reform of banking supervision in Ukraine using structural and functional analysis. Author proposed a differentiated approach to individual structural and functional bank groups and dynamic modeling of banks financial condition with the help of Kohonen self-organizing map. Scientific novelty of this approach is to move from a technique grouping banks on the sizes of assets to grouping them in structural and functional characteristics. This allows you to direct the resources of banking supervision on high-risk areas. Financial indicators of a certain bank obtain a new qualitative assessment, taking into account his place in a variable system of banking system indicators.

Keywords. *Banking supervision, financial bank indicators, risks profile, Kohonen self-organizing map.*

JEL Classification: C 45, G 21

Постановка проблеми

Головним завданням банківського нагляду є забезпечення фінансової стійкості банківської системи шляхом контролю та управління її фінансовим станом на основі адекватної оцінки стійкості як самої системи, так і банків, що входять до її складу. Проблема полягає у виявленні сфер підвищених ризиків для забезпечення раннього реагування та виборі адекватних заходів впливу до банків із врахуванням фактичного рівня фінансової стійкості та ступеня толерантності керівництва банків до ризиків.

Методологічний апарат банківського нагляду має забезпечити превентивне реагування на найбільші ризики у діяльності конкретних банків, оцінювати ефективність їх внутрішніх систем управління ризиками та моделювати можливі наслідки вибраних банками стратегій управління. Сфера управління ризиками знаходиться на перетині інтересів банків, їх клієнтів і банківського нагляду і тому виступає центральним об'єктом регулювання банківської діяльності.

Сучасні умови розширення зв'язків між банками, дифузії банківських ризиків та обмежені ресурси банківського нагляду потребують вдосконалення традиційного інструментарію, переходу від універсальних методик оцінки фінансової стійкості банків до диференційованих підходів до конкретних груп банків залежно від їх профілю ризиків, переліку основних операцій, джерел отримання прибутку, структури основних статей балансу, особливостей клієнтської бази тощо.

Слід враховувати, що банківська система України складається із великої кількості банків, які значно відрізняються за масштабами і профілем ризиків. На наш погляд, у таких умовах доцільним є впровадження у системі банківського нагляду методів виокремлення однорідних груп банків та застосування до них типізованих процедур контролю, аналізу ризиків і реагування [2, 6].

Аналіз існуючих підходів та останніх досліджень

Провідну роль у розробці теоретико-методологічних положень нагляду відіграють директивні документи Базельського комітету з банківського нагляду, якими визначені основні принципи регулювання банківської сфери та оцінки ризиків банків. Завдання вітчизняного банківського нагляду полягає у трансфор-

мації міжнародних підходів до конкретних умов і суверенних ризиків, забезпеченні адекватної оцінки фінансової стійкості банків і обґрунтоване та своєчасне втручання при встановленні підвищених ризиків [1, 3, 8].

Узагальнення сучасних тенденцій розвитку наглядової практики в різних країнах світу протягом останнього десятиріччя свідчить про перенесення акцентів з мікропруденційного банківського нагляду, орієнтованого на захист інтересів вкладників і кредиторів усіх без виключення банків шляхом моніторингу за внутрішньобанківськими ризиками, до макропруденційного нагляду, який спрямовується на забезпечення фінансової стійкості банківської системи в цілому за рахунок моніторингу переважно за великими системними банками, що мають найбільший вплив на загальний фінансовий стан [9].

У той же час, враховуючи специфіку вітчизняної банківської системи, де найбільші 15 банків із 178 концентрують 72,6 % активів, перехід до макропруденційного нагляду має відбуватися поступово, шляхом спрямування нагляду на групи однорідних банків, а не лише на великі системні банки. На нашу думку, необхідно контролювати та виявляти зони підвищених ризиків у межах груп банків із різним обсягом активів, оскільки одночасна втрата їх стійкості може призвести до негативних соціально-політичних наслідків.

З метою забезпечення фінансової стійкості банківської системи, оптимізації ресурсів нагляду та раннього реагування на підвищені ризики нами запропонована концепція медіопруденційного банківського нагляду, що складається із трьох основних елементів: агрегованого нагляду на рівні банківської системи, компаративного нагляду за однорідними структурно-функціональними групами та специфікованого нагляду за окремими банками.

Проблематика оцінки фінансової стійкості банків є предметом дослідження багатьох вітчизняних та іноземних вчених. Фінансова стійкість і її зміст у діяльності банку розкриваються через основні показники, серед яких виділяють обсяг і структуру власних коштів, рівень дохідності і прибутковості, дотримання встановлених показників ліквідності, платоспроможності, концентрації активів і пасивів, обсяг створених резервів під кредитні ризики, ліміти валютної позиції та інші. Метою збалансованого та стійкого розвитку банку є забезпечення прийняттого рівня надійності, що виражається в достатньому рівні капіталу та обґрунтованому

розподілі активів за групами ризику та формуванні достатніх резервів, ліквідності, що проявляється в управлінні активами і пасивами, рентабельності, толерантному управлінні системою банківських ризиків тощо [7].

Порівняльні дослідження фінансової стійкості банків свідчать про наявність у більшості з них стійких структурно-функціональних відхилень від рівноважного розподілу основних агрегатів активів і пасивів, доходів і витрат. Фінансово стійкими, на наш погляд, можна вважати лише банки із контрольованим рівнем основних видів ризиків і збалансованою структурою балансу. Навіть якщо функціональна спеціалізація, що супроводжується відповідним структурним дисбалансом, забезпечує банку певні тимчасові переваги, її наслідком обов'язково є підвищення вразливості банку до впливу негативних зовнішніх чинників, нездатність до динамічної адаптації до трансформаційних змін на ринку. Даний висновок підтверджений значною кількістю банків, що втратили фінансову стійкість під час фінансово-економічної кризи 2008—2009 років.

З метою контролю за рівнем відхилення від рівноважного, усередненого розподілу основних агрегатів, запропоновано введення додаткового виду банківських ризиків — ризику незбалансованих відхилень, що характеризує можливі втрати доходів або капіталу, пов'язані із незбалансованим співвідношенням активів і пасивів (за строками, процентними ставками, напрямками та видами операцій), основних джерел прибутку банку, а також інших характеристик його фінансової стійкості. Цей вид ризику інтегрує взаємозв'язок інших банківських ризиків, дозволяє врахувати їх сукупний вплив на стратегічну збалансованість розвитку банку, структурно-функціональну рівновагу основних параметрів його діяльності, стабільність положення на фінансовому ринку.

Дослідження структурно-функціональних характеристик банків і виокремлення однорідних груп доцільно проводити з використанням методики карт Кохонена, яка забезпечує одночасне врахування структурних характеристик банків і візуальне представлення великих масивів даних, що складаються із значної кількості параметрів (звітних показників окремих банків), об'єднаних у множину записів (дані усіх банків за кілька звітних періодів) [4].

Формування мети і завдання дослідження

Основою концепції медіопруденційного банківського нагляду, що спрямовується на управління фінансовою стійкістю банківської системи та окремих банків, складає процедура формування структурно-функціональних груп банків (СФГБ) — однорідних об'єктів за значеннями структурних показників, які характеризують складові основних агрегатів банківських активів, пасивів, доходів і витрат. Групування банків за структурними показниками, які розраховуються за даними оприлюдненої фінансової звітності і виступають зовнішніми характеристиками специфіки їх розвитку, сприяє виявленню їх внутрішніх, прихованих властивостей — функціональних ознак спеціалізації на ринку банківських послуг. Даний аспект розподілу банків практично не досліджується в системі банківського нагляду, хоча, на наш погляд, має суттєве значення для оцінки фінансової стійкості банківської системи.

При дослідженні банківських ризиків на основі формування СФГБ вивчається відхилення структурних характеристик відповідних банків від середніх значень банків збалансованої групи, що займає центральну частину карти Кохонена. Дослідження показали триваючу конфігурацію розташування груп на карті та структурно-функціональних характеристик кожної групи, що свідчить про об'єктивно існуючу нерівномірність самоорганізації відповідних банків. Завдання банківського нагляду полягає у типізації методичних підходів до СФГБ, виявленні банків із підвищеними ризиками, у тому числі, ризиком незбалансованих відхилень, застосуванні запобіжних заходів відновлення збалансованого розвитку.

Слід підкреслити, що коректне виокремлення груп банків, як об'єктів банківського нагляду, є надзвичайно важливою умовою обґрунтованого впровадження наглядових процедур, оскільки узагальнені середні фінансові показники групи визначають вибір інструментів, процедур і заходів для підтримання фінансової стійкості усіх банків, що входять до її складу. Існуючі підходи до групування банків за розміром активів не враховують їх якісних відмінностей і виконують лише технічну функцію розподілу об'єктів нагляду між центральним апаратом та регіональними управліннями Національного банку України. Виокремлення СФГБ з одночасним урахуванням усіх структурних показників забезпе-

чує всебічний аналіз профілю ризику банків та їх моніторинг у динаміці.

На основі аналізу карт Кохонена, побудованих послідовно на кварталні дати фінансових звітів банків [10], нами запропонована методика формування узагальненої схематичної СФГБ-карти, як моделі оцінки фінансової стійкості банківської системи, що демонструє взаємне розташування груп, характеристики їх розмірів і середні значення фінансових показників. За допомогою СФГБ-карти також здійснюється моделювання рівня фінансової стійкості кожного банку, траєкторії його переміщення між групами та оцінки зв'язку з цими групами.

Метод нейронних мереж, що самоорганізуються, забезпечує зручну візуалізацію розподілу банків, демонструє закономірності взаємного зв'язку СФГБ протягом тривалого часу, що дозволяє оцінювати особливості домінуючих структурно-функціональних характеристик і встановлювати обмежувальні показники банківського нагляду для кожної групи.

Система показників і граничних значень СФГБ створюють своєрідну систему координат, адаптовану під конкретний стан розвитку банківської системи та особливості фінансового стану окремих груп і банків. Це забезпечує обґрунтованість і прозорість заходів впливу щодо обмеження або зупинення окремих операцій, встановлення граничних показників і нормативів. Постійне співставлення властивостей цілої системи, окремих її сукупностей і елементів забезпечить оперативне виявлення змін та адекватне реагування на особливості профілю ризиків банків, що сприяє управлінню ризиками втрати фінансової стійкості банківської системи.

Запропонований підхід до оцінки фінансової стійкості банків з використанням нейронних мереж до групування банків дозволяє не лише проводити аналіз фактичного рівня фінансової стійкості, а й розробляти сценарії розвитку кожного з банків, визначати їх наслідки, прогнозувати місце банку на ринку банківських послуг, вивчати ступінь ризиків, притаманних його діяльності. При застосуванні таких заходів впливу, як обмеження або зупинення окремих операцій, розробка програм фінансового оздоровлення, письмових угод щодо покращення фінансового стану банків, з'являється можливість обґрунтування тих параметрів діяльності, що здатні забезпечити відновлення збалансованого розвитку банку. Впровадження підходів до виявлення, контролю та вимірювання структурного ризику дозволить розвивати диференційовані

інструменти банківського нагляду та спрямовувати ресурси на сфері підвищених ризиків.

Обґрунтування вибору структурних індикаторів для побудови СФГБ-карти

Ключовою вимогою для визначення критеріальної бази виокремлення груп банків є вибір найбільш значущих структурно-функціональних характеристик, що характеризують розподіл основних агрегатів активів і пасивів, джерела отримання прибутку, спеціалізацію на ринку банківських послуг, співвідношення основних видів банківських ризиків тощо.

Головна складова банківських активів — кредитно-інвестиційний портфель, який виступає джерелом процентних надходжень, що складають основу банківського прибутку. За структурними співвідношеннями частки кредитів і цінних паперів можна оцінити ключові елементи процентної політики, що полягає в управлінні обсягом операцій з розміщення ресурсів і рівнем їх доходності. Частка споживчих кредитів у портфелі надає додаткову якісну характеристику.

Важливою структурно-функціональною характеристикою балансу є питома вага кредитів міжбанківського ринку, що дозволяє виділити банки, які не мають розвинутого кредитно-депозитного портфелю і надають міжбанківські кредити з відносно низькою доходністю. Серед банків із високим розміщенням на міжбанківському ринку є такі, що забезпечують рівновагу активів і пасивів у розрізі валют за допомогою операцій СВОП — зустрічного розміщення і залучення ресурсів у різних валютах. У разі значних обсягів зустрічного міжбанківського кредитування для таких банків необхідний посилений нагляд за ризиком ліквідності та валютним ризиком.

Непроцентні високоліквідні активи банку є важливою компонентою активів, що забезпечує підтримку банківської ліквідності, здатність своєчасного проведення готівкових і безготівкових розрахунків з клієнтами. Їх оптимальний розмір визначається загальною структурою та якістю складових активів та пасивів. Для банків, які перебувають у структурно-функціональних групах підвищених високоліквідних активів, важливим є аналіз причин стійких відхилень та дослідження необхідних заходів щодо відновлення збалансованого розвитку. Наприклад, у посткризовому періоді значна частина українських банків має надлишкові висо-

коліквідні активи у зв'язку із обмеженим колом платоспроможних позичальників і невідповідністю між вартістю ресурсної бази та прийнятним для позичальників рівнем кредитних ставок. В умовах недостатнього розвитку кредитних операцій необхідний посилений нагляд за характеристиками короткострокових операцій та операційними ризиками банків.

Неробочі активи, які не створюють доходу та не підтримують ліквідність, також виступають необхідною складовою активів банку (основні засоби, нематеріальні активи, дебіторська заборгованість, проблемні непроцентні кредити, прийнята на баланс застава за кредитами тощо). Значні обсяги іммобілізації активів ускладнюють процес управління та призводять до необхідності підвищувати процентні ставки за працюючими активами. Для таких банків необхідні адекватні регуляторні заходи контролю за якістю активів, достатністю створених резервів під кредитні ризики.

Розподіл складових пасивів також містить характерні для кожної групи ознаки. У структурі зобов'язань більшості банків переважають процентні ресурси, залучені у клієнтів, хоча у деяких груп банків може бути суттєвою частка інших коштів, наприклад, кредиторська заборгованість, кошти сплаченого незареєстрованого статутного капіталу тощо. Структура ресурсної бази впливає на її вартість і опосередковано визначає доходність активів.

Аналіз динамічних рядів банківської звітності протягом 2006—2013 рр. показав, що рівень процентних ставок відіграє важливу роль у структурно-функціональній спеціалізації кожного банку, визначенні його місця на ринку банківських послуг. Процентна політика у значній мірі виділяє основні структурно-функціональні групи і відображає особливості їх профілю ризиків. Принцип структурної рівноваги розглядає узгоджену систему процентних ставок усіх банківських активів і зобов'язань, яка підпорядковується внутрішнім можливостям банку і зовнішнім вимогам з боку клієнтів.

Капітал банків також виступає джерелом розвитку активних операцій. Для малих банків із високим рівнем адекватності, частка капіталу є досить значною у структурі ресурсів, що надає деякі переваги для процентного управління.

При формуванні банківського прибутку поряд із основними його компонентами, процентними доходами та витратами, приймають участь інші статті доходів і витрат, серед яких великий обсяг, як правило, мають адміністративні та операційні витрати.

Останні роки головною витратною статтею банків є формування резервів під кредитні ризики.

Слід зазначити, що інформація про фінансовий стан банків, яка збирається засобами статистичної звітності в системі банківського нагляду, використовує більш деталізовані характеристики банківських операцій та ризиків, розкриває додаткові важливі аспекти, але ця інформація належить до розряду конфіденційної і не підлягає широкому розповсюдженню, на відміну від показників оприлюдненої фінансової звітності банків.

Автором опрацьовано дані оприлюдненої банківської звітності, що публікуються на сайті Національного банку України, за період з початку 2006 до 2014 року та виявлені закономірності розміщення СФГБ та їх характеристики. У зв'язку із розширенням формату представлення звітності у 2009 році, базовий період подальшого аналізу скорочено до трьох років — з початку 2009 до 2014 року, що дозволило розширити перелік структурних індикаторів та уточнити характеристики структурно-функціональних груп.

Сформована з використанням оприлюдненої звітності система критеріїв включає двадцять чотири показники, об'єднані у такі групи:

I Ефективність діяльності

1. ROA (рентабельність активів);
2. ROE (рентабельність капіталу);

II Адекватності капіталу

3. CA (відношення балансового капіталу до активів);

III Якість активів

4. AR (відношення резервів під кредитні ризики до активів);

IV Структура активів

5. SAF (частка роздрібних кредитів в активах);
6. SAU (частка корпоративних кредитів в активах);
7. SAM (частка міжбанківських кредитів в активах);
8. SAV (частка високоліквідних активів в активах);
9. SAC (частка цінних паперів в активах);

V Структура ресурсної бази

10. SPР (частка процентних зобов'язань у загальній сумі зобов'язань);
11. SPF (частка коштів домогосподарств у зобов'язаннях);
12. SPFP (частка коштів домогосподарств до запитання у зобов'язаннях);

13. SPU (частка коштів юридичних осіб у зобов'язаннях);
14. SPUP (частка коштів юридичних осіб до запитання у зобов'язаннях);
15. SPM (частка міжбанківських кредитів у зобов'язаннях);
- VI Параметри процентної політики*
16. PM (чиста процентна маржа);
17. PS (чистий процентний спред);
18. PD (доходність процентних активів);
19. PV (вартість процентних зобов'язань);
- VII Характеристики непроцентних джерел прибутку*
20. TDC (відношення торговельних доходів від продажу цінних паперів до активів);
21. TDV (відношення торговельних доходів від продажу іноземної валюти до активів);
22. KD (відношення чистих комісійних доходів до активів);
23. VA (відношення адміністративних витрат до активів);
24. VR (відношення витрат на формування резервів під кредитні ризики до активів).

Вибрана система критеріїв дозволяє провести порівняння головних структурних параметрів: рівня капіталізації, якості та складових активів, зобов'язань, особливостей процентної політики, управління доходами, витратами. Вона дозволяє групувати банки за характеристиками основних ризиків втрати фінансової стійкості, що є релевантними для здійснення наглядових процедур.

Найважливішими для контролю фінансової стабільності є підсумкові, якісні показники, а кількісні (структурні) визначають пропорції активів і пасивів, тобто спеціалізацію банку. Фінансові показники характеризують ринкову сферу, де формується прибуток, тобто доповнюють структурно-функціональну характеристику банку.

Показники рентабельності активів та капіталу часто мають деяку кореляцію, оскільки чисельником виступає один і той самий фінансовий результат. У той же час, доцільним є використання обох показників, що відокремлюють великі банки з високим рівнем ROE та помірною величиною ROA від малих із близькими значеннями обох показників.

Адекватність капіталу завжди характеризує рівень покриття банківських ризиків власними коштами, здатність акціонерів відшкодувати можливі збитки у процесі діяльності. Більший рівень капіталу свідчить про вищий захист фінансової стійкості. У

той же час, для вітчизняної банківської системи спостерігається й інша закономірність — зворотна залежність між рівнем адекватності капіталу та масштабом банку. Малі банки мають надлишковий рівень капіталу, оскільки не здатні забезпечити значного розвитку операцій і приросту активів. Обсяг власних коштів до залучених зобов'язань або розміщених активів завжди є значно більшим, ніж у великих системних банків.

Показник якості активів, що вимірюється як співвідношення розміру сформованих резервів до загальних активів, лише опосередковано відображає реальний стан активів, оскільки низький рівень резервів може бути наслідком невеликих робочих активів, що свідчить не про якість активів, а про їх нераціональну структуру. Однак, в умовах відсутності більш деталізованих даних про класифікацію банківських активів, використання даного показника надає максимально наближену до реальності картину щодо сукупного кредитного ризику.

При побудові системи розподілу банків на СФГБ випробувалися різні варіанти критеріїв. Аналіз показав, що методика нейронних мереж є чутливою до кількості критеріїв і набору значень: виключення з переліку навіть одного показника суттєво впливає на результат. Збільшення кількості показників нівелює різницю між їх вагою при оцінці фінансового стану банку.

Для побудови адекватної системи структурних індикаторів проведено порівняльний аналіз характеристик фінансової стійкості банківської системи з використанням СФГБ-карт та узагальнених фінансових характеристик за традиційними методиками на основі динамічних рядів значень цих показників. Отримані результати групування банків також узгоджуються із оцінками фінансової стійкості банків з використанням більш деталізованої інформації, що збирається в процесі банківського нагляду [6]. Таким чином, отримана система показників є релевантною для здійснення наглядових процедур.

Перелік структурних індикаторів може бути розширений та уточнений при виході за межі оприлюдненої звітності банків і використанні даних статистичної звітності банків, що використовуються банківським наглядом. У тому числі, важливу інформацію надає класифікація кредитів за групами ризику, їх концентрація, обсяг заборгованості за нарахованими несплаченими процентами, структура активів і пасивів у розрізі валют, геп-розриви за строками тощо.

Основні характеристики СФГБ-карти

Загальний вигляд карти Кохонена та схематичної СФГБ-карти станом на 1 січня 2014 року наведено на рис. 1. Для кожної карти Кохонена на послідовні кварталні дати виокремлюється 30 кластерів, позначені числами від більших за розміром до менших. При узагальненні даних за аналізований період на СФГБ-карті із кластерів сформовано одинадцять структурно-функціональних груп, однорідних за ключовими ознаками і відмінними від інших груп. Вибрана кількість кластерів забезпечує достатній спектр аналізу властивостей банків і систематизацію їх характеристик. Кількість груп визначається за результатом аналізу показників кластерів.

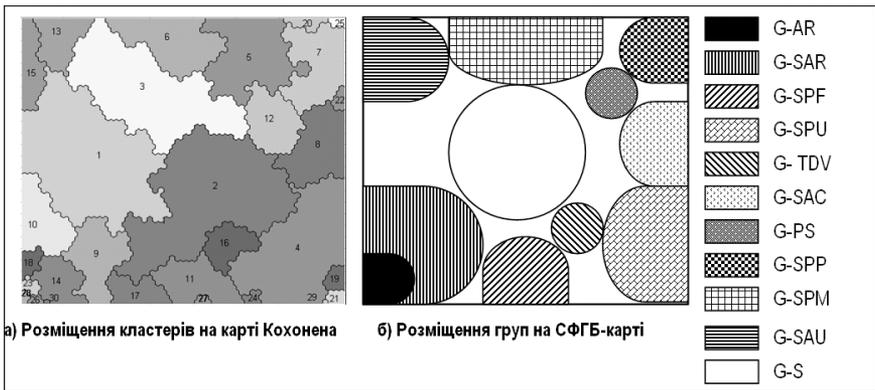


Рис. 1. Загальний вигляд карти Кохонена та СФГБ-карти на 01.01.14

Примітка. Авторська розробка

Кожна точка карти характеризує місцеположення кількох банків (від нуля до семи), розподіл яких за картою у цілому має рівномірну структуру. Географічна відстань між точками характеризує близькість показників відповідних банків. Найближчі характеристики мають банки однієї СФГБ, завдяки чому вони виступають деяким базовим об'єктом банківського нагляду. Траєкторія розвитку кожного банку — це ламана лінія, що поєднує точки розташування банку на карті на послідовні дати звітності і характеризує ступень зв'язку цього банку із групами, до яких він належить.

На відміну від більшості традиційних методів статистичного групування біля деякого одного базового показника, методика виокремлення СФГБ за допомогою нейронних мереж враховує одночасно всю сукупність показників, відібраних для аналізу, що визначає суттєву перевагу даного методу. Розподіл на однорідні групи проводиться без будь-яких суб'єктивних посилянь та обмежень, що можуть включати різні похибки.

Найбільша кількість банків розташована у центрі СФГБ-карти, належить найбільшій за розміром групі G-S і має найбільш збалансовані характеристики. Серед банків даної групи багато невеликих за розмірами, тому сукупні активи цих банків зазвичай займають меншу частку, ніж їх кількість у системі. Банки не мають суттєвих відмінностей у структурі активів, пасивів, доходів і витрат, рівень ризиків цих банків є помірним.

Слід враховувати, що не всі банки центральної групи мають однаково стійкий фінансовий стан, для оцінки якого потрібний ще аналіз траєкторії банку на карті за кілька звітних кварталів і підтвердження тривалого перебування у відповідній групі. Значна частина банків групи G-S карти під час кризи у 2009 році перейшла до інших, більш проблемних сегментів карти. У наступні роки спостерігався зворотній потік повернення до центру із повним відновленням їх кількісного складу та частки у активах.

Великі банки у структурі кожної групи є найінертнішими — вони довго утримуються від прояву негативних чинників, але й важко повертаються до попереднього статусу.

На границях СФГБ-карти, а особливо, у її кутах, знаходяться банки із відмінними, особливими рисами. Групи банків із протилежними властивостями мають відповідне «діагональне» розташування на найбільшій відстані одна від одної. Розташування СФГБ на карті характеризує закономірність розподілу значень структурних індикаторів та зв'язок між профілем ризику банків окремих груп. Назви груп утворюються від структурного індикатора, що має найбільший вплив на їх виокремлення.

На кожній карті знаходять відображення наступні групи:

— група G-AR — найпроблемніші банки, у крайньому куті до вому положенні якої знаходяться банки, що переходять до стадії ліквідації, в оточенні банків з найбільшими збитками, неякісними активами, підвищеними процентними ставками, відмінними від ринкових;

— група G-SAR — банки, що спеціалізуються на кредитуванні фізичних осіб і мають підвищену частку комісійних доходів у структурі прибутку та найбільшу частку адміністративних витрат. Дана група оточує групу проблемних банків, що характеризує підвищені ризики, низьку якість активів та рентабельність, підвищені процентні ставки тощо;

— група G-SPF — банки, що залучають значну частину ресурсів домогосподарств, у тому числі мають підвищену питому вагу поточних коштів фізичних осіб. Показник частки коштів фізичних осіб у зобов'язаннях є підвищеним і близьким за рівнем для значної кількості груп, розташованих на тому боці карти, де знаходяться проблемні банки. На відміну від частки поточних коштів фізичних осіб, показник частки коштів фізичних осіб у зобов'язаннях (строкових і поточних) не можна вважати класифікаційним при відокремленні СФГБ. Для порівняння варіантів розподілу різних показників, на рис. 2 наведено приклади: а) чітко проявного групування збиткових банків у невеликій групі G-AR за значенням показника ROA; б) розміщення на переважній частині карти тих банків, що мають підвищений, близький за значенням рівень показника SPF і в) приклад формування двох центрів концентрації показника SPU, який розглядається нижче. Група G-SPF сформована навколо максимального значення поточних ресурсів домогосподарств, природа яких дещо відрізняється від строкових депозитів. Часто такі ресурси приймають участь у коротких спекулятивних операціях банків і потребують підвищеного контролю з питань операційних ризиків. Слід зазначити, що частка коштів фізичних осіб у зобов'язаннях банків виступає об'єктом особливого контролю банківського нагляду через підвищений вплив фінансової стійкості таких банків на соціально-політичні процеси. Для ощадних банків встановлені підвищені економічні нормативи і особливі режими контролю діяльності;

— група G-SPU — банки, значну частину ресурсів яких складають кошти юридичних осіб, у першу чергу, до запитання. На рис. 2 наведено розподіл значення показника питомої ваги коштів юридичних осіб у зобов'язаннях банків. Цей вид ресурсу займає меншу частину у банківських зобов'язаннях, ніж кошти фізичних осіб, і на карті Кохонена сконцентрований біля двох центрів: у кількох кластерах, які поєднані у групу G-SPU, та в одному кластері на протилежній частині карти, де майже відсутні поточні

кошти юридичних осіб, але сконцентровані банки з високою часткою кредитів, наданих юридичним особам. Відповідна група G-SAU у цій частині карти сформована за концентрацією значення показника частки корпоративних кредитів у активах. Між профілем ризиків груп банків G-SPU та G-SAU існує суттєва відмінність, хоча до цих груп належать невеликі за розмірами кептивні банки, що залежать від діяльності бізнес-груп своїх акціонерів. Банки групи G-SPU мають дешеву ресурсну базу, високу частку цінних паперів у структурі активів і обмежені обсяги кредитування, тоді як для групи G-SAU характерним є дорожчі ресурси, обмежений рівень процентного спреду, підвищені кредитні ризики. Загальну оцінку профілю ризику кожної групи можна отримати лише за результатом аналізу значень усіх структурних індикаторів;

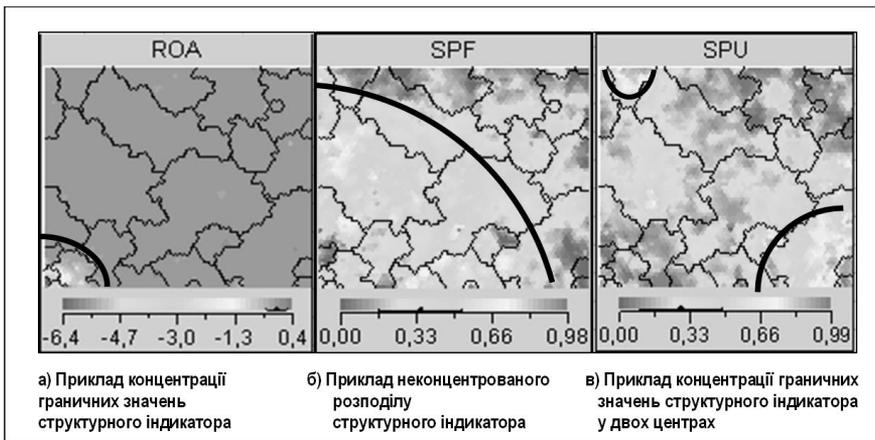


Рис. 2. Приклади розподілу окремих показників на карті Кохонена

Примітка. Авторська розробка

— група G-TDV — банки, що мають підвищений рівень доходів за операціями з іноземною валютою у структурі прибутку. Структурний індикатор TDV виступає чітким класифікаційним показником, біля максимального значення якого формується окремих кластер;

— група G-SAC — банки, що мають підвищену частку цінних паперів у активах і доходів від роботи з цінними паперами у

структурі прибутку. Дана група також значно відрізняється від інших банків за значеннями класифікаційних показників;

— група G-SPP — банки, що мають високу частку так званих «інших» непроцентних зобов'язань у структурі ресурсної бази. Банки даної групи належать до малих кептивних банків із суттєвими відмінностями і тому займають окремих кут СФГБ-карти, як і банки груп G-SPU та G-SAU. У зв'язку із обмеженими обсягами кредитування банки групи G-SPP мають незначні кредитні ризики. Ризики ліквідності також є контрольованими завдяки надлишковим високоліквідним активам. Дану групу можна розглядати як антипод проблемних банків, зосереджених на діагональній відстані на карті, хоча фінансовий стан таких банків є незбалансованим і нестійким, залежним від підтримки акціонерів, а операційні ризики групи G-SPP свідчать про необхідність посиленого контролю;

— група G-PS — невелика група банків, виокремлених за ознакою підвищеного неринкового рівня чистого процентного спреду і значних резервів за кредитними ризиками. Група формується навколо державного санаційного Родовід банку із значною зовнішньою ресурсною підтримкою та нестійким фінансовим станом;

— група G-SPM — банки, що залежать від міжбанківського ринку, серед яких можна виділити дві підгрупи: із значною часткою міжбанківських ресурсів у пасивах, але обмеженими активними міжбанківськими операціями (переважно банки з іноземними акціонерами), та банки із значними активними і пасивними міжбанківськими операціями (невеликі кептивні банки);

— група G-SAU — малі кептивні банки з високою часткою кредитів, наданих юридичним особам, яку за структурою ресурсної бази також можна розділити на дві підгрупи: які залучають більш дорогі ресурси домогосподарств і дешеві кошти юридичних осіб;

— група G-S — найбільш збалансовані банки, які розміщені у центрі карти та займають значну її частину — кластери за номером 1, 2, 3 на рис. 1. Зважаючи на великі розміри даної групи, слід враховувати неоднорідність її структури. Банки, що належать кластерам 1 і 2, залучають більш дорогі ресурси фізичних осіб, ніж міжбанківські зобов'язання, що переважають у структурі ресурсної бази банків кластера 3. Обсяги кредитування юридичних осіб переважають у банках 1 та 3 кластерів. Має місце част-

кове перенесення характеристик кластерів, що оточують центральну групу, на прилеглі території цієї групи.

Процес формування СФГБ-карти та виокремлення однорідних груп реалізований як стандартизована процедура аналізу карти Кохонена за даними звітності конкретного періоду шляхом оцінки зміни положення кожного банку та формування висновків щодо зміни фінансової стійкості СФГБ і банківської системи в цілому. Розподіл банків порівнюється із картою попереднього кварталу, на основі чого встановлюються ключові відмінності фінансового стану та причини зміни профілю ризиків системи та її елементів.

У процесі інтерпретації СФГБ-карти проводиться деяке узагальнення властивостей підгруп. Наприклад, збиткові банки із неякісними активами можуть дещо відрізнитися між собою за значеннями фінансових показників, але ще більше ці кластери відрізняються від інших банків системи. Найгірший фінансовий стан робить банки у групі порівняними між собою та відмінними від інших.

Обґрунтування специфічних особливостей СФГБ

Дослідження структури та характеристик СФГБ доцільно проводити на основі аналізу кількості банків у кожній групі та питомої ваги активів цих банків у сукупному обсязі активів системи. Таким чином більш повно виявляються сфери підвищених ризиків та їх вплив на загальну фінансову стійкість. Станом на початок 2014 року розподіл банків між СФГБ характеризується параметрами, наведеними у табл. 1.

Банки центральної групи G-S утворюють майже половину системи у кількісному вимірі та більше половини за обсягом активів. Зважаючи на великі розміри групи, слід враховувати її неоднорідність і необхідність окремого дослідження індивідуальних ризиків банків. Банки кластерів 1 і 2 залучають більше дорогих ресурсів фізичних та юридичних осіб, на відміну від міжбанківського ринку, на який орієнтовані банки 3 кластеру. При виборі напрямів розміщення активів, банки 1 та 3 кластеру надають перевагу кредитуванню юридичних осіб, тоді як у банків 2 кластеру є більшою частка цінних паперів. Роздрібне кредитування більш розвинуте у банків 1 кластеру. Такі структурно-функціональні особливості кластерів відповідають їх географічному положенню

на карті Кохонена. У той же час, при оцінці фінансової стійкості банків групи G-S важливо враховувати їх загальну внутрішню рівновагу, контрольований рівень ризику незбалансованих відхилень.

Таблиця 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗПОДІЛУ БАНКІВ НА СФГБ СТАНОМ НА 1.01.2014

№	СФГБ	Характеристика групи	Кількість банків	Частка у системі, %	Активи групи, млн грн	Частка у системі, %
1	G-S	збалансовані банки	79	44,9	696 935	56,6
2	G-SAC	перації з цінними паперами	19	10,8	245 655	19,9
3	G-SAR	роздрібне кредитування	9	5,1	108 732	8,8
4	G-SPM	залежні від міжбанківського ринку	10	5,7	49 837	4,0
5	G-SPP	безпроцентні ресурси	16	9,1	42 278	3,4
6	G-SPU	ресурси юридичних осіб	20	11,4	22 672	1,8
7	G-SPF	ресурси домогосподарств	8	4,5	44 177	3,6
8	G-SAU	корпоративне кредитування	13	7,4	10 381	0,8
9	G-PS	неякісні активи та високий спред	2	1,1	10 986	0,9
10	G-TDV	продаж валюти	—			
11	G-AR	проблемні банки	—			
Усього			176	100,0	1 231 653	100,0

Значну частину у розмірах активів займає група банків G-SAC, що мають велику частку цінних паперів у активах. До складу цих цінних паперів, у першу чергу, належать ОВДП, гарантовані державою. За міжнародними стандартами відповідні цінні папери вважаються низькоризиковими, але ризиковим для більшості банків даної групи є зростаюча концентрація таких активів, що обмежує їх розвиток. У сучасних умовах низької активності банківського кредитування дана СФГБ потребує посиленого контролю і застосування заходів диверсифікації активів.

Підвищені ризики притаманні групі банків роздрібного кредитування G-SAR. У зв'язку із неякісним кредитним портфелем, підвищеними процентними ставками та комісійними виплатами, низькою рентабельністю, банки даної групи знаходяться поруч із проблемними. Група G-SAR є однією з найчутливіших до зовнішніх шоків у зв'язку із концентрацією активів у відносно новому для кредитування та специфічному секторі економіки та неможливістю їх легкої диверсифікації. Частка банків групи G-SAR у сукупних активах перевищує їх частку у кількісному вимірі, що свідчить про наявність великих банків. За середнім розміром активів дана група суттєво відрізняється від групи G-SAU, кількість банків якої у півтори рази більше, але активи удесятеро менші, ніж у групі G-SAR.

Умовний розподіл СФГБ-карти за однією діагоналлю відділяє банки з високими процентними ставками за активами і пасивами, що зростають у напрямку до кута проблемних банків, де розташована група G-AR, від іншої половини карти — банків з низькими ставками, найменший рівень яких сконцентрований у групі G-SPP кептивних банків з непроцентними ресурсами. Основу дешевої ресурсної бази більшості банків утворюють міжбанківські кредити та інші кошти. Вартість ресурсів суттєво впливає на процентні ставки за кредитами та, опосередковано, на якість активів. Показник резервів під кредитними ризиками традиційно був вищим для банків відповідної частини карти протягом усіх років досліджень. Таким чином, процентна політика банків у значній мірі визначає особливості їх профілів ризиків і фінансової стійкості.

Значення показника доходності активів також має певні відмінності для банків різних груп. Так, банки центру більш адаптовані до ринку, а дорогі ресурси компенсують скороченням власного спреду. На відміну від них, банки підвищеного рівня ризику незбалансованих відхилень часто встановлюють неринкові показники ставок, що підвищує доходність і одночасно збільшує кредитні ризики. Для більшості кептивних банків, розташованих у кутах карти, притаманні неринкові параметри процентних ставок із відхиленням у більший або менший бік.

За наслідком аналізу динаміки показників, які приймали участь у виокремленні груп, і положення відповідних СФГБ на карті обґрунтовано, що взаємне розташування груп характеризує рівень ризику незбалансованих відхилень відповідних банків.

Даний вид ризику зростає у напрямку від центру до країв карти і є максимальним у її кутах. Найвищий рівень ризику відповідає банкам групи G-AR.

Слід зазначити, що розподіл банків станом на 1 січня 2014 року характеризував деякий переламний період, початок якісного переходу до формування нових пофілів ризиків банків. Саме тому у цей період до груп G-AR та G-TDV не потрапив жоден банк. У подальшому кількість банків у проблемних групах суттєво зросла.

Метод розподілу банків на СФГБ дозволяє отримувати додаткову інформацію про реальний стан і тенденції розвитку кожного окремого об'єкта через порівняння із відповідною групою і узагальнення аналогічних рис, отримання можливості врахування досвіду інших банків для визначення сфер підвищених ризиків. СФГБ відображає якісні особливості групи, ознаки проблемності, профіль ризику та перспективи розвитку.

Слід підкреслити, що висновки про фінансовий стан банків, отримані за традиційними методиками банківського нагляду, узгоджуються із результатами виокремлення СФГБ-груп. Наприклад, будь-який банк завжди змінює траєкторію на карті при застосуванні заходів впливу банківського нагляду або за суттєвих змін у системі менеджменту самого банку. Також встановлено, що банки із пов'язаними акціонерами, як правило, знаходяться в одній групі на невеликій відстані на карті. Запропонований методичний апарат забезпечує системний підхід до аналізу фінансового стану банківської системи, поєднує макроекономічний аспект аналізу та оцінку індивідуальних характеристик кожного банку на підставі класифікації об'єктів за структурними показниками та профілем ризиків шляхом географічного розміщення на СФГБ-карті.

Аналіз структури СФГБ-карт підтверджує стійку сегментованість вітчизняного ринку банківських послуг, хоча майже усі банки працюють за повним переліком операцій (крім одного санацийного Родовід банку). Спостерігається значна концентрація ринку, спеціалізація банків та однорідність реакції близьких за структурою банків на негативні зовнішні чинники.

Найбільші банки охоплюють широке коло клієнтів, розвивають і вдосконалюють перелік послуг, зберігаючи структурну специфіку балансів. На долю малих банків часто припадають окремі сегменти ринку, визначені стратегічними установками акціонерів, потребами клієнтської бази, іншими умовами діяльності. Зважаючи на велику кількість банків і різноманітність їх ха-

рактистик, принциповою задачею для регулятора є розвиток диференційованих підходів банківського нагляду та впровадження підходів медіопруденційного нагляду.

Як показав розподіл груп, значна кількість вітчизняних банків має невеликі активи і обслуговує, у першу чергу, бізнес, пов'язаний із мажоритарними акціонерами. Малі кептивні (кишенькові) банки легко виконують загальні економічні нормативи, а структурні характеристики балансу можуть швидко змінюватися під впливом однієї великої операції, що формує звітні показники. Зрозуміло, що профіль ризику таких кептивних банків суттєво відрізняється від класичних ризиків великих банків із розгалуженою мережею відділень і розвинутою клієнтською базою.

Термін «кептивний банк» у науковій літературі використовується у більш широкому значенні як дочірній банк великої промислової або фінансової корпорації [6]. З урахуванням особливості вітчизняного ринку, використання ознаки кептивного банку доцільно поширити на специфічні групи малих банків із переважним зосередженням операцій на розрахунках акціонерів і пов'язаних із ними формальних чи неформальних груп. Завдяки структурно-функціональним характеристикам такі банки проявляють особливий опосередкований тип реакції на ринкові ризики. З одного боку, через обмежене коло клієнтів чутливість до системних потрясінь може бути меншою, але слід враховувати, що ці банки відразу реагують на погіршення фінансового стану акціонерів. Зокрема, серед групи ліквідованих банків за наслідками останньої кризи немало представників саме кептивної групи.

Переважна кількість невеликих банків мало інтегрована у реалізацію державних програм розвитку інвестиційної діяльності. Функції та можливості таких банків значно обмежені, а параметри процентної, тарифної політики відображають специфіку операцій, що потребує врахування при виборі наглядових інструментів.

Окремого підходу вимагають також банки, що спрямували значну частину активів у споживче кредитування і тривалий час перебувають під високими ризиками відповідного структурного дисбалансу. Специфічними є умови діяльності великих банків з іноземними акціонерами, що залежать від ресурсної підтримки материнських компаній і також потребують адекватного інструментарію контролю з позицій банківського нагляду. За оцінками фахівців, для банків з іноземним капіталом потрібна модернізація підходів з посиленням регулятивного впливу за окремими напрям-

ками їх діяльності, забезпеченням захисту національних інтересів, узгодженням вимог іноземних акціонерів та вітчизняних споживачів банківських послуг [5].

Висновки і перспективи подальших досліджень

Формування структурно-функціональних груп банків на сучасному етапі розвитку банківської системи є однією із найважливіших умов обґрунтованого впровадження наглядових процедур, оскільки від типу та характеру сформованої групи залежить ступінь контролю за конкретним банком, глибина банківського нагляду і, як наслідок, достатність заходів для підтримання фінансової стійкості кожного банку і захисту банківської системи в цілому.

Для кожної групи повинні застосовуватися відповідні підходи із врахуванням специфічних структурно-функціональних характеристик банків. Відповідні методики аналізу фінансової стійкості банків мають бути достатньо чіткими, зрозумілими для керівників банків, розвинутими та обґрунтованими для коректної оцінки проблематики розвитку банків. У даному контексті трансформація нагляду полягає у синхронному розвитку підходів банківського ризик-менеджменту та наглядових органів, зближенні їх інструментарію, методів оцінки банківських ризиків і необхідних заходів із захисту фінансової стійкості банків.

Для запобігання втраті фінансової стійкості в умовах кризи банківському нагляду необхідне запровадження методик стрестестування та прогнозного моделювання, адаптованих до особливостей розподілу ринку із врахуванням можливих змін системи показників за різними сценаріями реалізації подій. Таке прогнозування розвитку є дуже важливим для вибору адекватних заходів впливу в системі банківського нагляду. Затвердження програми фінансового оздоровлення, покращення фінансового стану або капіталізації банку має спрямовуватися на оптимальну траєкторію відновлення фінансової стійкості.

Диференційований підхід до банківського нагляду на основі побудови трьохрівневої системи банківського нагляду забезпечує виявлення зв'язку і місця кожної частини у загальному розвитку даної системи, оцінку найбільших загроз та опрацювання шляхів запобігання та управління ризиками. Інструментарій аналізу та регуляторного впливу на структурно-функціональні групи банків має вдосконалюватися і розвиватися відповідно до сучасних між-

народних підходів та принципів. Запропонований підхід до виокремлення однорідних структурно-функціональних груп є переходом від статичних показників і загальних обмежень до групування подібних між собою об'єктів та застосування індивідуального підходу до оцінки фінансової стійкості банків за формалізованими процедурами, що враховують конкретний етап розвитку системи та специфіку банківських ризиків визначеного періоду.

Структурно-функціональний аналіз ризиків, які загрожують втраті фінансової стійкості банківської системи, має спиратися на дослідження її функціональних характеристик, здатності виконувати усі завдання, що визначаються конкретними умовами розвитку економічної системи країни. На нашу думку, саме диференційований за групами банків нагляд на основі ризиків забезпечить резистентність банківської системи, стійкість до зовнішніх і внутрішніх шоків. Для застосування відповідних підходів у національній банківській системі створено усі необхідні передумови.

Структурно-функціональний аналіз визначається у філософії як метод дослідження системних об'єктів, насамперед соціально-економічних систем, різних форм суспільного життя на основі виділення в них структурних складових і їх ролей (функцій) у системі. У рамках структурно-функціонального підходу в соціології вироблене правило дослідження будь-яких систем: для виявлення сутності деякого об'єкту потрібно проаналізувати основні його функції у ширшому контексті, а для цього потрібно шукати прямі і побічні наслідки, позитивні та негативні прояви.

У кібернетиці структурно-функціональний метод визначається як підхід до опису і пояснення системи, при якому досліджуються її елементи і залежності між ними в рамках єдиного цілого. Кожен елемент виконує визначені функції, що задовольняють потреби системи. Діяльність елементів системи програмується загальною структурною організацією, займаними ними позиціями і виконуваними ролями. Сутність структурно-функціонального методу полягає у розділенні складного об'єкта на складові частини, вивченні зв'язків між ними та визначенні притаманних їм специфічних функцій, спрямованих на задоволення відповідних потреб системи, управління з урахуванням цілісності останньої та її взаємодії із зовнішнім середовищем. Головна задача управління великими системами полягає у пошуку і реалізації управлінських впливів, які в умовах зовнішніх і внутрішніх збу-

рень зможуть забезпечити гомеостатичний стан функціонування і розвитку системи.

Системні дослідження показують, що визначальною умовою поведінки складних економічних систем є їх нерівномірна самоорганізація, функціональна стійкість в неврівноважених умовах. Якщо стан рівноваги є необхідною умовою стаціонарного існування управлінських систем, то неврівноважений стан являє собою істотний момент переходу в новий стан, в якому управлінська система набуває іншого рівня організації і продуктивності. Набуваючи в нових умовах функціонування стабілізуючого стану, управлінська система проходить свої врівноважені стани як проміжні етапи на траєкторіях неврівноваженої самоорганізації.

Впровадження методики медіопруденційного банківського нагляду на основі формування та дослідження однорідних структурно-функціональних груп забезпечить поглиблений економічний аналіз сутнісних характеристик цих груп, їх функціонального положення на ринку банківських послуг, виявлених та прихованих ризиків діяльності та перспектив розвитку. Такий підхід забезпечить превентивність та проактивність наглядових процедур.

Литература

1. Базельський комітет з питань банківського нагляду [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://bis.org/publ/bcbs107.pdf>.
2. Васильєва Т. А. Розвиток структурно-функціонального підходу до аналізу фінансової стійкості в системі банківського нагляду / Т. А. Васильєва, О. П. Заруцька // Вісник Національного банку України. — 2013. — № 10 (212). — С. 28—35.
3. Гамза В. А. Управление банковскими рисками: Базель-2: революция идеи и эволюция действий / В. А. Гамза, В. Н. Вяткин. — М. : Агрехимбанк, 2006. — 210 с.
4. Дебок Г. Анализ финансовых данных с помощью самоорганизующихся карт : пер. с англ. / Г. Дебок, Т. Кохонен ; Нац. фонд подготовки кадров. — М. : АЛЬПИНА, 2001. — 317 с.
5. Дзюблюк О. Розвиток банківського сектору в умовах деформації світового фінансового простору / О. Дзюблюк // Вісник Національного банку України. — 2011. — № 10. — С. 76—83.
6. Заруцька О. П. Банківський нагляд з використанням структурно-функціонального аналізу: теорія, світовий і вітчизняний досвід / О. П. Заруцька // Монографія. — Суми: ДВНЗ «УАБС НБУ», 2013. — 379 с.
7. Коваленко В. В. Антикризове управління в забезпеченні фінансової стійкості банківської системи : монографія / В. В. Коваленко, О. В. Крухмаль. — Суми : УАБС НБУ, 2007. — 198 с.

8. Методичні вказівки з інспектування банків «Система оцінки ризиків»: Схвалені Постановою Правління Національного банку України від 15.03.04 № 104.

9. Міщенко В. І. Методологічні засади запровадження макропруденційного регулювання та нагляду / В. І. Міщенко, Г. І. Крилова // Вісник Національного банку України. — 2011. — № 2. — С. 12—15.

10. Фінансова звітність банків України [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.bank.gov.ua/control/uk/publish/category?cat_id=64097.

References

1. Bazelskyi komitet z pytan bankivskoho nahliadu. *BIS.org*. Retrieved from <http://bis.org/publ/bcbs107.pdf> [In Ukrainian].

2. Vasyliieva, T. A., Zarutska, O. P. (2013). Rozvytok strukturno-funktsionalnoho pidkhodu do analizu finansovoi stiiikosti v systemi bankivskoho nahliadu. *Visnyk Natsionalnoho banku Ukrainy (Bulletin of the National Bank of Ukraine)*, 10 (212), 28—35 [In Ukrainian].

3. Gamza, V. A., Viatkin, V. N. (2006). *Upravleniye bankovskimi riskami: Bazel-2: revoliutsiia idey i evoliutsiia deystviy*. Moscow: Agrokhimbank [In Russian].

4. Deboeck, G., Kohonen T. (Eds.). (1998). *Visual Explorations in Finance with Self-Organizing Maps*. London: Springer-Verlag.

5. Dziubliuk, O. (2011). Rozvytok bankivskoho sektoru v umovakh deformatsii svitovoho finansovoho prostoru. *Visnyk Natsionalnoho banku Ukrainy (Bulletin of the National Bank of Ukraine)*, 10, 76—83. [In Ukrainian].

6. Zarutska, O. P. (2013). *Bankivskyi nahliad z vykorystanniam strukturno-funktsionalnoho analizu: teoriia, svitovyi i vitchyznianyi dosvid: Monohrafiia*. Sumy: DVNZ «UABS NBU» [In Ukrainian].

7. Kovalenko, V. V., Krukmal, O. V. (2007). *Antykryzove upravlinnia v zabezpechenni finansovoi stiiikosti bankivskoi systemy: Monohrafiia*. Sumy: UABS NBU [In Ukrainian].

8. Metodychni vkazivky z inspektuvannia bankiv “Systema otsinky ryzykyv”, *Postanova Pravlinnia Natsionalnoho banku Ukrainy vid 15.03.04 № 104* [In Ukrainian].

9. Mishchenko, V. I., Krylova, H. I. (2011). Metodolohichni zasady zaprovadzhennia makroprudentsiinoho rehuliuвання ta nahliadu. *Visnyk Natsionalnoho banku Ukrainy (Bulletin of the National Bank of Ukraine)*, 2, 12—15 [In Ukrainian].

10. Finansova zvitnist bankiv Ukrainy. *BANK.gov.ua*. Retrieved from http://www.bank.gov.ua/control/uk/publish/category?cat_id=64097 [In Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 08.02.2014

НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ФАЗ НА РИНКУ НЕРУХОМОСТІ

Н. К. Максишко

Д-р екон. наук, професор,
завідувач кафедри економічної кібернетики
ДВНЗ «Запорізький національний університет»
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна
maxishko@ukr.net

В. О. Шаповалова

Канд. екон. наук,
асисент кафедри економічної кібернетики
ДВНЗ «Запорізький національний університет»
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна
victoria2909@mail.ru

Ринок нерухомості як важливий сегмент фінансового ринку розглянуто з точки зору гіпотези когерентного ринку, яка поєднує нелінійну детерміністичну модель і статистичну динамічну модель, а її основне припущення полягає в тому, що в динаміці ринку присутні чотири фази: випадкового блукання, нестійкого переходу, хаотичного ринку та когерентного ринку. Інформаційну базу дослідження динаміки ринку становить статистична інформація щодо середньої ціни квадратного метру нерухомого майна на вторинному ринку житлової нерухомості, а також похідний від неї часовий ряд дохідностей. У статті розроблено метод ідентифікації фаз ринку нерухомості, що базується на використанні нечіткої моделі. Загальна схема методу складається з трьох блоків: I — містить нечітку модель ідентифікації фази ринку нерухомості (обумовлена високим рівнем невизначеності динаміки ціни на ринку, її властивостями нелінійності, нестационарності тощо); II — верифікація моделі на базі співставлення результатів ідентифікації з даними експертного оцінювання; III — призначений для навчання моделі (оптимізації параметрів функцій належності, на основі яких здійснюється класифікація). Для побудови моделі обґрунтовано вибір вхідних (пояснюючих) факторів моделі, який полягає у виділенні найбільш інформативних ознак для класифікації фаз. З цією метою проаналізовані властивості динаміки дохідності нерухомого майна у фазах когерентного ринку, сформовано вимоги до кількісних показників. У результаті обрано кількісні характеристики динаміки, що отримано із застосуванням статистичного й комплексного фрактального аналізу та характеризують природу часового ряду, оцінюють його

глибину пам'яті, локальну стійкість динаміки та наявність зсувів. Побудовано базу знань моделі. Застосування побудованої моделі дозволить провести якісний аналіз поточної ситуації на ринку нерухомого майна, надати рекомендації щодо вибору релевантного інструментарію прогнозування.

Ключові слова. *Ринок нерухомості, динаміка ціни, гіпотеза когерентного ринку, фаза випадкового блукання, фаза нестійкого переходу, фаза хаотичного ринку, фаза когерентності, нечітке моделювання, комплексний фрактальний аналіз.*

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФАЗ НА РЫНКЕ НЕДВИЖИМОСТИ

Н. К. Максишко

Д-р экон. наук, профессор,
заведующий кафедрой экономической кибернетики
ГВУЗ «Запорожский национальный университет»
ул. Жуковского, 66, г. Запорожье, 69600, Украина
maxishko@ukr.net

В. А. Шаповалова

Канд. экон. наук,
ассистент кафедры экономической кибернетики
ГВУЗ «Запорожский национальный университет»
ул. Жуковского, 66, г. Запорожье, 69600, Украина
victoria2909@mail.ru

Рынок недвижимости как важный сегмент рынка рассмотрен с точки зрения гипотезы когерентного рынка, которая объединяет нелинейную детерминистическую модель и статистическую динамическую модель, а ее основное предположение состоит в том, что в динамике рынке присутствуют четыре фазы: случайного блуждания, неустойчивого перехода, хаотичного рынка и когерентного рынка. Информационную базу исследования динамики рынка составляет статистическая информация о средней цене квадратного метра недвижимости на вторичном рынке жилой недвижимости, а также производный от нее временной ряд доходностей недвижимости. В статье разработан метод идентификации фаз рынка недвижимости, основанный на использовании нечеткой модели. Общая схема метода состоит из трех блоков: I — содержит нечеткую модель идентификации фазы рынка недвижимости (обусловлена высоким уровнем неопределенности динамики цены на рынке, ее свойствами нелинейности, нестационарности и т.п.); II — верификация модели на базе сопо-

ставления результатов идентификации данным экспертной оценки; III — предназначен для обучения модели (оптимизации параметров функций принадлежности, на основе которых осуществляется классификация). Для построения модели обоснован выбор входных (объясняющих) факторов модели, который заключается в выделении наиболее информативных признаков для классификации фаз. С этой целью проанализированы свойства динамики доходности недвижимости в фазах когерентного рынка, сформированы требования к количественным показателям. В результате избран количественные характеристики динамики, получено в результате применения статистического и комплексного фрактального анализа и характеризуют природу временно-го ряда, оценивают его глубину памяти, локальную устойчивость динамики и наличие оползней. Построена база знаний модели. Применение построенной модели позволит провести качественный анализ текущей ситуации на рынке недвижимого имущества, предоставить рекомендации по выбору релевантного инструментария прогнозирования.

Ключевые слова. Рынок недвижимости, динамика цены, гипотеза когерентного рынка, фаза случайного блуждания, фаза неустойчивого перехода, фаза хаотического рынка, фаза когерентности, нечеткое моделирование, комплексный фрактальный анализ.

THE FUZZY MODEL OF THE PHASE IDENTIFICATION ON THE REAL ESTATE MARKET

Nataliia Maksyshko

DSc (Economic Sciences), Professor,
Head of the Department of Economic Cybernetics

SHEE «Zaporizhzhya National University»
66 Zhukovsky Street, Zaporizhzhia, 69600, Ukraine

maxishko@ukr.net

Victoriia Shapovalova

PhD (Economic Sciences),
Assistant of Department of Economic Cybernetics

SHEE «Zaporizhzhya National University»
66 Zhukovsky Street, Zaporizhzhia, 69600, Ukraine

victoria2909@mail.ru

Real estate is considered as an important segment of the financial market in terms of the coherent market hypothesis, which combines the nonlinear deterministic model and statistical dynamic model and its basic assumption is that the dynamics of the market is divided into

four phases: random walk, unstable transition, chaotic market and coherent market. Information base for research is statistical information market dynamics on the average price per square meter of real estate in the secondary real estate market, as well as derivative yields a time series of prices. In this article a method for identifying the phases of real estate market, based on the use of fuzzy model. The general scheme of the method consists of three parts: I — contains fuzzy model identification phase of the real estate market (due to the high level of uncertainty in the market price dynamics and its properties of nonlinearity, nonstationarity, etc.); II — verification of the model based on the comparison of the results of the identification data of peer reviews; III — is designed to train the model (optimizing of parameters of membership functions, based on which is carried out the classification). To build a model of the choice of input (explanatory) factors model, which involves the separation of the most informative features for the classification phase. For this goal, the properties of the dynamics of return rates in the phases of the coherent market requirements regarding quantitative indicators were analysed. As a result, quantitative characteristics of dynamics were selected, which were obtained by the use of complex statistical and fractal analysis and characterize the nature of the time series, estimate the depth of its memory, the local dynamics of resistance and the presence of landslides. The knowledge base model is built. The application of the constructed model will allow to implement a qualitative analysis of the current situation in the real estate market, to provide guidance on the selection of relevant instruments prediction.

Keywords. *Real estate market, the dynamics of prices coherent hypothesis of market identification phase, the phase of the random walk, unstable transition phase, phase chaotic market, phase coherence, fuzzy modeling, complex fractal analysis.*

JEL Classification: C53, C59

Постановка проблеми

Однією з проблем, яка постає перед учасниками фінансових ринків, є невизначеність, в умовах якої відбувається прийняття рішень. Актуальною ця проблема є і для ринку нерухомості, який з одного боку є товарним ринком, але останнім часом виділяється як самостійний сегмент фінансового ринку [1]. На цьому ринку здійснюється великий обсяг операцій з продажу квартир, офісів, дач та ін. І при цьому нерухомість чим далі використовується як фінансовий інструмент.

Уже визнаним фактом є те, що процеси, які відбуваються на фінансових ринках під впливом як об'єктивних економічних

умов, так і суб'єктивних рішень учасників ринку, обумовлюють нелінійний характер динаміки ціни на ринку, кризові явища та, в результаті, високий ступінь непередбачуваності динаміки. Проблема прогнозування ринкової кон'юнктури та мінливості ринку обумовлює необхідність прийняття певного теоретичного базису на основі глибокого дослідження конкретного ринку з метою виявлення передумов застосування відповідного інструментарію. При цьому важливою проблемою є оцінювання та ідентифікація поточного стану ринку.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій

Проблемам організації, функціонування та регулювання ринку нерухомості присвячено праці українських вчених: А. Асаула, О. Гриценко, І. Балабанової, Ю. Манцевича, Я. Маркуса, А. Михайлова, В. Назирова, Б. Новікова, С. Чиркіна, С. Шуляка. Питання моделювання ціноутворення та дослідження динаміки ціни на нерухоме майно відображено у роботах В. Вороніна, Л. Воротиної, І. Геллера, С. Грибовського, В. Єлейко, І. Кривов'язюка, Н. Ордуєя, С. Сівця, Г. Стерніка, Дж. Фрідмана, Г. Харрісона. Методологія наведених досліджень базується на лінійній парадигмі. Проте, за умови підвищення складності процесів, що відбуваються на ринках, та пояснення їх особливостей на зміну останній прийшла нелінійна парадигма [2]. Дослідженню ринку нерухомості з точки зору нелінійної парадигми присвячено роботи [3—5].

У роботі авторів [3] ринок нерухомості України досліджено з точки зору різних концепцій фінансових ринків, які сформульовано у так званих «гіпотезах»: ефективного ринку (ЕМН), фрактального ринку (ФМН) та когерентного ринку (СМН). У результаті на основі аналізу динаміки середніх цін на житло, доходностей і ланцюгових індексів встановлено, що ринок нерухомості України підпорядковується гіпотезі СМН — когерентного ринку.

Розробці гіпотези когерентного ринку присвячено праці Т. Веґе, Е. Петерса [2]. На даний час увага до її застосування для аналізу економічних процесів зростає. Так, у роботі [6] гіпотезу когерентного ринку застосовано для дослідження властивостей і прогнозування поведінки фінансових ринків, у роботі [7] розглянуто перспективи використання гіпотези когерентного ринку для

успішної роботи трейдерів, портфельних менеджерів та інвесторів з урахуванням групової свідомості ринку, у [8] — з точки зору гіпотези когерентного ринку досліджено стан ринку енергоносіїв.

Ця гіпотеза (за [2]) поєднує нелінійну детерміністичну модель і статистичну динамічну модель, а її основне припущення полягає в тому, що в динаміці ринку присутні такі фази:

1) фаза випадкового блукання — змістовно відповідає ситуації, коли всі (у тому числі і представники різних груп) інвестори розгублені, приймають рішення випадковим чином, незважаючи на колективну думку (така ситуація, зазвичай, має місце безпосередньо під час рецесійних процесів, одразу після гострого спаду);

2) фаза нестійкого переходу — змістовно відповідає ситуації, коли поступово починає формуватися суспільна раціональна думка;

3) фаза хаотичного ринку — ринок складається з груп інвесторів з різними горизонтами (розширюється);

4) фаза когерентності — відповідає ситуації, коли відбувається поєднання надзвичайно сильних проявів суспільної свідомості та фундаментальних чинників, що виявляється в значних змінах тренду динаміки цін.

Кожна з цих фаз має характерні властивості, які можуть бути підтверджено кількісними характеристиками. Це дає підстави для постановки та вирішення задачі ідентифікації фаз когерентного ринку, зокрема, для ринку нерухомості.

Під ідентифікацією розуміють процес побудови моделей об'єктів, процесів, явищ за експериментальними даними [8]. Ідентифікація є невід'ємною частиною процесу адаптивного управління, яке дозволяє на основі налаштування моделей за даними реального функціонування систем виробляти відповідні управляючі дії [9]. З огляду на великий обсяг інформації (даних) щодо функціонування ринку нерухомості та притаманний їй високий ступінь невизначеності, завдання ідентифікації дозволяє вирішувати, зокрема, методологія інтелектуального аналізу даних (Data Mining). Одним з методів, що реалізує цю методологію, є нечітке моделювання. Застосування інструментарію нечіткого моделювання для розв'язку задач ідентифікації та класифікації знайшло відображення, зокрема, у роботах, присвячених аналізу

конкурентоспроможності підприємств [10], ризикам банкрутства підприємств [11, 12], аналізу інвестиційної привабливості проєктів [13].

Метою даної статті є розробка методу ідентифікації фаз ринку нерухомості з урахуванням гіпотези когерентного ринку із застосуванням інструментарію нечіткого моделювання.

Матеріали та результати досліджень

Інформаційну базу дослідження динаміки ринку нерухомого майна становить статистична інформація щодо середньої ціни квадратного метру нерухомого майна на вторинному ринку житлової нерухомості, яку надає Консалтингова компанія SV Development [14].

Введемо позначення для часових рядів (ЧР), які характеризують процеси, що відбуваються на ринку нерухомості:

$P = \langle p_t \rangle, t = \overline{1, n}$ — ЧР середньої ціни на нерухомість (\$/кв. метр);

$RP = \langle rp_t \rangle, rp_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} * 100, t = \overline{2, n}$ — ЧР дохідностей нерухомості (%).

Фази, в яких згідно гіпотези когерентного ринку може перебувати ринок нерухомості, позначимо $E_q, q = \overline{1, 4}$, де E_1 — фаза випадкового блукання, E_2 — фаза нестійкого переходу, E_3 — фаза хаотичного ринку, E_4 — фаза когерентності. Множину фаз позначимо $Q = \{E_q, q = \overline{1, 4}\}$.

Задача ідентифікації фаз ринку, представленого ЧР RP , полягає у розбитті вихідного ЧР RP на впорядковані підмножини (відрізки ЧР — позначимо їх $RP^q_i = [a_i, b_i]^q$), кожна з яких має порядковий номер i ($i = \overline{1, K}$) та відповідає деякій певній фазі E_q , в якій на цьому відрізку часу перебуває ринок. Тут K — означає кількість відрізків, на які розбивається ЧР RP , a_i — рівень ЧР RP , який є початком, а b_i — кінцем відрізка RP^q_i , $a_i, b_i \in RP$

та $\bigcap_{i=1}^K RP^q_i = \emptyset$.

Для розв'язання задачі ідентифікації необхідно для кожного моменту часу t встановити, до якої фази E_q (а також підмножини RP_i^q) належить рівень $rp_i \in RP$. Іншими словами, задача ідентифікації полягає у побудові гомоморфного відображення упорядкованої множини рівнів дохідності нерухомості (ЧР RP) у множину фаз $Q: RP \rightarrow Q$.

У результаті відображення отримаємо символічний (або лінгвістичний) ЧР $RP^Q = \langle E_{qt}, t = \overline{1, n-1}, E_{qt} \in Q \rangle$.

Зауважимо, що задача ідентифікації також тісно пов'язана з розпізнаванням образів — розділом теорії штучного інтелекту, що вивчає методи класифікації об'єктів. У межах теорії штучного інтелекту розпізнавання образів включається у більш широку наукову дисципліну — теорію машинного навчання, метою якої є розробка методів побудови алгоритмів, що здатні навчатися. Як і до розв'язання задачі ідентифікації, існує два підходи до навчання: індуктивне і дедуктивне [8]. Індуктивне навчання, або навчання за прецедентами, засноване на виявленні загальних властивостей об'єктів на підставі неповної інформації, отриманих емпіричним шляхом, зокрема, за допомогою експертів. Дедуктивне навчання передбачає формалізацію знань експертів у вигляді баз знань (експертних систем тощо).

Для розв'язання задачі ідентифікації фази ринку нерухомості поєднаємо ці два підходи та розробимо метод на основі нечіткої моделі, загальну схему якої представлено на рис. 1.

Загальна схема методу складається з трьох блоків:

блок I — містить нечітку модель ідентифікації фази ринку нерухомості (вибір якої обумовлений високим рівнем невизначеності динаміки ціни на ринку, що підтверджується такими її властивостями як нелінійність, нестационарність тощо);

блок II — вирішує завдання верифікації моделі на базі співставлення результатів ідентифікації з даними, що отримано попередньо на основі експертного оцінювання [3, 7];

блок III — призначений для навчання моделі за рахунок оптимізації параметрів функцій належності та, в подальшому, ваг бази знань.

Побудуємо нечітку модель, яка становить зміст блоку I і складається з таких етапів.

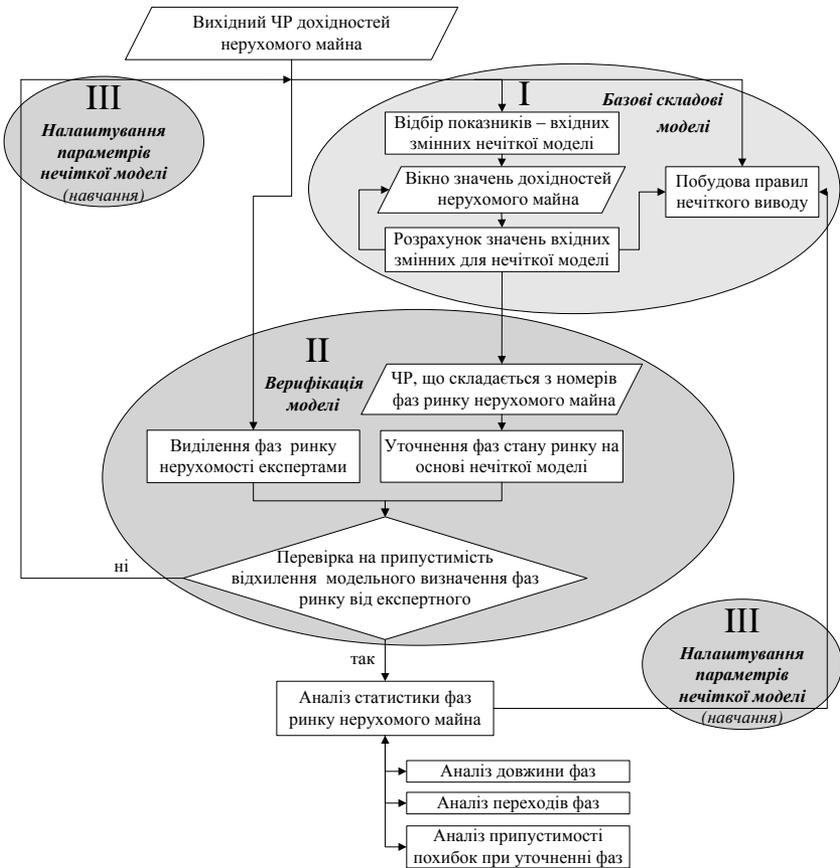


Рис. 1. Загальна схема побудови нечіткої моделі ідентифікації фази ринку нерухомого майна з урахуванням гіпотези когерентного ринку

Етап 1. Визначення змінних моделі

Визначення вхідних (пояснюючих) факторів моделі полягає у виділенні найбільш інформативних ознак для класифікації. Розглянемо властивості, які мають відображати вхідні змінні. Класифікації підлягають чотири фази ринку нерухомого майна $E_q, q = 1,4$. Їх якісні властивості та характеристики представимо у табл. 1.

Таблиця 1

**ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИНАМІКИ ЦІНИ
У ФАЗАХ КОГЕРЕНТНОГО РИНКУ**

Характеристика Фаза	Випадкове блукання (відсутня довготривала пам'ять у динаміці)	Випадковий процес (нестійкий перехід)	Фрактальний процес (наявна довготривала пам'ять у динаміці)	Фрактальний процес, що характеризується значним зсувом динаміки
	Стохастичний процес		Детермінований процес	
E_1	+	\mp	-	-
E_2	\pm	\pm	\mp	-
E_3	-	-	+	\mp
E_4	-	-	+	+

Таким чином, кількісні характеристики, що мають бути обраними як вхідні фактори моделі, повинні, по-перше, дати змогу відрізнити стохастичну природу динаміки від детермінованої; по-друге, відрізнити нестійкі процеси, які можуть виявлятися у ознаках наявності пам'яті у динаміці, але ще не набути ознаки довготривалості (мати незначну глибину); по-третє, виявити наявність суттєвих зсувів у динаміці.

З цією метою будемо використовувати систему кількісних характеристик динаміки, що отримано в результаті застосування статистичного й комплексного фрактального аналізу [15] та характеризують природу ЧР, оцінюють його глибину пам'яті, локальну стійкість динаміки та наявність зсувів. До таких показників можна віднести статистичні характеристики (точкові оцінки) динаміки ЧР RP і його нечітку глибину пам'яті. Остання (за [16, 17]) визначається як нечітке число

$$L(RP) = \{(l_i, \mu_L(l_i)); l_i \in L_0 \subset N\}, \mu_L : N \rightarrow [0;1],$$

де $L_0 = \text{supp } L(RP) = \{l_i \in N, i = 1, 2, \dots : \mu_L(l_i) > 0\}$ — носій нечіткої множини $L(RP)$;

$\mu_L(l_i) = \mu(l_i)$ — значення функції належності, що визначає ступінь можливості натурального числа l_i («глибини l_i ») належати до нечіткого числа «глибина пам'яті ЧР RP ».

Для оцінки властивостей фаз когерентного ринку в якості входних змінних моделі оберемо такі показники [15]:

1) показник Херста (H) — кількісна характеристика часового ряду, на основі якої можна зробити висновок про його природу (детерміновану або стохастичну), виявити наявність властивості персистентності (трендостійкості) або антиперсистентності (реверсування або частого повернення до середнього). Наближення значення показника Херста до одиниці, свідчить про детерміновану (фрактальну або когерентну) динаміку, що є характерною для фаз E_3 та E_4 . Наближення показника Херста до значення «0,5» свідчить про стохастичну природу динаміки (відповідає фазам E_1 та E_2);

2) значення натурального числа $l_i \in L_0$ («глибини l_i »), якому відповідає найбільше значення функції належності у нечіткій множині $L(RP)$ — позначимо його $l_{H3} : \mu(l_{H3}) = \max_{l_i \in L_0} \mu(l_i)$. Цей скалярний показник дає змогу оцінити стійкість і передбачуваність динаміки ЧР RP при прийнятті рішення про відокремлення, зокрема, фаз E_2 та E_3 й E_4 ;

3) показник інформаційної ентропії нечіткої множини глибини пам'яті ЧР $H_{entrop-L} = - \sum_{l_i \in L_0} \mu(l_i) \cdot \log_2 \mu(l_i)$, який відображає ступінь невизначеності щодо значення глибини пам'яті ЧР, що є також важливим для відокремлення фаз E_2 та E_3 й E_4 (чим більше потужність множини L_0 — носія нечіткого числа глибини пам'яті ЧР, тим більше різноманітність (а тому і невизначеність) можливої поведінки ЧР, що відповідає більшому значенню ентропії);

4) коефіцієнт асиметрії щільності розподілу рівнів ЧР (A). Якщо коефіцієнт асиметрії A наближається до нуля, це свідчить про переміщення ринку нерухомості у фазу E_1 випадкового блукання. Збільшення абсолютного значення показника асиметрії може слугувати індикатором посилення явища когерентності E_4 .

Таким чином, сумісне врахування цих показників може дати змогу відокремити фази когерентного ринку для ринку нерухо-

мости. Зазначимо, що саме деяка невизначеність у трактуванні значень цих показників і спонукає до використання саме нечіткої моделі ідентифікації фази ринку.

Необхідно зауважити, що всі наведені показники є характеристикою деякого ЧР (динаміки). Будемо вважати, що стан ринку в момент часу t може бути охарактеризовано на основі аналізу так званого «попереднього вікна», яке має ширину k (кількість рівнів) і закінчується на рівні $rp_t, t = \overline{k, n}$, ЧР RP , тобто для відрізка ЧР $\langle rp_{t-k+1}, rp_{t-k+2}, \dots, rp_{t-1}, rp_t \rangle$.

Ширину вікна k будемо обирати з урахуванням таких міркувань (за аналогією з [18]):

а) вікно повинно охоплювати більше, ніж 12 спостережень (кількість місяців одного року), для нівелювання сезонної складової часового ряду;

б) вікно повинно включати достатню кількість спостережень для аналізу. Ця вимога пов'язана з особливостями обчислення показника Херста на основі методу нормованого розмаху Херста (стандартного R/S -аналізу), проте визначення нечіткої глибини пам'яті ЧР на основі методу послідовного R/S -аналізу таких вимог не накладає.

Оберемо ширину попереднього вікна такою, що дорівнює 30 ($k = 30$). Цей термін становить два з половиною роки, тобто містить такий часовий проміжок, у межах якого може відбуватись структурне зрушення динаміки цін.

Визначення виділених вище показників для оцінки стану ринку в момент часу $t, t = \overline{k, n}$, полягає у обчисленні кожного з них для відповідного відрізка ЧР $\langle rp_{t-k+1}, rp_{t-k+2}, \dots, rp_{t-1}, rp_t \rangle$. У результаті отримаємо такі похідні для RP часові ряди:

$$H = \langle H_t, t = \overline{k, n} \rangle, \tag{1}$$

$$l_{нз} = \langle l_{нзt}, t = \overline{k, n} \rangle, \tag{2}$$

$$H_{entro_{p_L}} = \langle H_{entro_{p_L}t}, t = \overline{k, n} \rangle, \tag{3}$$

$$A = \langle A_t, t = \overline{k, n} \rangle \tag{4}$$

Таким чином, визначення вхідних змінних нечіткої моделі завершено.

При визначенні вихідної змінної зауважимо, що кожна з фаз відповідно до гіпотези когерентного ринку, яка поєднує нелінійну детерміністичну модель і статистичну динамічну модель, характеризується випадковою та детермінованою складовою. При переході від фази випадкового блукання до фази когерентності зростає детермінована складова, тобто більш вираженим є результат суспільної думки, а тому зростає «порядку» у діях інвесторів (агентів на ринку). Рівень цього «порядку» будемо визначати кількісно нормованою величиною, що змінюється від 0 (що відповідає повній відсутності порядку, тобто випадковому блуканню) до 1 (що відповідає повному порядку, тобто повністю детермінованому процесу). За таких умов, за вихідну оберемо нечітку змінну «рівень порядку на ринку», що опосередковано визначає належність рівня $rp_t \in RP$ до певної фази ринку. Введемо позначення, за аналогією з [13, с. 33]:

$$LOM(rp_t) = \{(E_q, \mu_{E_q}(rp_t)), q = \overline{1,4}\}, \quad (5)$$

де $E_q \in T^{LOM}$ — лінгвістичне значення змінної $LOM(rp_t)$,

T^{LOM} — терм-множина, $T^{LOM} = \{DH \equiv E_1, H \equiv E_2, C \equiv E_3, B \equiv E_4\}$.

Зміст терм-множини T^{LOM} визначається завданням виділення фаз на ринку нерухомості і їх зв'язком із рівнем «порядку» (тобто детермінованості) на ринку. Так, «дуже низький рівень» (DH) порядку на ринку відповідає фазі випадкового блукання; «низький рівень» (H) порядку — фазі нестійкого переходу; «середній рівень» (C) порядку відповідає фазі хаотичного ринку; «високий рівень» (B) порядку — фазі когерентності.

Перейдемо до процедури фазифікації, за якою визначимо вхідні показники як нечіткі змінні.

Етап 2. Визначення лінгвістичних значень вхідних змінних (критеріїв класифікації)

Для формування бази знань при побудові моделі на підґрунті нечіткої логіки скористаємося трьома термами для кожної змінної. Для оцінювання всіх показників $H, l_{H3}, H_{entrop_L}, A$, що характеризують стан ринку, сформуємо єдину шкалу з трьох якісних термів: H — низький рівень показника, C — середній рівень показника, B — високий рівень показника.

Етап 3. Побудова функцій належності змінних

Області визначення вхідних змінних визначаються діапазонами можливих значень відповідних показників:

$$0 \leq H \leq 1,$$

$$3 \leq l_{H3} < \infty,$$

$$0 \leq H_{entrop_L} < \infty,$$

$$-\infty < A < \infty.$$

Необхідність нечіткого опису, як зазначено вище, обумовлена невизначеністю щодо відповідності значень виділених показників певній фазі когерентного ринку. Проте, таку відповідність можна вказати для їх лінгвістичних значень. Детальну методику побудови функцій належності можна знайти в [10, 13, 19]. У даній роботі визначення виду функцій належності для вхідних змінних здійснено на основі прямих і непрямих методів: на основі аналізу гістограм розподілу значень відповідних показників для відрізків часового ряду $RP_i^q, i = \overline{1, K}, q = \overline{1, 4}$ та думки експертів. При виборі враховано, що трикутна функція належності дозволяє підкреслити досягнення максимального значення функції в одній точці змінної, а трапецієвидна функція — задавати ядро нечіткої множини у вигляді інтервалу. Обидві функції формуються з використанням кусково-лінійної апроксимації. До гладких функцій належності відносять квазідзвоноподібні функції належності [11, 20], які аналітично представляються функцією

$$\mu^T(X) = \frac{1}{1 + \left(\frac{X - b_T}{c_T} \right)^2},$$

де X – значення показника,

c_T – коефіцієнт концентрації-розтягування функції,

b_T — координата максимуму функції ($\mu(b_T) = 1$),

T – лінгвістичний терм із множини $\{H, C, B\}$. Значення функцій належності термів H та B усіх змінних за межами своїх максимумів b_T дорівнюють, як і в точках максимуму, одиниці.

Необхідно зауважити, що лінгвістична оцінка показника Херста з огляду на рівень порядку на ринку є симетричною відносно значення $H = 0,5$. Тому функцію належності для показника Херста будемо представляти в системі координат з абсцисою $|H - 0,5|$. Аналогічно, коефіцієнт асиметрії є симетричним відносно 0.

Параметри квазідзвоноподібних функцій належності для вхідних змінних (коефіцієнту асиметрії A , показника Херста H , значення глибини пам'яті, що зустрічається найчастіше для даного ЧР $RP l_{H3}$, показника інформаційної ентропії нечіткої множини глибини пам'яті H_{entrop_L}) представлено в табл. 2.

Таблиця 2

**ПАРАМЕТРИ КВАЗІДЗВОНОПОДІБНИХ ФУНКЦІЙ
НАЛЕЖНОСТІ ВХІДНИХ ЗМІННИХ**

Вхідна змінна	Лінгвістичне значення показника	Коефіцієнт концентрації-розтягування функції c_T	Координата максимуму функції b_T
Коефіцієнт асиметрії $|A|$	Низьке	0,8	0
	Середнє	0,8	2
	Високе	0,8	5
Відхилення показника Херста $|H - 0,5|$	Низьке	0,2	0
	Середнє	0,3	0,25
	Високе	0,3	0,5
Значення глибини пам'яті, що є найбільш можливим для даного ЧР $RP l_{H3}$	Низьке	1	3
	Середнє	1	5
	Високе	5	10
Показник інформаційної ентропії нечіткої множини глибини пам'яті H_{entrop_L}	Низьке	1,5	0
	Середнє	1,5	3
	Високе	0,8	5

Чим більше значення коефіцієнту концентрації-розтягування, тим більш пологий вигляд має функція належності. Низьке значення коефіцієнта концентрації-розтягування акцентує увагу на невеликому околі координати максимуму і притаманне вхідним змінним з невеликим розмахом (наприклад, показнику Херста).

Результат визначення функції належності для вхідних змінних із використанням прикладного програмного пакету Matlab представлено на рис. 2.

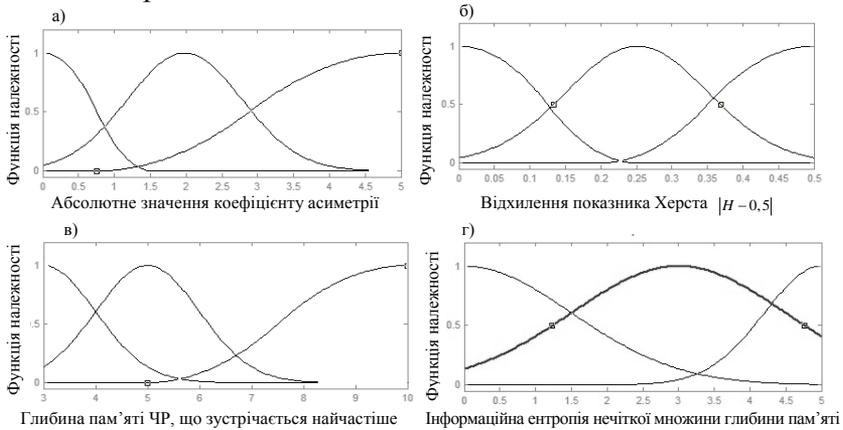


Рис. 2. Візуальне представлення функції належності вхідних змінних: а) абсолютного значення коефіцієнту асиметрії A ; б) показника Херста H ; в) глибини пам'яті ЧР I_{H3} ; г) інформаційної ентропії нечіткої множини глибини пам'яті ЧР $H_{entrop.L}$.

Для вихідної змінної на основі ретроспективного аналізу ЧР та експертних оцінок було обрано функції належності трапецієвидного та трикутного виду. Область визначення вихідної змінної «рівень порядку на ринку» — інтервал $[0; 1]$. Результат визначення нормальної функції належності для вихідної змінної «рівень порядку на ринку» представлено на рис. 3.

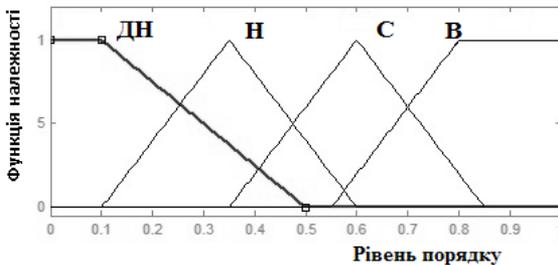


Рис. 3. Візуальне представлення функції належності вихідної змінної $LOM(rp_i)$ «рівень порядку на ринку»

Етап 4. Побудова нечіткої моделі ідентифікації стану ринку нерухомості типу Мамдані

Для отримання значення лінгвістичної змінної $LOM(rp_t)$, що опосередковано визначає фазу ринку нерухомості, застосуємо композиційне правило, запропоноване Л. Заде, яке формалізує нечіткий логічний висновок щодо різних значень показників (коефіцієнта асиметрії A , коефіцієнта Херста H , глибини пам'яті часового ряду l_{H3} , що зустрічається найчастіше, інформаційної ентропії нечіткої множини глибини пам'яті H_{entrop_L}). Для його застосування розробимо базу знань за принципом алгоритму Мамдані (табл. 3).

Виходячи з табл. 3, правило переходу до фази, наприклад, когерентності (відповідає значенню «високий рівень порядку»), можна сформулювати наступним чином:

Якщо (($A = \text{«Високе»}$) ТА ($H = \text{«Високе»}$) ТА ($l_{H3} = \text{«Високе»}$) ТА ($H_{entrop_L} = \text{«Високе»}$)) АБО (($A = \text{«Високе»}$) ТА ($H = \text{«Середнє»}$) ТА ($l_{H3} = \text{«Високе»}$) ТА ($H_{entrop_L} = \text{«Високе»}$)) АБО (($A = \text{«Високе»}$) ТА ($H = \text{«Високе»}$) ТА ($l_{H3} = \text{«Середнє»}$) ТА ($H_{entrop_L} = \text{«Високе»}$)) АБО (($A = \text{«Високе»}$) ТА ($H = \text{«Високе»}$) ТА ($l_{H3} = \text{«Середнє»}$) ТА ($H_{entrop_L} = \text{«Середнє»}$)) АБО (($A = \text{«Середнє»}$) ТА ($H = \text{«Високе»}$) ТА ($l_{H3} = \text{«Високе»}$) ТА ($H_{entrop_L} = \text{«Високе»}$)), ТО ($LOM(rp_t) = \text{«Високий»}$).

Аналогічним чином формулюються всі інші правила визначення належності рівня $rp_t \in RP$ до відповідних фаз ринку.

Етап 5. Прийняття рішення

Остаточне рішення моделі щодо визначення належності рівня $rp_t \in RP$ певній фазі E_q ринку нерухомого майна з урахуванням гіпотези когерентного ринку обирається таке, для якого функція належності вихідної змінної $LOM(rp_t)$ буде найбільшою для заданих значень вхідних показників $A, H, l_{H3}, H_{entrop_L}$:

$$LOM(rp_t) = E_q^* = \arg \max_{E_q \in Q} \{\mu_{E_q}(rp_t), q = \overline{1,4}\}.$$

Таблиця 3

ПРАВИЛА НЕЧІТКОГО ВИВОДУ ДЛЯ НЕЧІТКОЇ ЗМІННОЇ $LOM(rp_i)$ — «РІВЕНЬ ПОРЯДКУ НА РИНКУ»

№	Лінгвістичні значення показників				Лінгвістичне значення змінної $LOM(rp_i)$ — «рівень порядку на ринку»
	Коефіцієнт асиметрії A	Показник Херста H	Глибина пам'яті часового ряду I_{H3} , що зустрічається найчастіше	Показник інформаційної ентропії нечіткої множини глибини пам'яті $H_{entrop.L}$	
1	Високе	Високе	Високе	Високе	Високий
2	Низьке	Низьке	Низьке	Низьке	Дуже низький
3	Середнє	Середнє	Середнє	Середнє	Середній
4	Високе	Середнє	Високе	Високе	Високий
5	Високе	Високе	Середнє	Високе	Високий
6	Високе	Високе	Високе	Середнє	Високий
7	Середнє	Високе	Високе	Високе	Високий
8	Середнє	Низьке	Середнє	Середнє	Середній
9	Середнє	Середнє	Низьке	Середнє	Середній
10	Середнє	Середнє	Середнє	Низьке	Середній
11	Низьке	Середнє	Середнє	Середнє	Середній
12	Середнє	Високе	Середнє	Середнє	Середній
13	Середнє	Середнє	Високе	Середнє	Середній
14	Середнє	Середнє	Середнє	Високе	Середній
15	Високе	Середнє	Середнє	Середнє	Середній
16	Низьке	Середнє	Низьке	Середнє	Низький
17	Середнє	Низьке	Середнє	Низьке	Низький
18	Низьке	Низьке	Середнє	Середнє	Низький
19	Середнє	Середнє	Низьке	Низьке	Низький
20	Низьке	Високе	Низьке	Високе	Низький
21	Високе	Низьке	Високе	Низьке	Низький
22	Низьке	Низьке	Високе	Високе	Низький
23	Високе	Високе	Низьке	Низьке	Низький
24	Низьке	Низьке	Низьке	Середнє	Дуже низький
25	Низьке	Низьке	Середнє	Низьке	Дуже низький
26	Низьке	Середнє	Низьке	Низьке	Дуже низький
27	Середнє	Низьке	Низьке	Низьке	Дуже низький

Таким чином, результатом застосування побудованої моделі є лінгвістичний опис належності поточного стану ринку нерухомості до певної фази когерентного ринку $RP_i^{q'}, i = \overline{1, K}, q = \overline{1, 4}$. У результаті отримуємо лінгвістичний ЧР $RP^Q = \langle E_{q'}, t = \overline{1, n}, E_{q'} \in Q \rangle$.

Далі розглянемо блок II, який — вирішує завдання верифікації моделі на базі ретроспективного аналізу шляхом співставлення результатів ідентифікації з даними, що отримано попередньо на основі експертного оцінювання. Запропонована модель налаштовується на експертні знання, щоб прискорити процес аналізу часового ряду ціни на нерухоме майно, знизити вартість проведення подібних досліджень і зменшити можливі негативні прояви суб'єктивного оцінювання в подальшому.

Якщо назву фази E_q замінити на її номер $q = \overline{1, 4}$, то як результат нечіткої моделі отримаємо часовий ряд $RP^{Q'}$, що складається з номерів фаз ринку нерухомого майна, який можна представити як впорядковану множину підмножин: $RP^{Q'} = \bigcup_{i=1}^K RP_i^{q'} = \bigcup_{i=1}^K [a_i', b_i']^{q'}$, де i — номер інтервалу, a_i' — перший елемент впорядкованої підмножини (відривка $RP_i^{q'}$) із номерів q , b_i' — останній елемент підмножини $RP_i^{q'}$, K — кількість різних виділених підмножин, що відповідають різним фазам ринку. Далі з заданою похибкою δ уточнимо розбиття на ділянки відповідних фаз ринку нерухомого майна. Нехай $\delta = 10\%$. Тоді ділянкою $RP_i^{q'}$ відповідної фази E_q ринку нерухомого майна згідно гіпотези когерентного ринку будемо вважати сукупність рівнів, 90% яких належать до однієї і тієї ж фази E_q , оскільки статистична похибка моделі, що дорівнює 10%, вважається низькою [21].

Для порівняння результатів оцінювання фаз стану ринку нерухомості, отриманих за допомогою експертного методу та нечіткої моделі введемо критерії оцінювання якості моделі.

Позначимо: a_i^{ex} , b_i^{ex} — нижня та верхня границі ділянки, отриманої в результаті експертного оцінювання; a_i' , b_i' — нижня та верхня границі відповідної ділянки, отриманої в результаті застосування побудованої нечіткої моделі.

Похибку побудованої нечіткої моделі будемо оцінювати за формулою, аналогічної до стандартної середньої абсолютної похибки у відсотках:

$$MAPE = \frac{100}{K} \sum_{i=1}^K \left(\frac{|a_i^{ex} - a_i^i|}{a_i^{ex}} + \frac{|b_i^{ex} - b_i^i|}{b_i^{ex}} \right). \quad (6)$$

Якщо значення похибки *MAPE* буде меншою за задану похибку δ (наприклад, 10 %), нечітка модель буде визнана прийнятною для ідентифікації фази стану ринку нерухомого майна. Якщо *MAPE* буде перевищувати значення δ , то необхідно перейти до блоку **III** (навчання), в межах якого скорегувати параметри моделі, зокрема, коефіцієнти концентрації-розтягування та координати максимумів функцій належності вхідних змінних.

Можливою є ситуація, коли розподіл або межі фаз експертним шляхом і за допомогою моделі буде не співпадати. У цьому випадку необхідно провести налаштування моделі (за допомогою оптимізації параметрів функцій належності, на основі яких здійснюється класифікація).

У результаті застосування побудованої моделі до даних ЧР *RP* дохідності нерухомого майна у м. Києві за період з січня 1991 року по грудень 2013 року отримано значення похибки *MAPE* = 5,2 % (експертне визначення фаз стану ринку було подано в [3]). Отже модель ідентифікації фази ринку нерухомого майна з урахуванням гіпотези когерентного ринку є прийнятною.

На рис. 4 наведено графічне представлення ЧР *RP* дохідності нерухомості у м. Києві та похідні для нього ЧР значення показника Херста з попереднім вікном $k = 30$ (за період з січня 1991 року по грудень 2013 року) з виділенням фаз згідно гіпотези когерентного ринку на основі нечіткої моделі.

Етап 6. Аналіз статистики фаз і рекомендації щодо використання нечіткої моделі

Рекомендації з використання нечіткої моделі ідентифікації фаз ринку нерухомого майна з урахуванням гіпотези когерентного ринку можна сформулювати таким чином:

1. Метод прогнозування, релевантний до поточної фази ринку, обирається на основі ідентифікації фази. Для цього використовують кількість спостережень, що дорівнює довжині попереднього вікна, тобто 30 значенням динаміки ціни на нерухомість. Для

фаз випадкового блукання та нестійкого переходу є доцільним використання методів екстраполяції, а для фаз хаотичного ринку та когерентного ринку — методології прогнозування на базі дискретної нелінійної динаміки.

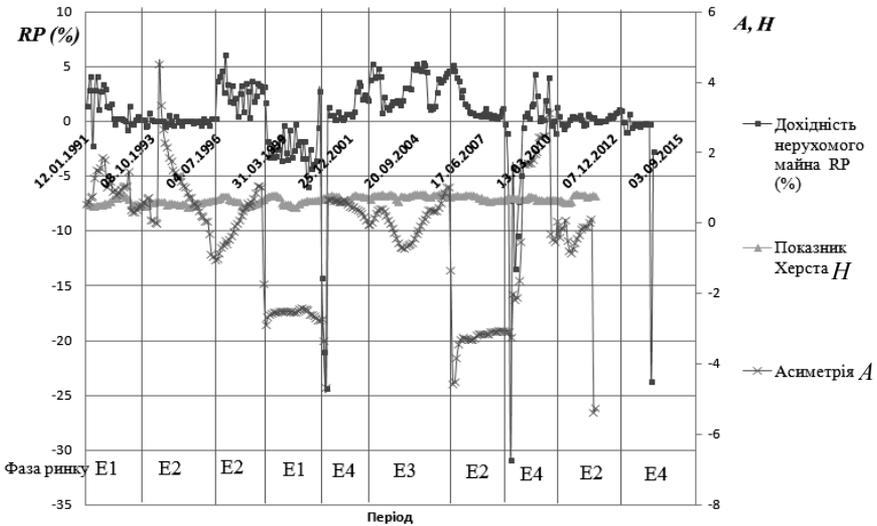


Рис. 4. Графічне представлення вихідного ЧР RP дохідності нерухомості у м. Києві та похідні для нього ЧР показника Херста та асиметрії

2. Аналіз статистики фаз дає змогу зробити припущення щодо тривалості фаз. Виявлено, що в середньому кожна з фаз продовжується близько двох років. Тому важливе значення має не тільки належність поточного спостереження до тієї чи іншої фази когерентного ринку, але й її початок. Якщо він мав місце менше, ніж два роки назад, то є підстави очікувати, що фаза може продовжуватися (не змінитися) за умови, природно, відсутності суттєвих змін у зовнішньому середовищі та внутрішніх умовах ринку.

3. Аналіз зміни фаз підтвердив результати [2], що перехід з однієї до іншої фази відбувається за такими правилами:

— фаза випадкового блукання може переходити у фазу нестійкого переходу або фазу когерентності;

— фаза нестійкого переходу може переходити у фазу випадкового блукання, фазу хаотичного (фрактального) ринку або фазу когерентності;

— фаза хаотичного (фрактального) ринку може переходити у фазу нестійкого переходу або фазу когерентності;

— фаза когерентності може переходити у будь-яку фазу.

Зважаючи на зв'язок між рівнем порядку (детермінованості) на ринку та відповідною фазою, загальне правило переходів фаз з однієї в іншу (чергування) можна сформулювати таким чином: кожна з фаз, окрім фази когерентності, може перейти у минулий чи наступний стан (при цьому, послідовність фаз є такою: випадкового блукання — нестійкого переходу — хаотичного (фрактального) ринку — когерентності). Фаза когерентності може спостерігатись після кожної з фаз і перейти у будь-яку, оскільки є проявом структурних зрушень у результаті дії фундаментальних факторів.

На основі проведеного дослідження була створена база знань (див. рис. 5) з переходів фаз одна в одну, що притаманна саме ринку нерухомості України. Визначення поточного стану ринку нерухомого майна на схемі відбувається як інтерпретація комбінацій чисельного кодування фази ринку та лінгвістичного комбінування значень вхідних змінних.

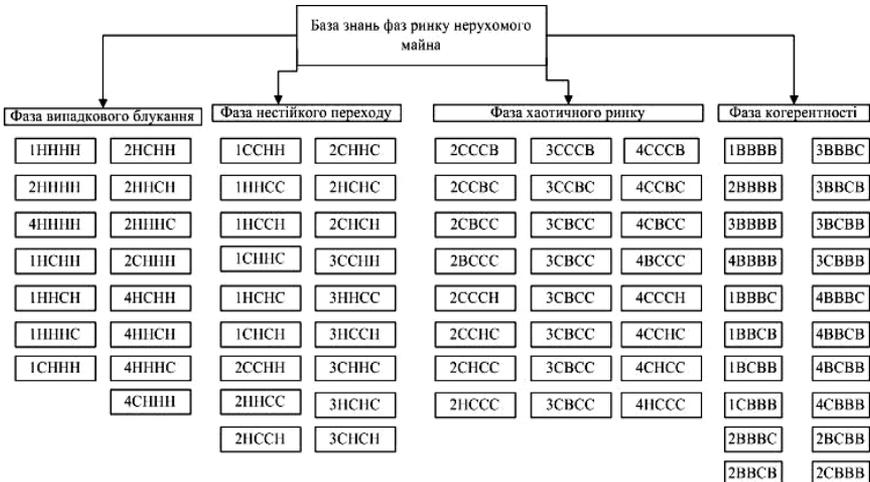


Рис. 5. База знань щодо переходів фаз ринку нерухомого майна

Наприклад, комбінація 1ННН означає, що у випадку, якщо попередньою фазою була фаза випадкового блукання («1»), а коефіцієнт асиметрії A , коефіцієнт Херста H , глибина пам'яті часового ряду I_{H3} , що зустрічається найчастіше, та інформаційна ентропія нечіткої множини глибини пам'яті приймають низьке значення («Н»), то наступною фазою буде також фаза випадкового блукання.

Висновки

У результаті досліджень побудовано нечітку модель діагностики стану ринку нерухомості шляхом ідентифікації фази когерентного ринку. Процедура верифікації виявила її достатню адекватність у порівнянні (за відсутністю на даний час інших даних) із результатами експертного оцінювання.

Застосування побудованої моделі дозволить провести якісний аналіз поточної ситуації на ринку нерухомого майна, оцінити можливість переходу ринку нерухомості у наступні фазу, надати рекомендації щодо вибору релевантного інструментарію прогнозування.

У зв'язку з тим, що на даний час налаштування параметрів нечіткої моделі ідентифікації фаз ринку здійснюється безпосередньо дослідником або користувачем, то перспективою подальших досліджень є розробка відповідних алгоритмів навчання.

Література

1. *Ходаківська В. П.* Ринок фінансових послуг: Навчальний посібник / В. П. Ходаківська, О. Д. Данілов. — Ірпінь : Академія ДПС України, 2001. — 501 с.
2. *Peters E.* Chaos and Order in the Capital Markets: A New View of Cycles, Prices, and Market Volatility/ Edgar E. Peters. — New-York : John Wiley and Sons, Inc, 1996. — 288 p.
3. *Шаповалова В. О.* Аналіз ринку нерухомості України з огляду теорій фінансового ринку / В. О. Шаповалова, Н. К. Максишко // Проблеми економіки. — Харків : Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України. — 2013. — № 3. — С. 31—39.
4. *Соловьев В. М.* Использование классических методов и методов нелинейной динамики для анализа рынка недвижимости Украины в контексте глобального финансово-экономического кризиса / В. М. Соловьев, И. О. Стратийчук // Социальные факторы устойчивого иннова-

ционного развития экономики : тез. докл. II Междунар. науч.-практ. конф. (г. Минск, 22—23 сент. 2010 г.). — Минск, 2010. — С. 156.

5. Шаповалова В. О. Передпрогнозный анализ динамики цены на рынке нерухоимости Украины / В. О. Шаповалова // Модели управління в ринковій економіці. — Донецьк : ТОВ «Цифрова типографія», 2012. — № 12. — С. 335—347.

6. Филатов Д. А. Применение нелинейной статистической модели Вега-Изинга для моделирования состояния финансовых рынков / Л. П. Яновский, Д. А. Филатов // Эконометрическое прогнозирование: модели и методы — 2005; Материалы Международной научно-практической конференции 29—30 апреля 2005 г.; в 2-х ч. — Воронеж: ВГУ, 2005. — Ч. 2. — С. 344—347.

7. Яновский Л. П. Анализ состояния финансовых рынков на основе методов нелинейной динамики / Л. П. Яновский, Д. А. Филатов // Финансы и кредит. — 2005. — № 32. — С. 2—9.

8. Чеверда С. С. Концепція моделювання поведінки цін на енергосії на базі інструментарію дискретної нелінійної динаміки / С. С. Чеверда // Вісник Запорізького національного університету : зб. наук. праць. Економічні науки. — 2012. — № 2 (14). — С. 62—69.

9. Цыпкин Я. З. Информационная теория идентификации / Я. З. Цыпкин. — М. : Наука, Физматлит, 1995. — 336 с.

10. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка : монографія / А. В. Матвійчук. — К. : КНЕУ, 2011. — 439 с.

11. Матвійчук А. В. Нечіткі, нейромережеві та дискримінантні моделі діагностування можливості банкрутства підприємств / А. В. Матвійчук // Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. Науково-аналітичний журнал. — К. : КНЕУ, 2013. — № 2. — С. 71—118.

12. Недосекин А. О. Комплексная оценка риска банкротства корпорации на основе нечетких описаний [Электронный ресурс] / А. О. Недосекин. — Режим доступа: <http://sedok.narod.ru/sc-group.htm>.

13. Чернов В. Г. Модели поддержки принятия решений в инвестиционной деятельности на основе аппарата нечетких множеств / В. Г. Чернов. — М. : Горячая линия — Телеком, 2007. — 312 с.

14. Консалтингова компанія SV Development [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://svdevelopment.com>.

15. Максишко Н. К. Оцінювання системних характеристик економічної динаміки на базі результатів комплексного фрактального аналізу / Н. К. Максишко // Вісник Запорізького національного університету : зб. наук. праць. Економічні науки. — 2011. — № 2 (10). — С. 119—130.

16. Максишко Н. К. Анализ и прогнозирование эволюции экономических систем : монография / Н. К. Максишко, В. А. Перепелица. — Запорожье : Полиграф, 2006. — 248 с.

17. Максишко Н. К. Моделювання економіки методами дискретної нелінійної динаміки : монографія / Н. К. Максишко; наук. ред. проф. В. О. Перепелица. — Запоріжжя : Поліграф, 2009. — 416 с.

18. Грицюк П. М. Комплексний аналіз сонячної активності / П. М. Грицюк // Штучний інтелект. — 2008. — № 1 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/ii/2008_1/Journal-AI_2008_1/Razdel2/00_gritsyuk.pdf.

19. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. — М. : Наука, 1986. — 312 с.

20. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. — Винница: Универсум-Винница, 1999. — 320 с.

21. Айвазян С. А. Прикладная статистика. Основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. — М. : ЮНИТИ, 2001. — 1002 с.

References

1. Hodakivska, V. P., Danilov, A. D. (2001). *Rinok finansovih poslug*. Irpin : STS Academy of Ukraine [in Ukrainian].

2. Peters, E. (1996). *Chaos and Order in the Capital Markets: A New View of Cycles, Prices, and Market Volatility*. New-York: John Wiley and Sons, Inc.

3. Shapovalova, V. O., Maksyshko, N. K. (2013). Analiz rynku neruhomosti Ukrainy z oghiadu teorii finansovogo rynku. *Problemy Ekonomiky (Problems of Economics)*, 3, 31—39 [in Ukrainian].

4. Solovyev, V., Stratiychuk, I. (2010). Ispolzovaniye klassicheskikh metodov i metodov nelineynoy dinamiki dlya analiza rynka nedvizhimosti. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Materials of International scientific conference) Minsk, 22—23 September 2010*, 156 [in Russian].

5. Shapovalova, V. O. (2012). Peredprognoznyi analiz dynamiki tsiny na rynku neruhomosti Ukrainy. *Modeli rinkovoi ekonomiki (Models of the market economy)*, 12, 335—347 [in Ukrainian].

6. Filatov, D. A., Yanovskiy, L. P. (2005). Primeneniye nelineynoy statisticheskoy modeli Vege-Izinga dlya modelirovaniya sostoyaniya finansovykh rynkov. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Materials of International scientific conference) Voronezh, 29—30 April 2005*, 2, 344—347 [in Russian].

7. Filatov, D. A., Yanovskiy, L. P. (2005). Analiz sostoyaniya finansovykh rynkov na osnove metodov nelineynoy dinamiki. *Finansy i kredit (The finance and credit)*, 32, 2—9 [in Russian].

8. Cheverda, S. S. (2012). Kontsepsiia modeliuвання povedinky tsin na energonossii na bazi instrumentariiu dyskretnoi neliniinoi dynamiky *Visnyk Zaporizkogo natsionalnogo universytetu: ekonomichni nauky (Bulletin of Zaporizhzhia National University: Economics)*, 2 (14), 62—69 [in Ukrainian].

9. Tsyppkin, J. S. (1995). *Informacionnaya teoriya identifikatsii*. Moscow : Nauka, Fizmatlit [in Russian].

10. Matviychuk, A. V. (2011). *Shtuchnyi intelekt v ekonomitsi: neironni merezhi, nechitka logika*. Kyiv : KNEU [in Ukrainian].
11. Matviychuk, A. V. (2013). Nechitki, neiromerezhevi ta dyskryminantni modeli diagnostuvannya mozhyvosti bankrutstva pidpriemstv. *Neiro-nechitki tekhnologii modeliuvannya v ekonomitsi (Neuro-Fuzzy Modeling Techniques in Economics)*, 2, 71—118 [in Ukrainian].
12. Nedosekyn A. (2014). Kompleksnaya otsenka bankrotstva korporatsii na osnove nechetkih opisaniy. Retrieved February 1, 2014, from <http://sedok.narod.ru/sc-group.htm> [in Russian].
13. Chernov, V. (2007). *Modeli podderzhki prinyatiya resheniy v investitsionnoy deyatelnosti na osnove apparata nechetkih mnozhestv*. Moscow : Goryachaya liniya — Telecom [in Russian].
14. Consaltingova kompaniia SV Development (2014). *svdevelopment.com*. Retrieved May 15, 2014, from <http://svdevelopment.com> [in Ukrainian].
15. Maksyshko, N. K. (2011). Otsiniuvannya systemnykh charakterystyk ekonomichnoi dynamiky na bazi rezultativ kompleksnogo fractalnogo analizu. *Visnyk Zaporizkogo natsionalnogo universytetu: ekonomichni nauky (Bulletin of Zaporizhzhia National University: Economics)*, 2 (10), 119—130 [in Ukrainian].
16. Maksyshko, N. K., Perepelytsia, V. O. (2006). *Analiz i prognozirovaniye evolutsii ekonomicheskikh sistem*. Zaporizhzhya : Poligraf [in Russian].
17. Maksyshko, N. K., Perepelytsia, V. O. (2009). *Modeliuvannya ekonomiky metodamy dyskretnoi neliniinoi dynamiky*. Zaporizhzhia : Poligraf [in Ukrainian].
18. Hrytsiuk, M. (2008). *archive.nbuv.gov.ua* Retrieved May 20, 2008, from http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/ii/2008_1/JournalAI_2008_1/Razdel2/00_gritsyuk.pdf [in Ukrainian].
19. Pospelov, D. A. (1986). *Nechetkiye mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennoho intellekta*. Moscow : Nauka [in Russian].
20. Rotshtein, A. P. (1999). *Intellektualnyye tekhnologii: nechetkiye mnozhestva, geneticheskkiye algoritmy, neyronnyye seti*. Vinnitsa : Univer-sum-Vinnitsa [in Russian].
21. Ayvazian, S., Mkhitarian, V. (2001). *Prikladnaya statistika. Fundamentalnaya ekonometrika*. Moscow : Uniti [in Russian].

Стаття надійшла до редакції 24.04.2014

МОДЕЛЮВАННЯ КРЕДИТОСПРОМОЖНОСТІ ЮРИДИЧНИХ ОСІБ НА ОСНОВІ ДИСКРИМІНАНТНОГО АНАЛІЗУ ТА НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

О. М. Новоселецький

Кан. екон. наук, інтерн

Школа Менеджменту Ліверпульського Університету
вул. Чатам, м. Ліверпуль, L69 7ZH, Великобританія

oleksandr.novoseletskyu@oa.edu.ua

О. В. Якубець

Магістр з економічної кібернетики

Національний університет «Острозька академія»
вул. Семінарська, 2, м. Острог, Рівненська обл., 35800, Україна

olha.yakubets@oa.edu.ua

Метою проведеного в статті дослідження була розробка ефективних економіко-математичних методів і моделей оцінювання кредитоспроможності юридичних осіб — позичальників банківських установ, призначених для зниження їх кредитних ризиків. У статті визначено концептуальні аспекти моделювання кредитоспроможності юридичної особи на основі системи фінансових коефіцієнтів. Обґрунтовано, що для оцінки кредитоспроможності вітчизняних підприємств є достатнім використання кількох фінансових коефіцієнтів, зокрема, коефіцієнтів миттєвої та загальної ліквідності, співвідношення дебіторської і кредиторської заборгованості, рентабельності продажу, оборотності кредиторської заборгованості, автономії та кредитоспроможності. У дослідженні дістав подальшого розвитку синтез кількох підходів до оцінки кредитоспроможності позичальників, що ґрунтуються на застосуванні методів дискримінантного аналізу, класифікаційних функцій, а також нейронних мереж перцептронного типу та на базі радіально-базисних функцій. Для оцінки кредитоспроможності множина юридичних осіб розподіляється на 4 класи: підприємства з високою, задовільною, низькою та незадовільною кредитоспроможністю. Якщо кредитоспроможність позичальника є високою, банківській установі рекомендовано прийняти рішення про надання кредиту, задовільною — надати кредит за умови забезпечення його ліквідною заставою, низькою або незадовільною — відмовити юридичній особі у наданні кредиту. Тестування побудованих моделей підтвердило високий рівень їх ефективності. Побудовані в дослідженні економіко-математичні моделі дозволяють істотно підвищити точність оцінювання кредитоспроможності потенційного позичальника та мінімізувати рівень кредитного ризику банківської установи.

Ключові слова. *Кредитоспроможність, моделювання, дискримінантний аналіз, нейронна мережа, багаточаровий перцептрон, радіально-базисна функція, фінансові коефіцієнти.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ НА ОСНОВЕ ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А. Н. Новоселецкий

Канд. экон. наук, интерн

Школа Менеджмента Ливерпульского Университета
ул. Чатам, г. Ливерпуль, L69 7ZH, Великобритания

oleksandr.novoseletskyu@oa.edu.ua

О. В. Якубец

Магистр по экономической кибернетике

Национальный университет «Острожская академия»
ул. Семинарская, 2, г. Острог, Ровенская обл., 35800, Украина

olha.yakubets@oa.edu.ua

Целью проведённого в статье исследования была разработка эффективных экономико-математических методов и моделей оценки кредитоспособности юридических лиц — заёмщиков банковских учреждений, предназначенных для снижения их кредитных рисков. В статье определены концептуальные аспекты моделирования кредитоспособности юридического лица на основе системы финансовых коэффициентов. Обосновано, что для оценки кредитоспособности отечественных предприятий является достаточным использование нескольких финансовых коэффициентов, в частности, коэффициентов мгновенной и общей ликвидности, соотношения дебиторской и кредиторской задолженности, рентабельности продаж, оборачиваемости кредиторской задолженности, автономии и кредитоспособности. В исследовании получил дальнейшее развитие синтез нескольких подходов к оценке кредитоспособности заёмщиков, основанный на применении методов дискриминантного анализа, классификационных функций, а также нейронных сетей перцептронного типа и на основе радиально-базисных функций. Для оценки кредитоспособности множество юридических лиц распределяется на 4 класса: предприятия с высокой, удовлетворительной, низкой и неудовлетворительной кредитоспособностью. Если кредитоспособность заёмщика является высокой, для банковского

учреждения следует принять решение о предоставлении кредита, удовлетворительной — предоставить кредит при условии обеспечения его ликвидным залогом, низкой или неудовлетворительной — отказать в предоставлении кредита. Тестирование построенных моделей подтвердило высокий уровень их эффективности. Построенные в исследовании экономико-математические модели позволяют существенно повысить точность оценки кредитоспособности потенциального заёмщика и минимизировать уровень кредитного риска банковского учреждения.

Ключевые слова. *Кредитоспособность, моделирование, дискриминантный анализ, нейронная сеть, многослойный перцептрон, радиально-базисная функция, финансовые коэффициенты.*

LEGAL ENTITIES CREDITWORTHINESS MODELING USING DISCRIMINANT ANALYSIS AND NEURAL NETWORKS

Oleksandr Novoseletsky

PhD (Economic Sciences),
Intern of University of Liverpool Management School
Chatham Street, Liverpool, L69 7ZH, United Kingdom
oleksandr.novoseletsky@oa.edu.ua

Olha Yakubets

Master's Degree in Economic Cybernetics
National University of Ostroh Academy
2 Seminarska Street, Ostroh, Rivne region, 35800, Ukraine
olha.yakubets@oa.edu.ua

The aim of the article is to develop effective economic and mathematical methods and models of assessment of legal entities creditworthiness, aimed at reducing of credit risk of borrowers of banking institutions. There are determined the conceptual aspects of modeling of legal entity creditworthiness on the basis of the system of financial ratios. The article proves that it is enough to use such financial ratios as instant and overall liquidity, ratio of accounts receivable and payable, return on sales, payable turnover, autonomy and solvency ratio in order to assess the creditworthiness of domestic enterprises. The synthesis of several approaches to the assessment of creditworthiness of a borrower, based on the use of methods of discriminant analysis, classification functions and neural networks of perceptron type, as well as on radial basis functions is developed in the article. For the purpose of assessment of creditworthiness the set of legal entities is divided into 4 classes: companies with high, satisfactory, low and unsatisfactory creditworthi-

ness. If the creditworthiness is high it's recommended to bank to grant loan, if it is satisfactory — to lend provided that the loan is secured by liquid collateral, if it is low or unsatisfactory — to deny loan. Testing of the developed models proved the effectiveness of the proposed approach. So, built in research the economic and mathematical models allow to improve essentially the accuracy of assessing the creditworthiness of potential borrowers and minimize credit risk of the banking institution.

Key words. *Creditworthiness, modeling, discriminant analysis, neural network, multilayer perceptron, radial basis functions, financial ratios.*

JEL Classification: C38, C45, G21.

Постановка проблеми

У сучасних умовах ефективно функціонування економічних суб'єктів усе частіше потребує залучення додаткових джерел фінансування, зокрема, кредитів. Найбільшу частку кредитів становлять кредити, надані банківськими установами. Однак, через високий ризик неповернення коштів банки досить часто відмовляють у задоволенні кредитних заявок, що може негативно відобразитися на фінансовому стані банку та ускладнити функціонування потенційного позичальника. У підсумку такі відносини можуть стати причиною гальмування економічного розвитку держави в цілому.

Згідно даних Асоціації українських банків [19], станом на 1 лютого 2014 р. питома вага кредитів, наданих юридичним особам, становила 76 % у структурі кредитно-інвестиційного портфелю українських банків. У той же час, як свідчать дані Національного банку України [9], частка прострочених кредитів, наданих депозитними корпораціями нефінансовим корпораціям, склала 9 % від загальної суми наданих кредитів. Таким чином, ризик неповернення коштів позичальником є досить значним. Банківські установи зацікавлені у передбаченні здатності та готовності клієнта повернути узяті ним у борг кошти відповідно до умов кредитного договору, а також в оцінюванні доцільності подальших відношень з позичальником у сфері кредитування.

Істотно підвищити ефективність оцінювання кредитоспроможності юридичної особи можна завдяки використанню сучасних методів економіко-математичного моделювання, зокрема, дискримінантного аналізу та нейронних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженням оцінювання кредитоспроможності юридичних осіб займалися вітчизняні науковці Азаренкова Г. М., Беленкова О. О. [1], Бордюг В. В. [3], Васильчак С. В., Демус Л. Р. [4], Великоіваненко Г. І., Трокоз Л. О [5; 6], Галасюк В. В. [8], Корольова-Казанська О. В. [10], Вітлінський В. В., Наконечний Я. С., Пернарівський О. В, Великоіваненко Г. І. [11; 17], Маляр М. М., Поліщук В. В. [12], Єпіфанов А. О., Дехтяр Н. А., Мельник Т. М., Школьник І. О. [16], Притоманова О. М., Білай О. С. [21], Терещенко О. О. [22] та ін. Найпоширенішими підходами до моделювання кредитоспроможності є: використання скорингових систем оцінки, моделей банкрутства, що базуються на множинному дискримінантному аналізі, нечіткій логіці, нейронних мережах, а також систем експертного оцінювання можливості надання кредиту. Однак, досить часто фінансові показники та моделі оцінювання кредитоспроможності, що базуються на них, не є адекватними реаліям сучасної української економіки. Відповідно, все це обумовлює актуальність теми даного дослідження та доцільність розробки нових методів оцінювання кредитоспроможності позичальника у зв'язку з динамічним розвитком кредитних відносин в Україні.

Метою дослідження є розробка ефективних економіко-математичних методів і моделей оцінювання кредитоспроможності юридичних осіб-позичальників банківських установ, призначених для зниження їх кредитних ризиків.

Концептуальні аспекти моделювання кредитоспроможності юридичної особи

Визначення рівня кредитоспроможності позичальника є першим етапом реалізації кредитних відносин, адже слугує основою для прийняття рішення про надання кредиту. Адекватна діагностика поточного стану позичальника та прогноз можливих напрямків його змін у подальшому дозволяють звести до мінімуму ризик неповернення коштів через виникнення складного фінансового становища позичальника. Провівши інтерпретацію результатів оцінки кредитоспроможності із застосуванням сучасних економіко-математичних методів і моделей, відповідальна особа здатна прийняти раціональне та обґрунтоване рішення стосовно надання або не надання кредиту потенційному позичальнику.

Побудові та використанню економіко-математичної моделі передують розробка її концептуальної схеми. У даному випадку побудова моделі оцінювання кредитоспроможності включає такі етапи:

- 1) постановка проблеми;
- 2) вибір та обґрунтування вхідних факторів моделі;
- 3) вибір конфігурації моделі та налаштування її параметрів;
- 4) перевірка моделі на адекватність;
- 5) експериментальне моделювання;
- 6) аналіз та інтерпретація результатів.

Вхідні фактори моделі повинні характеризувати не лише поточний стан підприємства, а й його динаміку, що дозволить передбачити можливий напрям розвитку досліджуваного суб'єкта господарювання. Розроблена система відносних показників фінансового стану підприємства базується на аналізі існуючих методичних підходів [10; 18; 24; 26], вимогах чинного законодавства [20], а також рекомендаціях експертів у сфері банківського кредитування. Вважаємо за доцільне виділити фінансові коефіцієнти, наведені у табл. 1.

Рішення стосовно надання потенційному позичальнику кредиту приймається з урахуванням класу кредитоспроможності. Розподілимо позичальників за рейтингом надійності на 4 класи:

1) висока кредитоспроможність — фінансовий стан підприємства надійний, позичальник має можливість своєчасного виконання зобов'язань за кредитними операціями, зокрема погашення основної суми боргу та відсотків за ним;

2) задовільна кредитоспроможність — фінансовий стан близький до 1 класу, однак ймовірність того, що він і надалі залишатиметься таким, не є високою;

3) низька кредитоспроможність — фінансовий стан позичальника незадовільний, існує ймовірність несвоєчасного погашення кредитної заборгованості в повній сумі та в строки, передбачені договором;

4) незадовільна кредитоспроможність — діяльність позичальника збиткова, частка зобов'язань по відношенню до власних коштів є досить значною, що свідчить про відсутність можливості виконання позичальником своїх зобов'язань.

Якщо кредитоспроможність позичальника є високою, банку рекомендовано прийняти рішення про надання кредиту, задовільною — надати кредит за умови забезпечення його ліквідною заставою, низькою або незадовільною — відмовити юридичній особі у наданні кредиту.

**СИСТЕМА ФІНАНСОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ
ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ОЦІНКИ КРЕДИТОСПРОМОЖНОСТІ ЮРИДИЧНОЇ ОСОБИ**

Фінансовий коефіцієнт	Характеристика	Формула розрахунку	Алгоритм розрахунку
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Коефіцієнт миттєвої ліквідності (Кмл)	Дозволяє визначити частку короткострокових зобов'язань, що підприємство може погасити найближчим часом, не чекаючи оплати дебіторської заборгованості й реалізації інших активів	$\frac{\text{Грошові активи}}{\text{Поточні зобов'язання}}$	$\frac{\Phi 1 \text{ p.}(220+230+240)}{\Phi 1 \text{ p.}(620+630)}$
Коефіцієнт поточної ліквідності (Кпл)	Здатність підприємства розраховуватися за своїми поточними зобов'язаннями монетарними оборотними активами. Характеризує очікувану платоспроможність боржника в короткостроковому періоді	$\frac{\text{Оборотні активи} - \text{запаси}}{\text{Поточні зобов'язання}}$	$\frac{\Phi 1 \text{ p.}(150+160+170+180+190+200+210)}{\Phi 1 \text{ p.}(620+630)}$
Коефіцієнт загальної ліквідності (коефіцієнт покриття) (Кзл)	Здатність підприємства покривати поточні зобов'язання оборотними активами	$\frac{\text{Оборотні активи}}{\text{Поточні зобов'язання}}$	$\frac{\Phi 1 \text{ p. } 260}{\Phi 1 \text{ p.}(620+630)}$
Коефіцієнт співвідношення дебіторської і кредиторської заборгованості (Ксп)	Здатність розраховуватись з кредиторами за рахунок дебіторів протягом року	$\frac{\text{Дебіторська заборгованість}}{\text{Кредиторська заборгованість}}$	$\frac{\Phi 1 \text{ p.}(160+170+180+190+200+210)}{\Phi 1 \text{ p.}(620-500-510)}$
Рентабельність продажу (Рп)	Ефективність реалізації продукції	$\frac{\text{Прибуток від реалізації продукції}}{\text{Чистий дохід від реалізації продукції}}$	$\frac{\Phi 2 \text{ p.} 220}{\Phi 2 \text{ p.} 035}$

Закінчення табл. 1

Фінансовий коефіцієнт	Характеристика	Формула розрахунку	Алгоритм розрахунку
1	2	3	4
Рентабельність активів (Ра)	Ефективність використання всього капіталу	$\frac{\text{Прибуток від реалізації продукції}}{\text{Валюта балансу}}$	$\frac{\Phi 2 \text{ р.}220}{\Phi 1 \text{ р.}280}$
Коефіцієнт оборотності кредиторської заборгованості (Кокз)	Кількість оборотів кредиторської заборгованості в рік	$\frac{\text{Виручка від реалізації продукції}}{\text{Кредиторська заборгованість}}$	$\frac{\Phi 2 \text{ р.}035}{\Phi 1 \text{ р.}(620-500-510)}$
Коефіцієнт оборотності дебіторської заборгованості (Кодз)	Кількість оборотів дебіторської заборгованості в рік	$\frac{\text{Виручка від реалізації продукції}}{\text{Дебіторська заборгованість}}$	$\frac{\Phi 2 \text{ р.}035}{\Phi 1 \text{ р.}(160+170+180+90+200+210)}$
Коефіцієнт автономії (Ка)	Питома вага власного капіталу в загальному обсязі джерел фінансування. Характеризує ступінь залежності підприємства від позичкових джерел фінансування	$\frac{\text{Власний капітал}}{\text{Валюта балансу}}$	$\frac{\Phi 1 \text{ р.}380}{\Phi 1 \text{ р.}640}$
Коефіцієнт кредитоспроможності (Кк)	Показує здатність підприємства розрахуватись зі своїми боргами за рахунок грошових надходжень від господарської діяльності	$\frac{\text{Чистий грошовий потік}}{\text{Позиковий капітал}}$	$\frac{\Phi 3 \text{ р.}400}{\Phi 1 \text{ р.}(430+480+620+630)}$

Джерело: розроблено автором на основі [10; 18; 20; 24; 26]

Кластерний аналіз множини досліджуваних об'єктів

Для побудови моделі оцінки кредитоспроможності юридичної особи обрано галузь харчової промисловості, що розвивається досить швидкими темпами та має високу потребу в залученні кредитних ресурсів. Для дослідження було сформовано вибірку з 50 підприємств різних областей України, звітність яких наявна у вільному доступі на офіційному сайті державної установи «Агентство з розвитку інфраструктури фондового ринку України» [15]. У якості вхідних даних для побудови моделі використовувались показники форм № 1, № 2, № 3 фінансової звітності підприємств.

З метою упорядкування об'єктів дослідження у відносно однорідні сукупності розіб'ємо їх на 4 групи (підприємства з високою, задовільною, низькою та незадовільною кредитоспроможністю) з використанням кластерного аналізу методом k -середніх. Для здійснення кластеризації суб'єктів господарювання за рівнем кредитоспроможності необхідно використовувати показники їх діяльності, що характеризують різні аспекти кредитоспроможності (табл. 1). З цією метою для всіх підприємств із сформованої вибірки на основі даних їх фінансової звітності було обраховано фінансові коефіцієнти, наведені в табл. 1.

Перший крок кластерного аналізу методом k -середніх передбачає початкове розбиття даних — множини досліджуваних об'єктів довільно розбивають на k кластерів. Після цього обраховують центри тяжіння кластерів. Далі визначають евклідові відстані між усіма об'єктами та центрами тяжіння k кластерів. Після кожної ітерації, на якій об'єкти відносять до найближчого центру тяжіння, обраховуються центри тяжіння нових кластерів [23, с. 176]. Вибір даного методу кластеризації зумовлений можливістю розподіляти вхідну множину на наперед задану кількість кластерів. Окрім того, на відміну від агломеративних ієрархічних методів кластеризації, ітеративний підхід дозволяє працювати з великими масивами даних, компенсувати неточності початкового розбиття множини, а також уникати перекриття кластерів.

Задля отримання адекватних результатів моделювання вхідні дані повинні бути стандартизовані (нормалізовані). У нашому випадку було здійснено нормалізацію за допомогою середньоквадратичного відхилення, оскільки із використанням даної процедури скореговані дані отримують нульове математичне сподівання та одиничну дисперсію, унаслідок чого вони стають від-

повідними базовим припущенням кластерного та дискримінантного аналізу. Вибірку було очищено від 2 спостережень, котрі характеризуються екстремальними значеннями.

За результатами проведення кластеризації отримано 4 групи підприємств: до першого кластера було віднесено 20 підприємств, до другого — 6, третього — 4, четвертого — 18. Проаналізувавши значення показників, ми дійшли висновку, що 1 кластер включає підприємства з незадовільною кредитоспроможністю, 2 — з низькою, 3 — з задовільною, 4 — з високою кредитоспроможністю.

Дискримінантна модель оцінки кредитоспроможності юридичної особи

З метою коректної класифікації підприємств і визначення їх рівня кредитоспроможності, доречно здійснювати подальший аналіз їх належності тому чи іншому кластеру не експертно, а доручити цей процес комп'ютеру, алгоритмізувавши процедуру визначення належності суб'єкта господарювання до певного класу. Оцінювання кредитоспроможності підприємства здійснюватиметься за сформованими вище чотирма класами: 1 — висока кредитоспроможність, 2 — задовільна, 3 — низька, 4 — незадовільна кредитоспроможність.

Завдання класифікації можна вирішити, зокрема, за допомогою методів дискримінантного аналізу, який є розділом класичного факторного статистичного аналізу [23]. Для вирішення задачі класифікації позичальників комерційного банку за рівнем кредитоспроможності застосовуватимемо канонічні дискримінантні та класифікаційні функції з теорії дискримінантного аналізу. За своєю сутністю дискримінантний аналіз — це статистичний метод, що дозволяє вивчати відмінності між двома та більше групами об'єктів за кількома змінними одночасно [23, с. 81]. У нашому випадку об'єкти — це великі та середні підприємства, а змінні — наведені в табл. 1 фінансові коефіцієнти.

Побудова моделі кредитоспроможності юридичних осіб містить 2 фази дискримінантного аналізу: фазу виведення дискримінантних функцій і фазу групування об'єктів у відповідності з отриманими значеннями функцій дискримінації. На першій фазі будуються канонічні дискримінантні функції, що мають такий вигляд [23, с. 88]:

$$f_d = u_{d0} + u_{d1} X_1 + u_{d2} X_2 + \dots + u_{dp} X_p, \quad (1)$$

де f_d — значення d -ї канонічної дискримінантної функції для аналізованого позичальника; X_i — значення i -ї дискримінантної змінної для аналізованого позичальника, $i = 1, p$; p — кількість пояснюючих змінних; u_{di} — параметри d -ї канонічної дискримінантної функції.

Коефіцієнти u_{di} обираються для всіх канонічних дискримінантних функцій таким чином, щоб їх середні значення для різних класів як можна більше відрізнялись одне від одного. Причому, коефіцієнти кожної наступної функції обираються так, щоб середнє значення описуваного нею класу максимально відрізнялось від середніх значень функцій уже визначених класів. При цьому накладається додаткова умова, щоб значення цієї функції були некорельованими зі значеннями раніше визначених дискримінантних функцій. Максимальна кількість канонічних дискримінантних функцій дорівнює кількості класів за вирахуванням одиниці, або кількості дискримінантних змінних, залежно від того, яка з цих величин є меншою (а може бути ще меншою, якщо якісь дискримінантні функції виявляться статистично незначущими) [23, с. 88—90].

Для того, щоб отримати параметри канонічної дискримінантної функції u_{di} , можна скористатись матрицею суми квадратів і попарних добутків квадратної симетричної матриці T .

Елементи матриці T задаються співвідношенням [23, с. 90]:

$$t_{ij} = \sum_{k=1}^g \sum_{m=1}^{n_k} (X_{ikm} - \bar{X}_i)(X_{jkm} - \bar{X}_j), \quad (2)$$

де g — кількість класів позичальників; n_k — кількість позичальників у k -му класі; X_{ikm} — значення дискримінантної змінної X_i для m -го позичальника в k -му класі, $i = 1, p$; \bar{X}_i — середнє значення змінної X_i в усіх класах.

Якщо поділити кожен елемент матриці T на $(n - 1)$, то отримаємо коваріаційну матрицю. Для того, щоб перетворити матрицю T на кореляційну матрицю, потрібно поділити кожний елемент на квадратний корінь з добутку двох відповідних діагональних елементів.

Для оцінки розкиду всередині класу використовують матрицю W , яка відрізняється від T лише тим, що її елементи визначаються середніми значеннями змінних для окремих класів:

$$W_{ij} = \sum_{k=1}^g \sum_{m=1}^{n_k} (X_{ikm} - \overline{X_{ik}})(X_{jkm} - \overline{X_{jk}}), \quad (3)$$

де $\overline{X_{ik}}$ — середнє значення змінної X_i у k -му класі.

Якщо центроїди різних класів співпадають, то елементи матриць W і T також будуть рівними. Якщо центроїди класів є різними, то елементи W будуть меншими від відповідних елементів матриці T . Цю різницю прийнято позначати як матрицю B , що називається міжгруповою сумою квадратів відхилень і попарних добутоків. Побудова канонічних дискримінантних функцій зводиться до знаходження розв'язку системи рівнянь (4) відносно λ_d та v_{di} [23, с. 92, 93]:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^p b_{1i} v_{di} &= \lambda_d \sum_{i=1}^p W_{1i} v_{di}; \\ \sum_{i=1}^p b_{2i} v_{di} &= \lambda_d \sum_{i=1}^p W_{2i} v_{di}; \\ &\vdots \\ \sum_{i=1}^p b_{pi} v_{di} &= \lambda_d \sum_{i=1}^p W_{pi} v_{di}, \end{aligned} \quad (4)$$

де b_{ji} — елемент матриці B ($b_{ji} = t_{ji} - W_{ji}$), λ_d — власне значення (eigen value) канонічної дискримінантної функції, v_{di} — послідовність p коефіцієнтів.

Для отримання єдиного розв'язку накладається умова, що сума квадратів v_{di} дорівнює одиниці. Кожен розв'язок, що має власне значення λ_d та послідовність v_{di} , відповідає одній канонічній дискримінантній функції [23, с. 93]. Число можливих розв'язків загальної задачі в дійсності дорівнює числу дискримінантних змінних p . Однак деякі з них будуть математично тривіальними рішеннями, а деякі — статистично малозначущими. Всі власні значення λ_d будуть позитивними чи дорівнюватимуть нулю, причому чим вище значення λ_d , тим більше груп буде розділяти відповідна дискримінантна функція. Таким чином, функція з найбільшим власним значенням є і найпотужнішим дискримінатором.

На практиці для порівняння дискримінантних можливостей канонічних функцій їх власні значення перетворюють у відносні величини. Для цього знаходять суму усіх власних значень і вираховують частку кожного з них. Отримана величина показує, яку частку загальних дискримінантних властивостей (cumulative proportion), тобто частку поясненої дисперсії, містить конкретна функція.

Коефіцієнти v_{di} могли би безпосередньо бути використані для класифікації. Однак їх складно інтерпретувати (відповідні ним значення дискримінантної функції не мають сенсу), адже дані рішення не мають обмежень за метрикою дискримінантного простору. Тому доцільним є проведення їх нормування, яке задається функціями:

$$u_{di} = v_{di} \sqrt{n - g}, \quad u_{d0} = -\sum_{i=1}^p u_{di} X_i \quad (5)$$

Класифікацію позичальників проводитимемо також із застосуванням лінійної комбінації дискримінантних змінних, що запропонована Фішером. Лінійна комбінація максимізує відмінності між класами та мінімізує дисперсію всередині класів. Особлива лінійна комбінація для кожного класу, котра називається «класифікаційною функцією» (у багатьох роботах саме ці функції називаються дискримінантними, а функції, що визначаються із співвідношення (1), — канонічними дискримінантними), виглядає таким чином [23, с. 113]:

$$f_{km} = u_{k0} + u_{k1} X_{1km} + u_{k2} X_{2km} + \dots + u_{kp} X_{pkm}, \quad (6)$$

де f_{km} — значення класифікаційної функції для m -го позичальника в k -му класі, $k = 1, g$, $m = 1, n_k$; u_{ki} — параметри класифікаційної функції для k -го класу.

Коефіцієнти класифікаційних функцій обраховуються за такими формулами:

$$u_{ki} = (n - g) \sum_{j=1}^p a_{ij} \overline{X_{jk}}, \quad i = \overline{1, p}, \quad (7)$$

де $\overline{X_{jk}}$ — середня величина змінної X_j у k -му класі; n — кількість позичальників у навчальній вибірці; a_{ij} — елемент матриці, оберненої до внутрішньогрупової матриці сум попарних добутоків W (3).

Постійний член визначається так:

$$u_{k0} = -0,5 \sum_{j=1}^p u_{kj} \overline{X_{jk}}. \quad (8)$$

Зазвичай коефіцієнти класифікаційної функції не інтерпретуються, оскільки вони не є стандартизованими, кожному класу відповідає своя функція. На другій фазі дискримінантного аналізу досліджуваній позичальник-юридична особа s відноситься до класу k з найбільшим обрахованим значенням f_{ks} . Точні значення функцій не відіграють ролі: важливо лише знати, для якого класу це значення найбільше — саме до нього об'єкт є найближчим [23, с. 114].

Однак, перед побудовою канонічних дискримінантних функцій (1) для кожного класу кредитоспроможності необхідно відібрати до моделі найбільш значущі пояснюючі змінні. Процедура відбору факторів дискримінантної моделі передбачає перевірку вхідних показників на мультиколінеарність за алгоритмом Фаррара-Глобера [27], наявність якої може призвести до зміщення оцінок і незначущості параметрів моделі. Для того, щоб провести відсіювання надлишкових показників, побудуємо кореляційну матрицю вхідних показників, представлених у табл. 1, яку зведемо до табл. 2.

Розраховані коефіцієнти кореляції свідчать про наявність лінійної залежності між деякими факторами. Так, досить високою є залежність між показниками ліквідності: коефіцієнт кореляції між коефіцієнтами загальної та поточної ліквідності складає 0,8263. Окрім того, щільний лінійний зв'язок з іншими фінансовими коефіцієнтами мають такі показники, як коефіцієнт оборотності дебіторської заборгованості та рентабельності активів, що унеможливує їхнє застосування як вхідних факторів для побудови моделі.

Значення критерію χ^2 становить 61,38 при критичному 30,61 (при $(m - 1) * m / 2 = 45$ ступенях свободи та $\alpha = 0,05$), що є свідченням наявності множинної мультиколінеарності. Табличний F -критерій дорівнює 2,13 (при $m - 1 = 9$, $n - m = 38$ та $\alpha = 0,05$). Значення даного критерію для коефіцієнтів поточної ліквідності, рентабельності активів й оборотності кредиторської заборгованості перевищує критичні та в абсолютному вираженні становлять 16,64, 5,45 і 7,7, що є свідченням того, що дані показники є непридатними для побудови моделі.

Таблиця 2

МАТРИЦЯ КОРЕЛЯЦІЇ ВХІДНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ

Показник	Кмл	Кпл	Кзл	Ксп	Рп	Ра	Кокз	Кодз	Ка	Кк
Кмл	1,0000	0,5084	0,3347	0,1062	0,1803	0,2165	-0,0636	0,1014	0,2422	0,2257
Кпл	0,5084	1,0000	0,8263	0,3067	0,2136	0,2994	-0,1374	0,1143	0,4363	-0,2695
Кзл	0,3347	0,8263	1,0000	0,2583	0,2320	0,1959	-0,0378	0,1855	0,4878	-0,4005
Ксп	0,1062	0,3067	0,2583	1,0000	0,1490	0,2721	0,0476	0,6250	0,3397	-0,1252
Рп	0,1803	0,2136	0,2320	0,1490	1,0000	0,4221	0,2744	0,2803	0,4235	0,0761
Ра	0,2165	0,2994	0,1959	0,2721	0,4221	1,0000	0,3382	0,4471	0,5977	0,3483
Кокз	-0,0636	-0,1374	-0,0378	0,0476	0,2744	0,3382	1,0000	0,4774	0,2489	0,1957
Кодз	0,1014	0,1143	0,1855	0,6250	0,2803	0,4471	0,4774	1,0000	0,4603	0,0854
Ка	0,2422	0,4363	0,4878	0,3397	0,4235	0,5977	0,2489	0,4603	1,0000	0,0905
Кк	0,2257	-0,2695	-0,4005	-0,1252	0,0761	0,3483	0,1957	0,0854	0,0905	1,0000

Джерело: розраховано автором

Застосовуючи алгоритм Фаррара-Глобера, нам не вдалось повністю позбавитись від мультиколінеарності, однак вдалось її мінімізувати, видаливши з переліку вхідних факторів коефіцієнти поточної ліквідності, рентабельності активів та оборотності кредиторської заборгованості.

Розрахунок дискримінантних функцій проводився з використанням пакету для статистичного аналізу даних STATISTICA 10, що дозволяє швидко та ефективно провести дискримінантний аналіз, а також протестувати адекватність отриманих моделей. У якості групуючої змінної виступав клас кредитоспроможності підприємства (1 — висока кредитоспроможність, 2 — задовільна, 3 — низька, 4 — незадовільна), а в якості незалежних — коефіцієнти миттєвої та загальної ліквідності (Кмл, Кзл), співвідношення дебіторської і кредиторської заборгованості (Ксп), рентабельності продажу (Рп), оборотності кредиторської заборгованості (Кокз), автономії (Ка) та кредитоспроможності (Кк). Для вибору значимих змінних було обрано метод Forward stepwise — покроковий з включенням, що дозволяє оцінити суттєвість внеску в модель кожного з показників. Результати покрокового включення змінних до моделі представлено у табл. 3.

Таблиця 3

**ЗМІННІ, ВКЛЮЧЕНІ ДО ДИСКРИМІНАНТНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ
КРЕДИТОСПРОМОЖНОСТІ ЮРИДИЧНОЇ ОСОБИ**

Змінна	λ Вілкса	Частинна λ -статистика	F-включення	p-value	Толерантність	R ²
Кмл	0,0946	0,2247	44,8517	0,0000	0,6982	0,3018
Кзл	0,0322	0,6601	6,6941	0,0009	0,6948	0,3052
Кк	0,0319	0,6672	6,4854	0,0011	0,7303	0,2697
Кокз	0,0338	0,6292	7,6617	0,0004	0,8639	0,1361
Ксп	0,0323	0,6576	6,7695	0,0009	0,8249	0,1751
Ка	0,0244	0,8720	1,9083	0,1442	0,8349	0,1651

Джерело: розраховано автором

З ймовірністю допущення помилки 0,1 можна зробити висновок про те, що спостереження не належать до одного класу, тому дискримінантний аналіз є можливим. Як свідчать дані таблиці,

першою до моделі була включена змінна, що робить найбільший вклад у розрізнення навчаючих вибірок — коефіцієнт миттєвої ліквідності, істотність вкладу змінних з кожним кроком зменшується. У той же час зменшується і значення λ Вілкса, тобто якість дискримінації підвищується. До моделі увійшло 6 показників. Показники толерантності свідчать про те, що жодна із змінних, включених до моделі, не є надлишковою по відношенню до інших. Із відібраних нами показників до моделі не ввійшов лише один — коефіцієнт рентабельності продажу, котрий робив найменший внесок у розрізнення об'єктів навчальної вибірки.

Залишкова дискримінантна здатність (тобто здатність змінних розрізняти класи, якщо виключити інформацію, отриману за допомогою раніше обрахованих функцій) є незначною і становить в абсолютному вираженні 0,02. Тобто лише 2 % відмінностей між класами та когезивності (однорідності або ступеня скупчення об'єктів навколо центроїда їх класу) кожного класу не описується моделями, отриманими в ході проведення дискримінантного аналізу. Отже, модель є надійною і може бути використана в подальшому для оцінювання кредитоспроможності підприємств харчової промисловості України.

Для того, щоб побачити, як 6 відібраних змінних розділяють об'єкти на 4 класи залежно від рівня кредитоспроможності, обрахуємо канонічні дискримінантні функції (1). У нашому випадку максимальне число коренів (канонічних дискримінантних функцій) є меншим на одиницю від кількості класів і дорівнює трьом. Визначимо, чи є отримані функції математично нетривіальними та статистично значимими, за допомогою критерію χ^2 (табл. 4).

Таблиця 4

РЕЗУЛЬТАТИ χ^2 -ТЕСТУ

Кількість видалених коренів	Власне значення функції	λ Вілкса	χ^2
0	4,5598	0,0212	161,7601
1	2,6553	0,1181	89,7066
2	1,3156	0,4318	35,2668

Джерело: розраховано автором

Як свідчать дані таблиці, рівень значимості третього кореня після видалення двох перших є досить низьким, що підтверджу-

ється незначною залишковою дискримінантною здатністю (високим рівнем λ Вілкса). Для того, щоб вирішити питання про доцільність застосування канонічних дискримінантних функцій, оцінимо їх власні значення. Значення стандартизованих коефіцієнтів при змінних у канонічних функціях наведено у табл. 5. Таблиця містить дані, отримані з використанням формул (2)—(5) у рамках побудови канонічних дискримінантних функцій.

Таблиця 5

ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ПРИ ЗМІННИХ ДЛЯ КАНОНІЧНИХ ФУНКЦІЙ

Змінна	Корінь 1	Корінь 2	Корінь 3
Кмл	-1,0703	-0,4570	-0,1833
Кзл	-0,1595	0,6688	0,5025
Кк	0,3241	0,4200	-0,6519
Кокз	-0,1974	0,6850	-0,3150
Ксп	-0,4458	0,5889	-0,0184
Ка	0,1583	0,4073	-0,1467
Власне значення функції	4,5598	2,6553	1,3156
Кумулятивна частка, %	53,4511	31,1265	15,4223

Джерело: розраховано автором

Найпотужнішим дискримінатором є функція з найбільшим власним значенням. Згідно даних таблиці, перший корінь містить 53,45 % загальних дискримінантних властивостей, другий — 31,13 %, а третій — 15,42 %. Таким чином, перший корінь відповідає за найбільшу частку поясненої дисперсії, проте потреба у застосуванні інших функцій не відпадає, оскільки частка жодного з коренів значно не перевищує частки інших. Точність класифікації позичальників за рівнем кредитоспроможності із застосуванням першого кореня становить 51,31 %, другого — 29,84 %, третього — 14,81 %. Таким чином, у зв'язку з низькою здатністю канонічних дискримінантних функцій до вирішення задачі класифікації позичальників, виникає необхідність розробки інших моделей для вирішення поставленої задачі.

Як зазначалось вище, в рамках дискримінантного аналізу, окрім канонічних функцій, є можливою побудова класифікацій-

них функцій Фішера. Застосуємо їх для вирішення задачі класифікації позичальників банківської установи за рівнем кредитоспроможності. Результати обрахунку значень коефіцієнтів при змінних класифікаційних функцій (6) з використанням формул (7) та (8) наведено у табл. 6.

Таблиця 6

КОЕФІЦІЕНТИ ПРИ ЗМІННИХ КЛАСИФІКАЦІЙНИХ ФУНКЦІЙ

Змінна	Кредитоспроможність позичальника			
	Висока	Задовільна	Низька	Незадовільна
Коефіцієнт миттєвої ліквідності	-0,4580	15,0261	-0,7865	-2,3571
Коефіцієнт загальної ліквідності	0,6635	-1,1386	3,9055	-1,5411
Коефіцієнт кредитоспроможності	1,5484	-3,7634	-1,4918	-0,1933
Коефіцієнт оборотності кредиторської заборгованості	1,5774	-0,5710	0,8122	-1,5491
Коефіцієнт співвідношення дебіторської та кредиторської заборгованості	1,0816	1,3841	1,6981	-1,7597
Коефіцієнт автономії	0,8474	-2,3865	0,3268	-0,3834
Константа	-2,4929	-23,2451	-7,4883	-3,1238

Джерело: розраховано автором

Спостереження відноситиметься до тієї групи, для якої обраховане значення класифікаційної функції є вищим.

Про результати точності моделі можна зробити висновки, якщо звернутись до класифікаційної матриці, представленої в табл. 7.

Як свідчать дані класифікаційної матриці, помилка класифікації стосується лише підприємств з високим рівнем кредитоспроможності та становить 11,11 %. Для всіх інших класів аналізовані підприємства були розподілені коректно, внаслідок чого в межах досліджуваної вибірки 95,83 % об'єктів із початкової сукупності класифіковані вірно. Отже, точність класифікації позичальників із застосуванням класифікаційних функцій є значно вищою порівняно з канонічними дискримінантними функціями.

Таблиця 7

КЛАСИФІКАЦІЙНА МАТРИЦЯ

Клас кредитоспроможності	Відсоток правильно класифікованих об'єктів	Висока модельована	Задовільна модельована	Низька модельована	Незадовільна модельована
Висока спостережувана	88,8889	16	0	0	2
Задовільна спостережувана	100,0000	0	4	0	0
Низька спостережувана	100,0000	0	0	6	0
Незадовільна спостережувана	100,0000	0	0	0	20
Всього	95,8333	16	4	6	22

Джерело: розраховано автором

Оцінювання кредитоспроможності юридичної особи із застосуванням нейронних мереж

Слід зазначити, що на практиці традиційні методи класифікації об'єктів не завжди можуть точно передати сутність досліджуваного явища, у таких випадках науковці все частіше застосовують методи штучного інтелекту, зокрема, нейромереві технології. Здатність працювати з нелінійними залежностями, зашумленими даними та високі адаптивні властивості підтверджують доцільність використання нейронних мереж при роботі з фінансовими показниками. Побудуємо низку штучних нейронних мереж для вирішення задачі класифікації кредитоспроможності позичальників та здійснимо порівняльний аналіз їх класифікаційних здатностей із побудованими вище дискримінантними моделями, що ґрунтуються на методах багатовимірною статистичного аналізу.

У підґрунтя функціонування штучних нейронних мереж покладено відповідні математичні моделі, на підставі яких рішення виробляється як реакція на зовнішні сигнали (дані), що надходять на вхід системи. Отриманий числовий розв'язок (вихід системи) інтерпретується людиною [7].

Основний блок мережі — формальний або штучний нейрон, що являє собою електронну, математичну, алгоритмічно або програмно реалізовану модель, елементи якої мають прямі аналоги компонент біологічних нейронів [2, с. 5]. На вхід нейрона подається сигнал X_i , при цьому з кожним входом пов'язана синаптична вага w_i . У тілі нейрона вираховується функція $\psi(\sum_{i=1}^n w_i X_i)$, що перетворює багатовимірний простір входів на скалярний вихід.

У загальному випадку побудова нейронної мережі передбачає такі кроки: вибір початкової конфігурації мережі; навчання мережі та проведення модельних експериментів з оцінкою контрольної помилки; виявлення ефекту перенавчання і коригування структури нейронної мережі; перевірка адекватності навчання із застосуванням тестової вибірки [13].

Задачу класифікації підприємств за рівнем кредитоспроможності вирішуватимемо на базі нейронних мереж з конфігурацією багатошарового перцептрона (БШП) та радіальної базисної функції (РБФ мережі).

У багатошарових перцептронах навчання з учителем проводиться за допомогою алгоритму зворотного поширення помилки [29], що ґрунтується на корекції помилок. Навчання методом зворотного поширення помилки припускає два проходи по всіх шарах мережі: прямий і зворотний. При прямому проході образ (вхідний вектор) подається на сенсорні вузли мережі, після чого поширюється по мережі від шару до шару. У результаті генерується набір вихідних сигналів, який і є фактичною реакцією мережі на даний вхідний образ. Під час прямого проходу усі синаптичні ваги мережі фіксовані, а під час зворотного ваги налаштовуються згідно з правилом корекції помилок, а саме: фактичний вихід мережі віднімається від бажаного (цільового) відгуку, в результаті чого формується сигнал помилки. Цей сигнал поширюється по мережі у напрямку, зворотному синаптичним зв'язкам. Синаптичні ваги налаштовуються з метою максимального наближення вихідного сигналу мережі до бажаного в статистичному сенсі [25, с. 220].

Графічно структуру БШП представлено на рис. 1.

Пошук найбільш адекватної структури перцептрона зумовлює необхідність проведення експериментів з великим числом мереж різних конфігурацій, інколи навчаючи кожну з них кілька разів і

порівнюючи отримані результати. Головним критерієм вибору найбільш адекватної мережі є контрольна похибка. При цьому застосовується правило, відповідно до якого з двох нейронних мереж з приблизно рівними контрольними похибками варто обрати ту, яка має простішу конфігурацію [14].

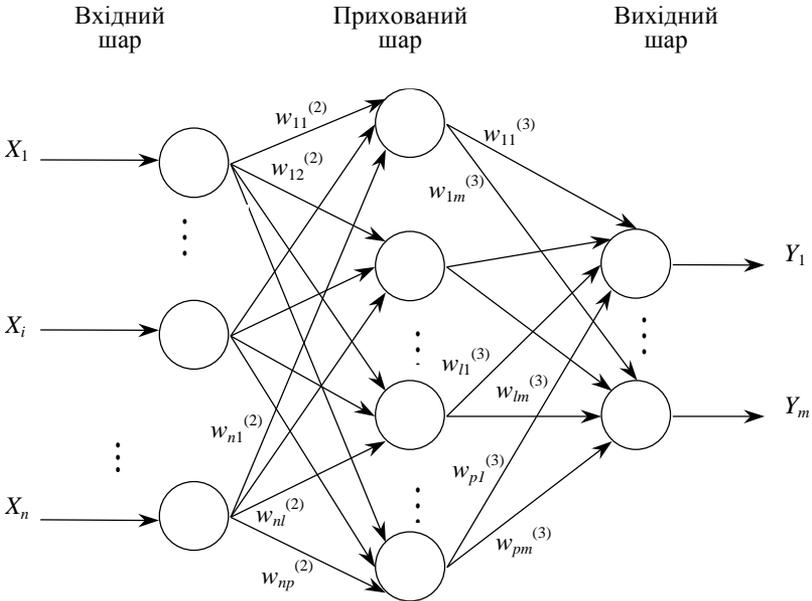


Рис. 1. Базова архітектура багат шарового перцептрона

Джерело: [30]

При виборі архітектури БШП значну увагу слід також приділити кількості прихованих шарів і нейронів, що в них розташовані. Для вирішення практичних задач немає потреби у застосуванні більше ніж одного прихованого шару [28]. Так, один прихований шар нейронів може апроксимувати будь-яку функцію, що містить неперервне відображення одного кінцевого простору в інший. Стосовно питання кількості нейронів слід звернути увагу на те, що використання занадто малої кількості нейронів у прихованому шарі призведе до того, що вони не зможуть адекватно розпізнати сигнали, котрі поступають зі складного набору да-

них. Разом з тим, використання надто великої кількості нейронів прихованого шару викликає ряд проблем, пов'язаних з виникненням явища перенавчання. По-перше, кількість інформації у навчальній вибірці може бути недостатньою для навчання усіх нейронів прихованого шару. Другий тип проблем може спостерігатись тоді, коли набір даних для навчання мережі є занадто великим і надмірно збільшує час навчання мережі.

Архітектура мереж на основі радіальних базисних функцій передбачає наявність трьох шарів і подібна до архітектури БШП (див. рис. 1). Однак, якщо кількість прихованих шарів у БШП варіюється, то архітектура РБФ мережі передбачає наявність лише одного прихованого шару. Також, якщо нелінійним перетворювачем у перцептронів може бути функція активації будь-якого виду (сигмоїдна, сигнатурна, лінійна тощо), то в РБФ мережі використовуються лише радіально-симетричні (наприклад, гаусові) функції для нейронів прихованого шару та лінійна функція для вихідного. Вхідний шар РБФ складається з сенсорних елементів, які пов'язують мережу із зовнішнім середовищем. Другий шар мережі виконує нелінійне перетворення вхідного простору у прихований шар, розмірність якого, як правило, значно перевищує розмірність вхідного шару. Чим вищою є розмірність прихованого шару, тим вищою є точність апроксимації [25, с. 342].

Для порівняння результатів, отриманих при застосуванні дискримінантного аналізу, побудуємо економіко-математичні моделі оцінки кредитоспроможності юридичної особи з використанням нейронних мереж типу БШП і РБФ на базі STATISTICA Neural Networks. Вхідними змінними нейронних мереж є нормалізовані значення фінансових коефіцієнтів миттєвої та загальної ліквідності, співвідношення дебіторської та кредиторської заборгованості, рентабельності продажу, оборотності кредиторської заборгованості, автономії та кредитоспроможності (показників, що використовувались для побудови дискримінантної моделі та класифікаційних функцій). Категоріальна змінна на виході — клас кредитоспроможності підприємства (висока, задовільна, низька, незадовільна).

Розмір навчальної вибірки становить 70 % від обсягу вибіркової сукупності, тестової — 15 %, контрольної — 15 %. Кількість навчальних прогонів нейронних мереж — 500, базові архітекту-

ри — багатошаровий перцептрон та мережа на основі радіальних базисних функцій. Мінімальна кількість нейронів прихованого шару становить 4, а максимальна — 12. Кількість нейронів вхідного шару рівна кількості змінних на вході та становить 7. Кількість нейронів вихідного рівня при вирішенні задачі класифікації дорівнює кількості класів (у даному випадку 4). Для активації нейронів застосовувались такі функції, як: функція тотожності, логістична, тангенсоїда, гаусова, експоненціальна та софтмакс. Після навчання було відібрано 5 нейронних мереж, котрі найточніше відтворювали рівень кредитоспроможності позичальників на основі поданих на вході показників. Характеристики цих нейронмереж зведено до табл. 8.

Таблиця 8

**КОНФІГУРАЦІЇ 5 НАЙБІЛЬШ АДЕКВАТНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ
ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ОЦІНКИ КРЕДИТОСПРОМОЖНОСТІ
ЮРИДИЧНИХ ОСІБ**

№ мережі	Назва мережі	Точність класифікації навчальної вибірки, %	Точність класифікації тестової вибірки, %	Точність класифікації контрольної вибірки, %	Функція активації входу	Функція активації виходу
1	БШП 7-4-4	73,52941	85,7143	85,7143	Експоненціальна	Логістична
2	БШП 7-4-4	70,58824	71,4286	85,7143	Тотожності	Софтмакс
3	БШП 7-4-4	97,05882	100,0000	85,7143	Тангенсоїда	Логістична
4	БШП 7-4-4	82,35294	85,7143	85,7143	Тангенсоїда	Тотожності
5	РБФ 7-4-4	85,29412	85,7143	100,0000	Гаусова	Тотожності

Джерело: розраховано автором

Як свідчать дані табл. 8, точність класифікації на основі мереж з архітектурою багатошарового перцептрона є досить високою. Такий тип нейронних мереж проявив себе краще при вирішенні задачі моделювання рівня кредитоспроможності позичальника, ніж РБФ мережі. Найточніші результати моделювання спостері-

гаються у мережі № 3 типу БШП, котра містить 7 нейронів вхідного шару, 4 нейрони прихованого шару та 4 нейрони вихідного шару. Точність класифікації підприємств навчальної вибірки становить 97,06 %, тестової та контрольної — 100 % і 85,71 %, відповідно. У якості функцій активації нейронів прихованого шару в даній мережі використовується тангенсоїда, вихідного шару — логістична функція.

Порівнюючи точність класифікації на основі нейронних мереж з дискримінатним аналізом, приходимо до висновку, що інструментарій нейронних мереж виявився більш адекватним для розв'язання задачі моделювання кредитоспроможності юридичних осіб, що викликано високими адаптивними властивостями цього інструментарію (точність класифікації навчальних вибірок з використанням нейронних мереж становила 97,06 %; класифікаційних функцій — 95,83 %; 51,31 % із застосуванням першого кореня, 29,84 % — другого та 14,81 % — третього кореня при використанні канонічного дискримінантного аналізу).

Висновки

У статті запропоновано концептуальну схему моделювання кредитоспроможності юридичної особи. У ході дослідження було доведено, що для побудови моделі оцінки кредитоспроможності юридичної особи доцільно та достатньо використовувати коефіцієнти миттєвої та загальної ліквідності, співвідношення дебіторської і кредиторської заборгованості, оборотності кредиторської заборгованості, автономії та кредитоспроможності. На виході моделі отримуємо рівень кредитоспроможності позичальника. Якщо кредитоспроможність позичальника є високою, банківській установі рекомендовано прийняти рішення про надання кредиту, задовільною — надати кредит за умови забезпечення його ліквідною заставою, незадовільною або низькою — відмовити юридичній особі у наданні кредиту.

На початковому етапі моделювання позичальників з наявної статистичної вибірки було розбито на 4 кластери з використанням методу *k*-середніх. Для розподілу позичальників за чотирма сформованими класами, відповідними різним рівням кредитоспроможності, було побудовано низку економіко-математичних моделей, що ґрунтуються на застосуванні методів дискримінантного аналізу, класифікаційних функцій і нейронних мереж пер-

септронного типу та на базі радіально-базисних функцій. Результати тестування побудованих класифікаційних функцій (лінійних комбінацій дискримінантних змінних) свідчать про те, що 95,83 % об'єктів із початкової сукупності класифіковані вірно. Точність класифікації із застосуванням канонічних дискримінантних функцій є значно нижчою та становить 51,31 % для першого кореня, 29,84 % для другого та 14,81 % для третього кореня. Отже, експериментальне дослідження канонічних дискримінантних функцій продемонструвало їх непридатність для вирішення задачі класифікації позичальників.

Тестування нейронних мереж для вирішення завдання класифікації позичальників за рівнем кредитоспроможності дозволило визначити найбільш адекватною мережу типу багатосаровий персептрон зі структурою 7 нейронів вхідного шару, 4 нейрони прихованого шару та 4 нейрони вихідного шару та підібрати відповідні функції активації нейронів. Точність класифікації об'єктів навчальної вибірки цією мережею становить 97,06 %, тестової та контрольної — 100 % і 85,71 %, відповідно.

Висока точність класифікації об'єктів з використанням побудованих у статті моделей на основі дискримінантного аналізу та нейронних мереж засвідчила їхню високу ефективність і доцільність застосування при оцінці кредитоспроможності юридичної особи. Розроблений підхід дозволяє істотно підвищити надійність оцінювання кредитоспроможності потенційного позичальника та, відповідно, зменшити втрати банку у зв'язку з невиконанням позичальниками боргових зобов'язань, що сприятиме і підвищенню стійкості фінансової системи в цілому.

Література

1. *Азаренкова Г. М.* Рейтингове оцінювання як метод визначення кредитоспроможності позичальників банку / Г. М. Азаренкова, О. О. Беленкова // Вісник Університету банківської справи Національного банку України. — 2011. — № 1. — С. 219—223.
2. *Бодянский Е. В.* Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучения, применения / Е. В. Бодянский. — Харьков: ТЕЛЕТЕХ, 2004. — 369 с.
3. *Бордюг В. В.* Теоретичні основи оцінки кредитоспроможності позичальника банку / В. В. Бордюг // Вісник Університету банківської справи Національного банку України. — 2008. — № 3. — С. 112—115.

4. *Васильчак С. В.* Оцінка кредитоспроможності позичальника як один з методів забезпечення економічної безпеки банку / С. В. Васильчак, Л. Р. Демус // Науковий вісник НЛТУ України. — 2012. — Вип. 22 (1). — С. 154—61.

5. *Великоіваненко Г. І.* Моделювання внутрішніх кредитних рейтингів позичальників комерційного банку / Г. І. Великоіваненко, Л. О. Трокоз // Економічний аналіз: зб. наук. праць. — Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2012. — Вип. 11. — Частина 1. — С. 313—319.

6. *Великоіваненко Г. І.* Моделювання кредитоспроможності позичальників комерційного банку / Г. І. Великоіваненко, Л. О. Трокоз // Наукові записки. Серія «Економіка»: збірник наукових праць. — Острого: Видавництво Національного університету «Острозька академія», 2013. — Вип. 22. — С. 137—141.

7. *Вітлінський В. В.* Штучний інтелект у системі прийняття управлінських рішень / В. В. Вітлінський // Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. — 2012. — № 1. — С. 97—118.

8. *Галасюк В. В.* Проблеми оцінки кредитоспроможності позичальників / В. В. Галасюк, В. В. Галасюк // Вісник Національного банку України. — 2001. — № 9. — С. 54—57.

9. Додаток до Статистичного бюлетеня Національного банку України: [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.bank.gov.ua/control/uk/publish/category?cat_id=57898.

10. *Корольова-Казанська О. В.* Методичний інструментарій оцінки кредитоспроможності підприємства / О. В. Корольова-Казанська // Економічний аналіз: Збірник наукових праць. — 2009. — Вип. 4. — С. 240—244.

11. Кредитний ризик комерційного банку: Навч. посіб. / [В. В. Вітлінський, О. В. Пернарівський, Я. С. Наконечний, Г. І. Великоіваненко]; За ред. В. В. Вітлінського. — К.: Т-во «Знання», КОО, 2000. — 251 с.

12. *Маляр М. М.* Модель оцінки кредитоспроможності підприємства в умовах невизначеності / М. М. Маляр, В. В. Поліщук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 3/4. — С. 8—16.

13. *Matviychuk A. V.* Bankruptcy prediction in transformational economy: discriminant and fuzzy logic approaches / A. V. Matviychuk // Fuzzy economic review. — 2010. — May. — Vol. XV. — No. 1. — P. 21—38.

14. *Матвійчук А. В.* Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка: монографія / А. В. Матвійчук. — К.: КНЕУ, 2011. — 439 с.

15. Офіційний сайт державної установи «Агентство з розвитку інфраструктури фондового ринку України»: [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://smida.gov.ua>.

16. Оцінка кредитоспроможності та інвестиційної привабливості суб'єктів господарювання: Монографія / [А. О. Єпіфанов, Н. А. Дехтяр, Т. М. Мельник, І. О. Школьник та ін.]; під ред. А. О. Єпіфанова. — Суми: УАБС НБУ, 2007. — 286 с.

17. Поглиблений кількісний аналіз кредитоспроможності позичальника як засіб зниження кредитного ризику / [Вітлінський В. В., Наконечний Я. С., Пернарівський О. В., Великоіваненко Г. І.] // Банківська справа. — 1998. — № 6. — С. 45—49.

18. Подольська В. О. Фінансовий аналіз: Навч. посібник / В. О. Подольська, О. В. Яріш. — К.: Центр навчальної літератури, 2007. — 488 с.

19. Показники діяльності банків за станом на 01.02.2014: фінансовий результат, депозити юридичних осіб, депозити фізичних осіб, структура кредитно-інвестиційного портфелю, активи та зобов'язання, капітал банків (млн. грн.): [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://aub.org.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=8752&menu=104&Itemid=112.

20. Положення про порядок формування та використання банками України резервів для відшкодування можливих втрат за активними банківськими операціями: Затверджене постановою Правління Національного банку України від 25 січня 2012 р. № 23 // Офіційний вісник України. — 2012. — № 16. — Ст. 595.

21. Притоманова О. М. Нейро-нечітка модель оцінки ступеня проблемності кредиту / О. М. Притоманова, О. С. Білай // Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. — 2012. — № 1. — С. 135—160.

22. Терещенко О. О. Нові підходи до оцінки кредитоспроможності позичальників—юридичних осіб / О. О. Терещенко // Вісник Національного банку України. — 2012. — № 1. — С. 26—30.

23. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / [Дж.-О. Ким, Ч. У. Мьюллер, У. Р. Клекка и др.]; под ред. И. С. Енюкова. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 215 с.

24. Фінансовий аналіз: Навч. посіб. / [Білик М. Д., Павловська О. В., Притуляк Н. М., Невмержицька Н. Ю.]. — К.: КНЕУ, 2005. — 592 с.

25. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. / С. Хайкин.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. — 1104 с.

26. Цал-Цалко Ю. С. Фінансовий аналіз. Підручник / Ю. С. Цал-Цалко. — К.: Центр учбової літератури, 2008. — 566 с.

27. Farrar D. E. Multicollinearity in regression analysis: the problem revisited / Farrar D. E., Glauber R. R. — Massachusetts, M. I. T., 1964. — 50 p.

28. Heaton J. Introduction to Neural Networks with Java, Second Edition / Jeff Heaton. — St. Louis: Heaton Research, Inc., 2008. — 440 p.

29. Rummelhart D. E. Learning Internal Representation by Back-Propagation Errors / Rummelhart D. E., Hinton G. E., Williams R. J. // Nature. — 1986. — No 23. — P. 533—536.

30. *Rummelhart D. E.* Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. Volume I / McClelland J. L., Rummelhart D. E., the PDP research group. – Cambridge, MA: MIT Press, 1986. — 567 p.

References

1. Azarenkova, H. M., & Bieliienkova, O. O. (2011). Reitynhove otsiniuvannia yak metod vyznachennia kredytopromozhnosti pozychalnykiv banku. *Visnyk Universytetu bankivskoi spravy Natsionalnoho banku Ukrainy (Herald of University of Banking of National Bank of Ukraine)*, 1, 219—223 [in Ukrainian].

2. Bodianskii, E. V. (2004). *Iskusstvennye neironnye seti: arkhitektury, obucheniia, primeneniia*. Kharkov: TELETEKH [in Russian].

3. Bordiuh, V. V. (2008). Teoretychni osnovy otsinky kredytopromozhnosti pozychalnyka banku. *Visnyk Universytetu bankivskoi spravy Natsionalnoho banku Ukrainy (Herald of University of Banking of National Bank of Ukraine)*, 3, 112—115 [in Ukrainian].

4. Vasylichak, S. V., & Demus, L. R. (2012). Otsinka kredytopromozhnosti pozychalnyka yak odyń z metodiv zabezpechennia ekonomichnoi bezpeky banku. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy (Research Bulletin of the Ukrainian National Forestry University)*, 22 (1), 154—161 [in Ukrainian].

5. Velykoivanenko, H. I., & Trokoz, L. O. (2012). Modeliuvannia vnutrishnikh kredytnykh reitynhiv pozychalnykiv komertsiihnoho banku. *Ekonomichnyi analiz: zbirnyk naukovykh prats (Science Works Journal «Economic Analysis»)*, 11 (1), 313-319 [in Ukrainian].

6. Velykoivanenko, H. I., & Trokoz, L. O. (2013). Modeliuvannia kredytopromozhnosti pozychalnykiv komertsiihnoho banku. *Naukovi zapysky. Seriiia «Ekonomika»: zbirnyk naukovykh prats. Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Ostrozka akademiiia» (Scientific Notes. Series «Economics»: research papers collection. Publishing house of the National University Ostroh Academy)*, 22, 137—141 [in Ukrainian].

7. Vitlinskyi, V. V. (2012). Shtuchnyi intelekt u systemi pryiniattia upravlynskykh rishen. *Neiro-nechitki tekhnolohii modeliuvannia v ekonomitsi (Neuro-Fuzzy Modeling Techniques in Economics)*, 1, 97—118 [in Ukrainian].

8. Halasiuk, V. V., & Halasiuk, V. V. (2001). Problemy otsinky kredytopromozhnosti pozychalnykiv. *Visnyk Natsionalnoho banku Ukrainy (Herald of National Bank of Ukraine)*, 9, 54—57 [in Ukrainian].

9. Nationalnyi bank Ukrainy. (2014). Dodatok do Statystychnoho biuletenu Natsionalnoho banku Ukrainy. *bank.gov.ua*. Retrieved February 14, 2014, from http://www.bank.gov.ua/control/uk/publish/category?cat_id=57898 [in Ukrainian].

10. Korolova-Kazanska, O. V. (2009). Metodychnyi instrumentarii otsinky kredytopromozhnosti pidpriiemstva. *Ekonomichnyi analiz: zbirnyk nau-*

kovykh prats (Science Works Journal «Economic Analysis»), 4, 240-244 [in Ukrainian].

11. Vitlinskyi, V. V., Pernarivskyi, O. V., Nakonechnyi, Ya. S., & Velykoivanenko, H. I. (2000). *Kredytnyi ryzyk komertsiihnoho banku: Navch. posib.* Kyiv: T-vo «Znannia», KOO [in Ukrainian].

12. Maliar, M. M., Polishchuk, V. V. (2012). Model otsinky kredytopromozhnosti pidpriemstva v umovakh nevyznachenosti. *Vostochno-Evropeiskii zhurnalпередовыkh tekhnolohii (Eastern-European Journal of Modern Technologies)*, 3/4, 8—16 [in Ukrainian].

13. Matviychuk, A. V. (2010). Bankruptcy prediction in transformational economy: discriminant and fuzzy logic approaches. *Fuzzy economic review*, 15/1, 21—38.

14. Matviychuk, A. V. (2011). *Shtuchnyi intelekt v ekonomitsi: neironni merezhi, nechitka lohika: monohrafiia.* Kyiv: KNEU [in Ukrainian].

15. Ahentstvo z rozvytku infrastruktury fondovoho rynku Ukrainy. (n.d.). *smida.gov.ua*. Retrieved March, 2013, from <http://smida.gov.ua> [in Ukrainian].

16. Yepifanov, A. O., Dekhtiar, N. A., Melnyk T. M., & Shkolnyk, I. O. (2007). *Otsinka kredytopromozhnosti ta investytsiinoi pryvablyvosti subiektyv hospodariuvannia: Monohrafiia.* Sumy: UABS NBU [in Ukrainian].

17. Vitlinskyi, V. V., Nakonechnyi, Ya. S., Pernarivskyi, O. V., & Velykoivanenko, H. I. (1998). Pohlyblenyi kilkisnyi analiz kredytopromozhnosti pozychalnyka yak zasib znyzhennia kredytnoho ryzyku. *Bankivska sprava (Banking)*, 6, 45—49 [in Ukrainian].

18. Podolska, V. O., & Yarish, O. V. (2007). *Finansovyi analiz: Navch. Posibnyk.* Kyiv: Tsentri navchalnoi literatury [in Ukrainian].

19. Asotsiatsiia Ukrainykykh bankiv. (2014). Pokaznyky diialnosti bankiv za stanom na 01.02.2014: finansovyi rezultat, depozyty yurydychnykh osib, depozyty fizychnykh osib, struktura kredytno-investytsiinoho portfeliu, aktyvy ta zoboviazannia, kapital bankiv (mln. грн.). Retrieved February 1, 2014, from http://aub.org.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=8752&menu=104&Itemid=112 [in Ukrainian].

20. Polozhennia pro poriadok formuvannia ta vykorystannia bankamy Ukrainy rezerviv dlia vidshkoduvannia mozhyvykh vtrat za aktyvnymy bankivskymy operatsihamy, zatverdzhene postanovoiu Pravlinnia Natsionalnoho banku Ukrainy vid 25 sichnia 2012 r. No. 23. (2012). *Ofitsiinyi visnyk Ukrainy (Official Herald of Ukraine)*, 16, stattia 595 [in Ukrainian].

21. Prytomanova, O. M., & Bilai, O. S. (2012). Neuro-nechitka model otsinky stupenia problemnosti kredytu. *Neuro-nechitki tekhnolohii modeliuвання v ekonomitsi (Neuro-Fuzzy Modeling Techniques in Economics)*, 1, 135—160 [in Ukrainian].

22. Tereshchenko, O. O. (2012). Novi pidkhody do otsinky kredytopromozhnosti pozychalnykiv-yurydychnykh osob. *Visnyk Natsionalnoho banku Ukrainy (Herald of the National Bank of Ukraine)*, 1, 26—30 [in Ukrainian].
23. Kim, Dzh.-O., Miuller, Ch. U., Klekka, U. R., Oldenderfer, O. S., & Bleshvild, R. K. (1989). *Faktornyi, diskriminantnyi i klasternyi analiz*. Moskva: Finansy i statistika [in Russian].
24. Bilyk, M. D., Pavlovska, O. V., Prytuliak, N. M., Nevmerzhytska, N. Yu. (2005). *Finansovyi analiz: Navch. Posib.* Kyiv: KNEU [in Ukrainian].
25. Haykin, S. (1998). *Neural Networks — A Comprehensive Foundation, Second Edition*. New Jersey: Prentice-Hall.
26. Tsal-Tsalko, Yu. S. (2008). *Finansovyi analiz. Pidruchnyk*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian].
27. Farrar, D. E., & Glauber, R. R. (1964). *Multicollinearity in regression analysis: the problem revisited*. Massachusetts: M.I.T.
28. Heaton, J. (2008). *Introduction to Neural Networks with Java* (2nd ed.) St. Louis: Heaton Research.
29. Rummelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning Internal Representation by Back-Propagation Errors. *Nature*, 23, 533—536.
30. Rummelhart, D. E., McClelland, J. L., & the PDP research group. (1986). *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition*. Volume I. Cambridge, MA: MIT Press.

Стаття надійшла до редакції 10.02.2014

РЕЙТИНГОВА ОЦІНКА СТРАХОВИХ КОМПАНІЙ УКРАЇНИ НА ЗАСАДАХ НЕЙРО-НЕЧІТКОГО МОДЕЛЮВАННЯ

В. В. Огліх

Канд. фіз.-мат. наук,
доцент кафедри економічної кібернетики

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара
проспект Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна
oglih@list.ru

Г. О. Бесчастна

Магістр з економічної кібернетики

Державний вищий навчальний заклад «Київський національний
економічний університеті мені Вадима Гетьмана»
проспект Перемоги, 54/1, м. Київ, 03680, Україна
gbeschastna@gmail.com

Дана стаття містить результати дослідження в сфері рейтингування страхових компаній, зокрема аналіз існуючих принципів та розробку ефективного підходу до вибору страхових партнерів комерційними банками задля підвищення рівня фінансової надійності та прибутковості останніх на засадах економіко-математичного моделювання. Аналіз результатів проведених експериментів виявив невідповідність традиційних підходів реальним умовам функціонування банків і страхових компаній. Запропонований підхід, який базується на принципах нейро-нечіткого моделювання та експертних методах, поєднує сценарні розрахунки з урахуванням якісних і кількісних показників, експертні знання у предметній області. Це дозволяє досягти топологічної впорядкованості об'єктів, провести групування та проаналізувати динаміку розвитку страховиків. Апробація моделей взаємодій банків і страхових компаній, проведена на даних щодо діяльності страховиків України у період 2008—2012 рр., підтвердила ефективність запропонованого математичного інструментарію для отримання адекватних рейтингових оцінок страхових компаній.

Ключові слова. *Страхові компанії, комерційні банки, карти самоорганізації Кохонена, нечітка логіка, експертні методи.*

РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА СТРАХОВЫХ КОМПАНИЙ УКРАИНЫ НА ОСНОВЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. В. Оглих

Канд. физ.-мат. наук,
доцент кафедры экономической кибернетики

Днепропетровский национальный университет имени Олеса Гончара
проспект Гагарина, 72, г. Днепропетровск, 49010, Украина
oglih@list.ru

Г. А. Бесчастная

Магистр по экономической кибернетике

Государственное высшее учебное заведение «Киевский национальный
экономический университет имени Вадима Гетьмана»
проспект Победы, 54/1, г. Киев, 03680, Украина
gbeschastna@gmail.com

Данная статья содержит результаты исследования в сфере рейтингования страховых компаний, в частности анализ существующих принципов и разработку эффективного подхода к выбору страховых партнеров коммерческими банками для повышения уровня финансовой надежности и доходности последних на основе экономико-математического моделирования. Анализ результатов проведенных экспериментов дал возможность обнаружить несоответствие традиционных подходов реальным условиям функционирования банков и страховых компаний. Предложенный подход, основанный на принципах нейро-нечеткого моделирования и экспертных методах, сочетает сценарные расчеты с учетом качественных и количественных показателей, экспертные знания в предметной области. Это позволяет достичь топологической упорядоченности объектов, провести группировку и проанализировать динамику развития страховщиков. Аprobация моделей взаимоотношений банков и страховых компаний, проведенная на данных о деятельности страховщиков Украины в период 2008-2012 гг., подтвердила эффективность предложенного математического инструментария для получения адекватных рейтинговых оценок страховых компаний.

Ключевые слова. *Страховые компании, коммерческие банки, карты самоорганизации Кохонена, нечеткая логика, экспертные методы.*

RATING ASSESSMENT OF UKRAINIAN INSURANCE COMPANIES BASED ON NEURO-FUZZY MODELING

Valentyna Oglih

PhD (Physics and Mathematical Sciences)

Associate Professor, Department of Economic Cybernetics
Oles Honchar Dnepropetrovsk National University
72 Gagarin Avenue, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine
oglih@list.ru

Halyna Beschastna

Master's Degree in Economic Cybernetics

State Higher Educational Establishment
«Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman»
54/1 Peremogy Avenue, Kyiv, 03680, Ukraine
gbeschastna@gmail.com

This article contains the results of research in field of rating processes of insurance companies, in particular the analysis of existing policies and developing of an effective approach to the selection of insurance partners by commercial banks in order to improve profitability and financial reliability of banks on the basis of economic and mathematical modeling. Analysis of the results of the experiments provided an opportunity to detect in consistencies of traditional approaches to real conditions of functioning of banks and insurance companies. The suggested approach, which is based on the principles of neuro-fuzzy modeling and expert methods, combines scenario calculations with considering qualitative and quantitative indicators, experts' knowledge in the subject area. It allows to reach a topological ordering of objects, defining clusters and analysing the dynamics of development of insurers. Approbation of the models performed on data of insurers, which was working in Ukraine in 2008-2012. It helped to confirm the effectiveness of mathematical tools for getting adequate ratings of insurance companies.

Keywords. *Insurance companies, commercial banks, Kohonen self-organizing maps, fuzzy logic, expert methods.*

JEL Classification: C 45, G 21, G 22

Фінансова криза 2008—2009 рр. внесла суттєві зміни у здавалось би відносно непорушну та загальноприйнятну структуру як українського, так і світового фінансових ринків, та змусила повністю переглянути усталені відносини між його учасниками. Зокрема, стало зрозуміло, що існуюча система взаємодії комерційних банків і страховиків, яка є невід'ємною складовою функціонування будь-якої економіки, виявилась неефективною та вимагає повного перегляду основних принципів спільної роботи.

Для фінансових установдієвим інструментом подолання кризових явищ є часткове або повне страхування своїх кредитних портфелів, що дає їм можливість отримати компенсацію від свого страхового партнера у разі прострочення виплат за кредитами та виключити неякісну заборгованість з балансу у подальшому. Ще одним важливим аспектом встановлення взаємовигідного та збалансованого партнерства є готовність банку обслуговувати фінансові операції страхової компанії. Таким чином, для комерційного банку при виборі свого страхового партнера ключовими критеріями виступають надійність та ефективність страхової компанії.

Для розуміння того, які ж саме страхові компанії є більш стійкими та заслуговують на акредитацію банку, його фахівцям необхідно проаналізувати значний обсяг інформації різного характеру, якість котрої досить часто викликає сумніви. Додатковою складністю при аналізі діяльності страховиків та їх рейтингуванні є недостатність спеціалістів з необхідним досвідом і кваліфікацією, які здатні проаналізувати великий масив іноді суперечливих показників у розрізі ринку страхових послуг, для якого характерна постійна зміна складу учасників та динамічний розвиток.

Притаманна банкам політика вибору страхового партнера, яка полягала у лобюванні, а також у акредитації компаній, які були готові платити їм непомірно завищені комісії, та майже повному ігноруванні рівня їх платоспроможності відносно виплати компенсацій, довела свою недієздатність. В умовах різкого підвищення обсягів виплат і зниження темпів кредитування такі страхові компанії виявилися неспроможними виплачувати банкам не тільки комісії, а й страхові компенсації. Засвоївши даний урок, фінансові установи стали більш прискіпливо ставитися до аналізу фінансового стану страховиків і їх здатності виконувати свої зобов'язання.

Таким чином, перед банками постала проблема розробки автоматизованої системи відбору та класифікації своїх страхових партнерів, яка б дозволила оцінити страховиків у контексті перебігу процесів, що протікають на страховому ринку [1].

Застосування методик, що традиційно використовуються провідними рейтинговими агенціями для оцінки компаній, які діють у недосконалому страховому полі України на фоні дефіциту компетентних спеціалістів, є майже неможливим.

Однак, суттєву роль засади рейтингування відіграють саме у ході аналізу роботи страхового сектора через значну долю невизначеності характеристик роботи страховиків. Хоча, поняття «рейтинг» на даний момент зустрічається майже у всіх сферах економічної діяльності.

Не один рік питання щодо принципів і підходів до об'єктивного визначення рейтингів вивчається широким колом як вітчизняних, так іноземних науковців та аналітиків.

У сучасній науковій літературі існує досить велика кількість запропонованих дефініцій поняття «рейтинг». Наприклад, О. В. Кузьменко визначає рейтинг як процедуру аналізу, у результаті якої об'єкт отримує певну оцінку, що відповідає його нинішньому фінансовому стану та прогнозу діяльності [2, с. 166]. Відповідно до визначення Г. В. Осовської [2], рейтинг – інтегрований показник, що характеризує місце окремих структур у загальній їхній сукупності; або оцінка, віднесення до класу, розряду, категорії. У той же час А. Т. Ковальчук у «Фінансовому словнику» надає таке визначення: «рейтинг — показник, що характеризує віднесення до розряду, категорії; а також показник відносної кредитоспроможності визначеного позичальника або якості та надійності цінних паперів, який обчислює авторитетне агентство. Рейтинг може позначатися по-різному. Так, у США він починається від «потрійного А» і далі знижується. Найвищі за надійністю щодо виплат відсотків і погашення цінні папери відносять до категорії «ААА», найнижчі — до категорії «С»» [3, с. 210].

Вагомий внесок у дослідження та розробку основних теоретичних засад до підходів рейтингування економічних суб'єктів зробили вітчизняні науковці Г. Л. Вознюк, А. Г. Завгородній, А. М. Карминський, В. В. Корнеєв, Л. Ш. Лазовський, Р. А. Павлов, Л. В. Руденко, С. О. Смирнов, Е. Б. Стародубцева, Н. В. Ткаченко та інші.

Аналіз нормативно-правової бази України стосовно визначення рейтингових оцінок регіонів, галузей національної економіки та суб'єктів господарювання показав, що відповідно схваленому Кабінетом Міністрів України розпорядженню від 01.04.2004 № 208-р визначення ступеня ефективності фінансової установи, виконання нею фінансових нормативів і рівня ризикованості її діяльності встановлюються за результатами рейтингування. Однак, конкретної методики та основних принципів до визначення рейтингових оцінок не надається.

Залежно від аспектів дослідження проблем значна увага іноземних та вітчизняних авторів приділялась питанню визначення фінансової надійності, рівня ризикованості та визначення рейтингових оцінок страхових компаній. Зокрема, це стосується робіт Н. М. Внукова, Л. В. Временко, А. Ю. Казак, Г. В. Кравчук, О. Л. Ольховська, Ю. Е. Слепухіна, В. І Успенко та Л. В. Шірінян [4—8].

Проблемі оцінки фінансових ризиків і надійності страхових компаній присвячено роботи [4; 5], але в них основна увага приділена теоретичним аспектам та актуальності, в той час як практична складова та конкретні методики рейтингування майже відсутні. У [6] автор пропонує діагностувати ризик банкрутства страховиків за допомогою моделі, яка базується на нечіткій логіці. Однак, хоча модель, параметри якої налаштовані на реальних даних, дозволяє класифікувати компанії на банкрути та стабільно функціонуючі з урахуванням експертних знань, вона не дає можливості оцінити динаміку розвитку страховика та його положення на ринку відносно інших учасників, що є досить важливим при виборі комерційним банком свого страхового партнера.

Окрема увага приділялась дослідженню та аналізу методологій визначення рейтингових оцінок для страхових компаній. Зокрема, в [7] автор пропонує визначити рейтинг кожної окремої страхової компанії, аналізуючи показники рентабельності, ліквідності активів, маневреності власних засобів і незалежності страховика. Хоча, в такий спосіб і можна достатньо адекватно оцінити поточний стан компаній, однак, визначити рівень надійності та проаналізувати динаміку її розвитку не є можливим.

Розглянутий у [8] підхід до рейтингування учасників ринку страхових послуг України шляхом оцінки якості страхових послуг з точки зору як страховика, так і страхувальника, спирається

лише на оцінки експертів, що робить його суб'єктивним. На наш погляд, цього недостатньо, оскільки при визначенні рейтингових оцінок слід брати до уваги широке коло показників як якісного, так і кількісного характеру.

Аналіз методів, які застосовують іноземні агенції, наприклад «Moody's», «Standard&Poor's», «Fitch», «A. M. Best», «Dun&Bradstreet» і «KPMG» [9—14], показав, що розроблені ними системи оцінки фінансової стійкості страхових компаній, а також їх класифікації, у більшості випадків не можуть адекватно описати український ринок з його динамічними змінами та ускладненнями прогнозування. Вони орієнтовані на аналіз підприємств розвинених країн, яким притаманні відносно стабільні темпи розвитку, низький рівень «тіньової економіки» та чітко визначена нормативно-правова база.

У Росії достатньо поширеними є методики таких агентств, як «Експерт РА», «Рейтор», «Рус-Рейтинг» і «АК&М». Результат їх застосування занадто залежить від суб'єктивних оцінок експертів і рівня їх кваліфікації.

В Україні також існують деякі методи оцінки, хоча більшість авторитетних страхових видань [15—17] формують рейтинги страховиків України за кожним показником або видом страхування окремо, не пропонуючи комплексної оцінки. На даний момент на вітчизняному ринку представлені такі рейтингові агенції, як «ІВІ-Рейтинг», «Кредит-Рейтинг», «Рюрик» і «Експерт-Рейтинг», з яких тільки дві здійснюють рейтингування страховиків за всіма видами послуг, включаючи страхування життя.

Ще одним недоліком українських рейтингів страховиків є те, що жодний з них не відображає інформацію про споживчі якості, оскільки більшість аудиторських звітів компаній, на базі яких формуються рейтинги, мають досить очевидні ознаки фальсифікацій. Зокрема, за результатами рейтингів, які складаються відомим і поважним страховим виданням «InsuranceTop» [15], лідери ринку практично не змінюються за кожною характеристикою роботи страхових компаній. Цей факт викликає підозри багатьох спеціалістів, бо всі лідируючі компанії є членами «Ліги страхових організацій України», офіси якої знаходяться в одній будівлі з офісом «InsuranceTop». Дані, наведені у статті генерального директора «Асоціації страховиків України» Л. Хоріна «Чи можна довіряти рейтингу «InsuranceTop»?» [18], свідчать про те, що фінансування роботи досить дорогого видавництва, оновлення ін-

формації, збір статистичних даних і рейтингування проводять виключно за рахунок співробітників редакції, що також викликає сумніви щодо адекватності та об'єктивності інформації «InsuranceTop».

Держкомісія з регулювання ринків фінансових послуг України розробила ряд рекомендацій щодо аналізу структури та функціонування ринку страхових послуг [19], які майже не беруться до уваги вітчизняними рейтинговими агенціями та страховими виданнями.

Незважаючи на велику кількість наукових робіт, присвячених питанню рейтингування страхових компаній, досі так і не було розроблено підходу, який би адекватно відображав структуру та основні засади функціонування страхового ринку України та його взаємодії з банківським сектором. Тобто, дана проблема досліджена недостатньо та потребує найскорішого вирішення.

Наукове обґрунтування пріоритетів щодо співпраці банків і страхових компаній має базуватися на застосуванні економіко-математичної методології, яка б включала оцінку як якісних, так і кількісних показників їх роботи. Для забезпечення такої можливості авторами цієї статті запропоновано у ході розробки підходу до рейтингування страхових компаній застосувати інструментарій карт самоорганізації (SOM) Кохонена в поєднанні з принципами нечіткого моделювання та експертними методами.

Розробкою, дослідженням та порівнянням різноманітних методів експертних оцінок займалися Б. Г. Литвак [20], Г. М. Гнатієнко [21], Ю. Ф. Мартемьянов [22], а також багато інших вітчизняних та іноземних науковців.

Для подальшої обробки якісних показників доцільно застосувати методи нечіткого моделювання, які є ефективним інструментом для врахування експертних знань та обробки лінгвістичної інформації. Основний фундамент теорії нечітких множин було закладено професором Лотфі Заде [23], а в Україні розробкою та впровадженням різноманітних нечітких моделей займалися провідні науковці В. В. Вітлінський [24], К. Ф. Ковальчук [25], А. В. Матвійчук [26], С. Д. Штовба [27] та ін. Залучення до нечітких моделей технології нейронних мереж забезпечує можливість автоматичного налагодження їх параметрів з урахуванням кількісних та якісних факторів і надає низку додаткових переваг у ході моделювання фінансово-економічних систем.

Сучасні методики рейтингування використовують карти самоорганізації Кохонена здебільшого для аналізу фінансової стійкості фінансових установ і визначення їх положення на ринку відносно інших його учасників [9; 10]. Утім, практичний досвід щодо їх застосування для дослідження процесів в українській економіці більш пов'язаний з аналізом діяльності комерційних банків і тому потребує адаптації для страхових компаній.

Таким чином, зважаючи на високий рівень актуальності зазначеної проблеми та коло нерозв'язаних задач, метою даного дослідження є підвищення рівня фінансової надійності та прибутковості комерційних банків шляхом ефективного вибору страхових партнерів на засадах економіко-математичного моделювання.

Зауважимо, що основна складність у ході розробки підходу до рейтингування страхових компаній полягає в тому, що для одержання результатів, які будуть адекватно відображати існуючу структуру та принципи функціонування страхового ринку, слід проаналізувати показники не тільки кількісного, а й якісного характеру.

Задача полягає у такому: потрібно сформувати рейтинги, які будуть адекватно відображати функціонування страховиків відносно інших у нестационарному середовищі українського страхового сектору, та проаналізувати динаміку їх роботи.

Можна припустити, що стратегія управління страхових компаній суттєво впливає на фінансовий стан, відображає їх місце на страховому ринку і віддзеркалюється у підсумковому інтегральному показнику стійкості та розвитку.

Відомо, що діяльність p страхових компаній протягом m періодів часу характеризується за \tilde{n} кількісними показниками, які занесені у матрицю $\tilde{A} = \{\tilde{a}_{ijk}\}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, \tilde{n}}; k = \overline{1, p}$, та z якісними показниками, які містяться в $\bar{A} = \{\bar{a}_{ijk}\}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, z}; k = \overline{1, p}$, де елемент \bar{a}_{ijk} – це лінгвістична оцінка k -го страховика за j -м якісним показником протягом i -го періоду часу.

Задля рейтингування учасників ринку страхових послуг, аналізуючи набір іноді суперечливих характеристик діяльності страхових компаній, необхідно:

— сформувати матрицю кількісних оцінок якісних показників $Q = \{q_{ijk}\}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, z}; k = \overline{1, p}$ на основі відповідних лін-

гвістичних оцінок з якісних показників матриці $\bar{A} = \{\bar{a}_{ijk}\}$ із застосуванням експертних методів;

— отримати підсумкову кількісну оцінку якісних показників діяльності страхових компаній на українському ринку на базі матриці Q , тобто матрицю $H = \{\gamma^*_{ik}\}; i = \overline{1, m}; k = \overline{1, p}$;

— сформувати набір інформативних показників кількісного характеру, тобто матрицю $A = \{a_{ijk}\}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, k = \overline{1, p}, n = \tilde{n} + 1$, де n —кількість показників, що мають кількісний характер. У кожен i -ий період часу елемент a_{ink} буде приймати значення $\gamma^*_{ik}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, p}$;

— встановити адекватну з огляду на задачі дослідження кількість кластерів g для розподілу серед них страхових компаній і надати їм лінгвістичну оцінку;

— визначити шляхом послідовних математичних перетворень місце на ринку страхових послуг кожної з p компаній та розподілити їх за g кластерами в момент часу $i, i = \overline{1, m}$;

— за підсумками кластеризації у різні періоди часу отримати підсумковий інтегральний показник стійкості та розвитку для кожного k -го страховика, тобто $O = \{o_k\}, k = \overline{1, p}$.

Загальну схему реалізації розробленого підходу до рейтингування страхових компаній, який включає всі зазначені етапи, зображено на рис. 1.

Розглянемо алгоритм задачі визначення підсумкового інтегрального показника стійкості та розвитку для учасників страхового ринку більш детально.

На підставі заданої матриці $\bar{A} = \{\bar{a}_{ijk}\}$ формуємо матрицю експертних оцінок $Q = \{q_{ijk}\}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, z_q}; k = \overline{1, p}$. Для отримання попередніх числових оцінок q_{ijk} за z суб'єктивними характеристиками, які неможливо формалізувати математичними способами без їх попередньої обробки, можна скористатись одним із методів експертних оцінок.

Етапи отримання оцінок якісних суб'єктивних характеристик діяльності страхових компаній такі:

- визначення мінімально-необхідної кількості експертів;
- оцінка рівня компетентності експертів;
- вибір найбільш компетентних експертів;

- оцінка альтернатив та визначення їх корисності;
- визначення ступеня узгодженості оцінок об'єктів експертизи;
- аналіз отриманих результатів експертизи.

На розмір експертної групи впливає величезна кількість факторів і передумов, які залежать від ступеня актуальності проблеми, що вирішують. Будемо розраховувати мінімально-необхідну кількість експертів як:

$$N_{ex\min} = 0,5*(3/\varpi + 5), \quad (1)$$

де $\varpi \in (0;1)$ — можлива помилка результатів експертизи, що задається особою, яка проводить експертизу [20].

Оцінки рівня компетентності експертів отримують за допомогою методу колективної оцінки, який наведено в [28]. Згідно цього методу кожен з N_{over} наявних експертів повинен обрати $N_{ex\min}$ найкомпетентніших, на його думку, колег. У результаті чого формується матриця:

$$\tilde{\Psi} = \{\tilde{\psi}_{\tau\pi}\}, \tau = \overline{1, N_{over}}, \pi = \overline{1, N_{over}}, \quad (2)$$

де $\tilde{\psi}_{\tau\pi} \in \{0;1\}$, тобто, якщо τ -го експерта було вибрано π -м експертом, то $\tilde{\psi}_{\tau\pi} = 1$, та 0 у протилежному випадку. Оскільки експерт не може обрати сам себе, то $\tilde{\psi}_{\tau\tau} = 0 \quad \forall \tau$.

Кожен експерт може обрати лише $N_{ex\min}$ експертів, тому справедливо таке:

$$\sum_{\tau=1}^{N_{over}} \tilde{\psi}_{\tau\pi} = N_{ex\min}, \pi = \overline{1, N_{over}}. \quad (3)$$

Сума голосів, яку отримав кожен експерт τ , знаходиться за формулою:

$$\tilde{\Psi}_{\tau} = \sum_{\pi=1}^{N_{over}} \tilde{\psi}_{\tau\pi}, \tau = \overline{1, N_{over}}. \quad (4)$$

Отримане значення $\tilde{\Psi}_{\tau}$ буде розглядатися як вага суджень щодо τ -го експерта.

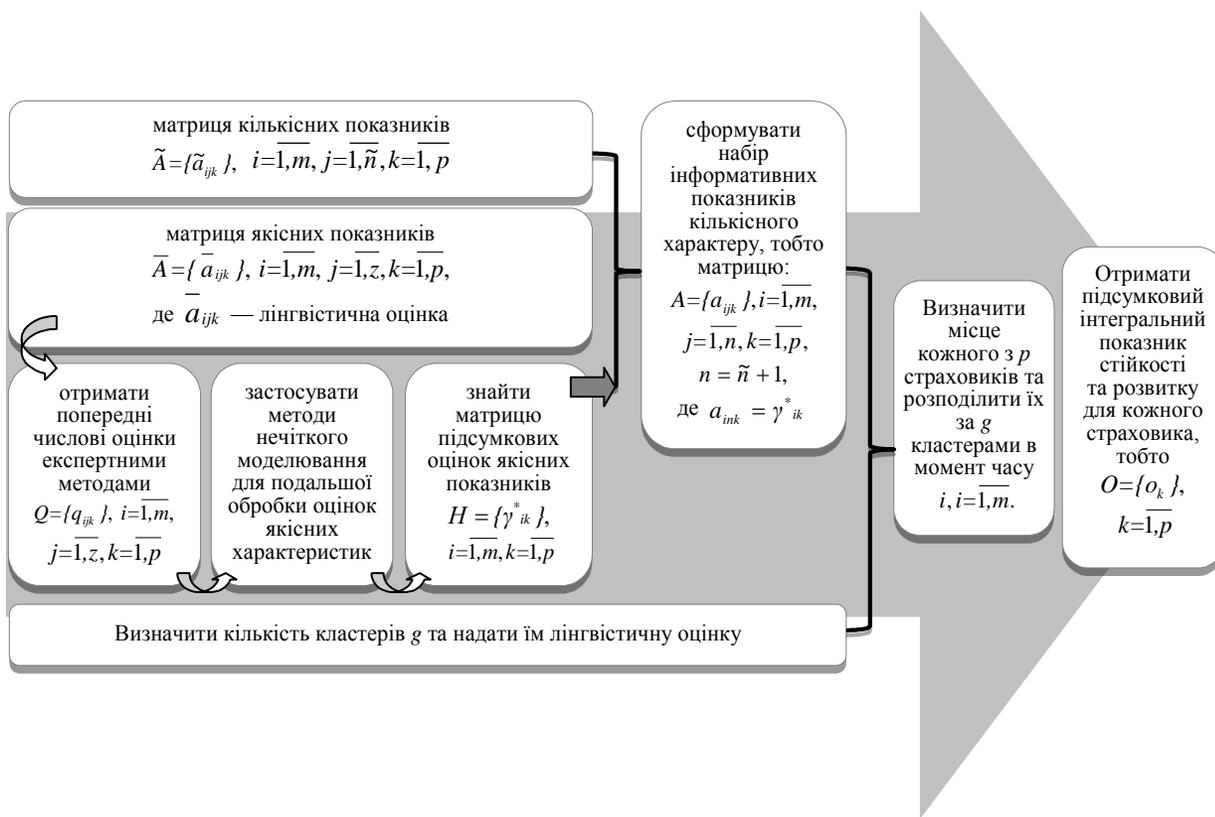


Рис. 1. Загальна схема реалізації підходу до рейтингування страхових компаній

Формуємо нову матрицю $\hat{\Psi} = \{\hat{\psi}_{\tau\pi}\}$, $\tau, \pi = \overline{1, N_{over}}$ за правилом:

$$\hat{\psi}_{\tau\pi} = \begin{cases} \tilde{\psi}_{\pi}, & \text{якщо } \tilde{\psi}_{\tau\pi} = 1; \\ 0, & \text{якщо } \tilde{\psi}_{\tau\pi} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

На базі $\hat{\Psi}$ отримуємо скореговані сумарні взаємні оцінки експертів за такою формулою:

$$\hat{\psi}_{\tau} = \sum_{\pi=1}^{N_{over}} \hat{\psi}_{\tau\pi}, \tau = \overline{1, N_{over}}. \quad (6)$$

Обираємо N_{exmin} найкомпетентніших експертів, тобто тих, для яких значення $\hat{\psi}_{\tau}$ найбільше. Для зручності у подальших розрахунках скорегуємо значення оцінок $\hat{\psi}_{\tau}$ для кожного τ -го експерта ($\tau = \overline{1, N_{exmin}}$) так, щоб вони приймали значення від 0 до 1:

$$\psi_{\tau} = \frac{\tilde{\psi}_{\tau}}{\max_{\nu=\overline{1, N_{exmin}}} \tilde{\psi}_{\nu}}, \tau = \overline{1, N_{exmin}}. \quad (7)$$

Після того як було сформовано групу експертів та оцінено їх компетентність буде доцільно провести пошук індивідуальної суб'єктивної співставленої оцінки альтернатив, спираючись на принципи теорії корисності, у кожен i -ий період часу, $i = \overline{1, m}$. В якості оцінюваних альтернатив виступають якісні показники діяльності учасників страхового ринку.

Для визначення корисностей наявних альтернатив у період часу i ($i = \overline{1, m}$) була використана методика Фішберна [29], яка базується на якісній оцінці характеру множин альтернатив. Доцільно припустити, що корисність альтернатив приймає значення від 0 до 1.

Розглянемо, яким чином виставляються оцінки альтернатив кожним τ -м експертом для чотирьох можливих випадків [22]:

1. У разі, якщо альтернативи $\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \dots, \varphi_{iz}, i = \overline{1, m}$ є рівнозначними, то в якості оцінки значень функції корисності візьмемо таке співвідношення:

$$\hat{u}^\tau(\varphi_{ij}) = \frac{1}{z}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z}. \quad (8)$$

2. Якщо з точки зору переваг множина альтернатив представляє собою ряд, якому притаманна повна транзитивність вигляду:

$$\varphi_{i1} \succ \varphi_{i2} \succ \dots \succ \varphi_{iz}, i = \overline{1, m}, \quad (9)$$

то значення функції корисності може бути визначено за формулою:

$$\hat{u}^\tau(\varphi_{ij}) = \frac{2^{*(z-j+1)}}{z^{*(z+1)}}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z}. \quad (10)$$

3. Якщо наявним альтернативам відповідає відносно сильна транзитивність, тобто:

$$\varphi_{ij} \succ (\varphi_{ij+1} \wedge \varphi_{ij+2} \wedge \dots \wedge \varphi_{iz}), i = \overline{1, m}, \quad (11)$$

де \wedge — логічний знак кон'юнкції (знак «та»), то функція корисності представлена формулою:

$$\hat{u}^\tau(\varphi_{ij}) = \frac{2^{z-j}}{2^{z-1}}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z}. \quad (12)$$

На наступному етапі аналізу, який проводиться експертною групою, кожен τ -ий експерт у період часу i виставляє кожному k -му об'єкту сукупності за j -м показником відповідність деяке число ζ_{ijk}^τ , яке знаходиться у проміжку від 0 до 1.

У результаті, підсумкова експертна оцінка у кожен i -ий період часу за j -м якісним показником k -го страховика розраховується за формулою:

$$\bar{q}_{ijk} = \sum_{\tau=1}^{N_{\text{exmin}r}} (\zeta_{ijk}^\tau * \psi_\tau * \hat{u}^\tau(\varphi_{ij})), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z}, k = \overline{1, p}, \quad (13)$$

де ζ_{ijk}^τ — оцінка k -го об'єкта τ -м експертом за j -м показником у i -ий період часу;

ψ_τ — оцінка компетентності τ -го експерта;

$\hat{u}^\tau(\varphi_{ij})$ — оцінка корисності j -ої альтернативи експертом τ у період часу i .

Для зручності подальшої обробки підсумкової експертної оцінки p страховиків, скоригуємо їх значення в кожен i -ий період часу за j -м показником таким чином, щоб вони належали інтервалу від 0 до 100, за формулою:

$$q_{ijk} = \frac{\bar{q}_{ijk} * 100}{\max_k \{\bar{q}_{ijk}\}}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z}, k = \overline{1, p}. \quad (14)$$

Відповідно до визначених значень q_{ijk} , для кожного j -го показника кожній k -ій компанії в i -ий період часу виставляється ранг r_{ijk} за таким принципом: 1 відповідає максимальній оцінці q_{ijk} ; 2 — наступний за значенням і так далі до тих пір, доки p -му об'єкту не буде поставлено у відповідність мінімальне значення q_{ijk} .

Для того, щоб кількісно оцінити ступінь узгодженості експертів, розрахуємо для кожного j -го показника в i -ий період значення коефіцієнта конкордації за формулою:

$$U_{ij} = \frac{12 * d_{ij}}{N_{over}^2 * (z^3 - z^2)}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z}, \quad (15)$$

де $d_{ij} = \sum_{k=1}^p d_{ijk}^2 = \sum_{k=1}^p (\sum_{\tau=1}^{N_{over}} r_{ijk} - 0,5 * N_{over} * (z + 1))^2, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z},$

r_{ijk} — місце, яке зайняла k -та компанія в ранжуванні за j -м показником у період часу i ;

d_{ijk} — відхилення суми рангів по k -тій компанії за j -м показником у i -ий період від середнього арифметичного сум рангів за z показниками.

За допомогою коефіцієнту конкордації оцінюються ряди переваг, які виставлені кожним експертом, за ступенем їх узгодженості між собою. Слід зазначити, що $U_{ij} \in [0; 1]$, тобто $U_{ij} = 0$ свідчить про абсолютну протилежність оцінок, а $U_{ij} = 1$ — повне співпадіння ранжувань, відповідно. Зокрема, достовірність оцінювання є адекватною, якщо $U_{ij} \geq 0,7$ [20].

Для подальшої обробки матриці якісних оцінок Q , отриманих для кожного i -го періоду часу, були застосовані методи нечіткого моделювання. Спираючись на результати, отримані за допомо-

гою експертних методів, для визначення підсумкової оцінки якісних показників діяльності страхових компаній на українському ринку γ_{ik} , визначених для m періодів часу, із множини суб'єктивних показників була сформована єдина система нечіткого виводу, де кількість показників дорівнює z , а кількість об'єктів, що будуть ідентифікуватися на її базі, відповідає кількості страховиків p , що розглядаються.

Центральним поняттям теорії нечітких множин є поняття лінгвістичної змінної, тобто такої змінної, значеннями якої є слова або вирази природної чи штучної мови. Множина всіх можливих значень лінгвістичної змінної називається терм-множиною. Будь-який елемент терм-множини називається термом [27]. Належність того чи іншого показника до кожного з його лінгвістичних термів визначається деякою мірою впевненості, яка може бути встановлена із уведенням спеціальної кількісної ознаки та розрахована за так званою функцією належності. Функція належності визначає ступінь відповідності довільного елемента універсальної множини нечіткій множині, яка є підмножиною універсальної множини та описується певним лінгвістичним термом.

Для дискретної універсальної множини Q у кожен i -ий період часу при побудові функцій належності зазвичай застосовуються підходи, згідно з якими усім або окремим елементам q_{ijk} , $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z}, k = \overline{1, p}$ універсальної множини ставлять у відповідність значення функції належності $\mu^w(q_{ijk})$, $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z}, k = \overline{1, p}$, до нечіткої множини \tilde{W} , утворюючи таким чином сукупність пар $(\mu^w(q_{ijk}), q_{ijk})$, $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z}, k = \overline{1, p}$. Визначення відповідних значень функцій належності може бути здійснено шляхом статистичної обробки суджень групи експертів.

При побудові нечіткої моделі у кожен i -ий період часу за z різними показниками для p страхових компаній необхідно визначити множину можливих класів $V = \{v_r\}, r = \overline{1, R}$ та надати їм лінгвістичну оцінку, а також сформуванати базу правил для подальшої класифікації. Для визначення дискретного значення елемента $v_r \in V, r = \overline{1, R}$ для кожної k -ої компанії у кожен i -ий період застосовуємо алгоритм [30], в основу якого покладено принцип Заде ідентифікації лінгвістичного терму за максимумом функції належності $\mu^{v_r}(q_{i1k}^*; q_{i2k}^*, \dots, q_{izk}^*)$, де $X^* = (q_{i1k}^*; q_{i2k}^*, \dots, q_{izk}^*)$ — вектор

фіксованих значень вхідних змінних, та подальше узагальнення такого підходу на всю матрицю знань.

Функція належності визначає ступінь належності кожного елемента q_{ijk}^* , $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z}, k = \overline{1, p}$ до різних лінгвістичних термів з відповідної множини $W_j = \{w_j^1, w_j^2, \dots, w_j^{c_j}\}$, $j = \overline{1, z}$ (c_j – кількість термів у множині W_j вхідної змінної q_{ijk}) та результуючої змінної γ_{ik} до кожного з термів множини V .

Загальний вигляд бази знань представлено у таблиці 1, в якій $w_j^{r h_r}$ — значення лінгвістичного терму вхідної змінної q_{ijk} ($i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z}, k = \overline{1, p}$) за h_r правилом, що відповідає r -му терму результуючої змінної ($r = \overline{1; R}$), а $\omega_{r h_r}$ — вага правила прийняття рішення.

Таблиця 1

НЕЧІТКА БАЗА ЗНАТЬ

№ вхідної комбінації	Вхідні змінні				Вага правила	Вихідна змінна
	q_{i1k}	q_{i2k}	... q_{ijk} ...	q_{izk}		
11	w_1^{11}	w_2^{11}	w_j^{11}	w_z^{11}	ω_{11}	v_1
12	w_1^{12}	w_2^{12}	w_j^{12}	w_z^{12}	ω_{12}	
...	
$1h_1$	$w_1^{1h_1}$	$w_2^{1h_1}$	$w_j^{1h_1}$	$w_z^{1h_1}$	ω_{1h_1}	
...
$r1$	w_1^{r1}	w_2^{r1}	w_j^{r1}	w_z^{r1}	ω_{r1}	v_r
...	
rh_r	$w_1^{rh_r}$	$w_2^{rh_r}$	$w_j^{rh_r}$	$w_z^{rh_r}$	ω_{rh_r}	
...
$R1$	w_1^{R1}	w_2^{R1}	w_j^{R1}	w_z^{R1}	ω_{R1}	v_R
...	
Rh_R	$w_1^{Rh_R}$	$w_2^{Rh_R}$	$w_j^{Rh_R}$	$w_z^{Rh_R}$	ω_{Rh_R}	

Сформована, спираючись на знання експертів, база знань ставить у відповідність вектору вхідних змінних одне з можливих значень v_r , $r = \overline{1, R}$, за принципом «ЯКЩО...ТОДІ..., ІНАКШЕ...» для кожної k -ої компанії у період i , тобто:

ЯКЩО $(q_{i1k} = w_1^{11})$ ТА $(q_{i2k} = w_2^{11})$ ТА...

ТА $(q_{izk} = w_z^{11})$ (з вагою ω_{11})

АБО $(q_{i1k} = w_1^{12})$ ТА $(q_{i2k} = w_2^{12})$ ТА ...

ТА $(q_{izk} = w_z^{12})$ (з вагою ω_{12})

АБО ...

АБО $(q_{i1k} = w_1^{1h_1})$ ТА $(q_{i2k} = w_2^{1h_1})$ ТА ...

ТА $(q_{izk} = w_z^{1h_1})$ (з вагою ω_{1h_1}),

ТОДІ $\gamma = v_1$, ІНАКШЕ...

ЯКЩО $(q_{i1k} = w_1^{r1})$ ТА $(q_{i2k} = w_2^{r1})$ ТА...

ТА $(q_{izk} = w_z^{r1})$ (з вагою ω_{r1})

АБО $(q_{i1k} = w_1^{r2})$ ТА $(q_{i2k} = w_2^{r2})$ ТА ...

ТА $(q_{izk} = w_z^{r2})$ (з вагою ω_{r2})

АБО ...

АБО $(q_{i1k} = w_1^{rh_r})$ ТА $(q_{i2k} = w_2^{rh_r})$ ТА ...

ТА $(q_{izk} = w_z^{rh_r})$ (з вагою ω_{rh_r}),

ТОДІ $\gamma = v_r$, ІНАКШЕ...

ЯКЩО $(q_{i1k} = w_1^{R1})$ ТА $(q_{i2k} = w_2^{R1})$ ТА...

ТА $(q_{izk} = w_z^{R1})$ (з вагою ω_{R1})

АБО ...

АБО $(q_{i1k} = w_1^{Rh_R})$ ТА $(q_{i2k} = w_2^{Rh_R})$ ТА ...

ТА $(q_{izk} = w_z^{Rh_R})$ (з вагою ω_{Rh_R}),

ТОДІ $\gamma = v_R$. (16)

Базу правил прийняття рішень і систему нечітких логічних рішень у компактній формі можна записати як:

$$\mu^{v_r}(q_{i1k}, q_{i2k}, \dots, q_{izk}) = \bigvee_{l=1}^{h_r} \left(w_{rl} \left[\bigwedge_{j=1}^z \mu^{w_j^r}(q_{ijk}) \right] \right), r = \overline{1, R}. \quad (17)$$

Значення функції належності $\mu^{v_r}(q_{i1k}, q_{i2k}, \dots, q_{izk})$ для кожного лінгвістичного терму $v_r, r = \overline{1, R}$, результуючої змінної γ моделі у кожен i -ий період часу для кожної k -ої страхової компанії розраховується так:

$$\gamma_{ik}^* = \arg \max_{\{v_1, v_2, \dots, v_r\}} [\mu^{v_r}(q_{i1k}^*; q_{i2k}^*, \dots, q_{izk}^*)], i = \overline{1, m}, k = \overline{1, p}. \quad (18)$$

Після проведення операції дефазифікації (перетворення нечіткої множини у чітке число) знаходиться кількісна оцінка результуючої змінної γ_{ik}^* , яка відповідає заданому вхідному вектору Q [26, с. 110—120].

У результаті обробки отриманих експертних оцінок якісних показників за допомогою побудованої нечіткої моделі, для кожної k -ої страхової компанії для кожного періоду часу i визначається числове значення підсумкової оцінки якісних показників діяльності страхових компаній на українському ринку γ_{ik}^* , тобто формуємо матрицю $H = \{\gamma_{ik}^*\}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, p}$.

Матриця $A = \{a_{ijk}\}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, k = \overline{1, p}; n = \tilde{n} + 1$ формується таким чином:

$$a_{ijk} = \begin{cases} \tilde{a}_{ijk}, & \text{якщо } j = \overline{1, \tilde{n}}; \\ \gamma_{ik}^*, & \text{якщо } j = \tilde{n} + 1. \end{cases} \quad (19)$$

Подальша обробка та аналіз матриці кількісних показників A проводяться за допомогою карт самоорганізації Кохонена, які дозволяють здійснити кластеризацію компаній і візуалізувати результати, переводячи задачу з багатовимірного простору в простір з двомірною розмірністю, де кожній компанії відповідає певне положення на координатній площині. Якщо показники діяльності страховиків є більш-менш близькими, то сформується деякі групи — кластери.

Карта самоорганізації являє собою нейронну мережу без зворотних зв'язків, що зображено на рис. 2, налаштування параметрів якої здійснюється із застосуванням алгоритму навчання без учителя шляхом виявлення невідомих образів та структур у статистичних даних пояснюючих показників досліджуваних об'єктів. «Навчання без вчителя» — це такий тип оптимізації моделі, коли значення результуючої змінної заздалегідь невідомі й ней-

ромережа вчиться виявляти приховані закономірності у масиві вхідних даних.

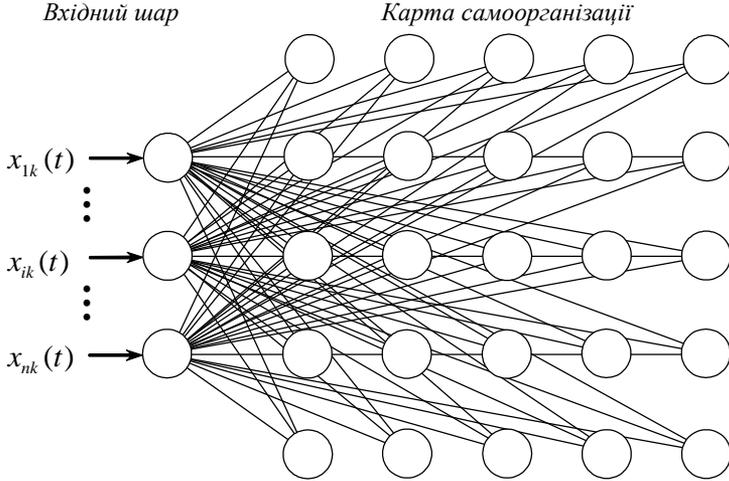


Рис. 2. Структура нейронної мережі Кохонена

Алгоритм побудови карт самоорганізації, що складаються із визначеної кількості компонент (нейронів), для кожного i -го періоду буде виглядати таким чином:

1. Ініціалізація. Визначити початкові ваги вузлів шляхом присвоєння всім ваговим коефіцієнтам деяких випадкових значень.
2. Цикл. Нехай t — номер ітерації (ініціалізація відповідає номеру 0).

Необхідно вибрати довільне спостереження $x_{ik}(t) = (a_{i1k}; a_{i2k}; \dots; a_{ink})$ із множини вхідних даних, знайти відстань від нього до векторів ваг усіх вузлів карти та визначити найближчий по вазі вузол M_c . Це — краща одиниця відповідності (англ. best matching unit — ВМУ або Winner). Умова на $M_c: \|x_{ik}(t) - m_c(t)\| \leq \|x_{ik}(t) - m_q(t)\| \forall m_q(t)$, де $m_q(t)$ — вектор ваг вузла M_q на t -ій ітерації. Якщо знаходяться кілька вузлів, які задовольняють цій умові, ВМУ вибирається випадковим чином серед них.

3. Визначити сусідів і змінити їх вектори за допомогою функції сусідства.

Функція сусідства повинна поступово уточнювати значення сусідніх з нейронів, спочатку у більшій кількості вузлів і сильніше, потім у меншій і слабкіше. Часто у якості функції сусідства використовується гаусова функція:

$$h_{cq}(t) = \alpha(t) \cdot \exp\left(-\frac{\|r_c - r_q\|^2}{2\sigma^2(t)}\right), \quad (20)$$

де $0 < \alpha(t) < 1$ — навчальний коефіцієнт, монотонно спадаючий з кожною наступною ітерацією;

r_c, r_q — двовимірні координати вузлів M_c та M_q на карті;

$\sigma(t)$ — коефіцієнт, який зменшує кількість сусідів ВМУ по мірі навчання та монотонно спадає з часом.

Для ВМУ функція $h_{cc}(t) = \alpha(t)$ та зменшується з віддаленням від нього.

4. Зміна векторів ваги:

$$m_q(t) = m_q(t-1) + h_{cq}(t) \cdot (x_{ik}(t) - m_q(t-1)) \quad \forall m_q(t). \quad (21)$$

Таким чином вектор ваг всіх вузлів, які є сусідами ВМУ в деякому радіусі, наближаються до спостереження $x_{ik}(t)$, яке подається на вході нейромережі [31].

Після навчання кожен вузол відповідає групі об'єктів (страховиків), які мають подібні між собою ознаки. У результаті самоорганізації схожі вектори вхідних даних проєктуються на нейрони, розташовані на карті Кохонена близько один до одного. Об'єкти зі схожими ознаками описуються або одним і тим же нейроном, або сусідніми нейронами шару Кохонена. Отримані на карті самоорганізації класи є топологічно впорядкованими та у разі необхідності легко піддаються групуванню [26, с. 65—66].

Підсумковий інтегральний показник стійкості та розвитку визначається за результатами кластеризації учасників ринку страхових послуг як сума оцінок класів, до яких належала k -та компанія протягом усіх періодів дослідження з урахуванням їх значущості за формулою:

$$O_k = \sum_{i=1}^m (l_{ik} \cdot v_i), k = \overline{1, p}, \quad (22)$$

де l_{ik} — кількісна оцінка k -го страховика у i -й період часу ($L = \{l_{ik}\}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, p}$);

v_i — вагові коефіцієнти значущості кожного i -го періоду ($i = \overline{1, m}$), причому $\sum_{i=1}^m v_i = 1$. Коефіцієнти виставляються експертом з огляду на важливість періоду часу i в контексті розвитку ринку страхових послуг.

Для кожної k -ої страхової компанії кількісна оцінка $l_{ik}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, p}$, залежить від того, до якого кластеру була віднесена страхова компанія в момент часу i . Для переходу від лінгвістичних оцінок кластерів до кількісних оцінок w -кластеру f_w може бути застосована така формула:

$$f_w = g - w + 1, \quad (23)$$

де $F = \{f_w\}, w = \overline{1, g}$ — множина кількісних оцінок кластерів;

g — кількість кластерів, на які розбиваються страхові компанії.

Таким чином, максимальне значення оцінок кластерів буде присвоєно групі найуспішніших компаній (f_1), а мінімальне, відповідно, найменш ефективним з них (f_g).

Тобто, значення кількісних оцінок страховиків l_{ik} у кожен період визначається шляхом присвоєння їм відповідного значення із множини оцінок кластерів $F, L \subset F$.

Апробацію запропонованого підходу до рейтингування страхових компаній було проведено на даних щодо діяльності страхових компаній, які працювали в Україні протягом п'яти років (2008—2012 рр.), тобто $m = 5$. Інформаційна база була сформована на основі даних, представлених на сайті журналу «InsuranceTop» [15].

Страхові компанії слід аналізувати, спираючись на сукупність як кількісних, так і якісних показників їх діяльності.

Було визначено десять найпоширеніших якісних характеристик діяльності страхових компаній ($z = 10$):

- стратегія страховика;
- власники;
- якість менеджменту компанії;
- динаміка зміни складу власників;
- наявність звітності за МСФЗ;
- оцінка іміджу та бренду;
- рівень географічної диверсифікованості діяльності;

- рівень кептивності компанії;
- динаміка розвитку філіальної мережі;
- структура клієнтської бази.

Відповідно до вище запропонованого підходу на першому етапі сформована група експертів надає оцінку кожній зазначеній суб'єктивній характеристиці. Мінімумально-необхідна кількість експертів була знайдена за формулою (1) при заданому особою, яка проводить експертизу, значенні $\alpha = 0,05$ та виявилася рівною 33 (тобто, загальна кількість експертів у групі $N_{over} \geq 33$). З огляду на це спочатку була сформована експертна група з 50 чоловік, рівень компетентності кожного з яких було визначено методом колективної оцінки, внаслідок чого було сформовано відповідну матрицю $\tilde{\Psi} = \{\tilde{\psi}_{\tau\pi}\}$, $\pi, \tau = \overline{1, N_{over}}$, де $\tilde{\psi}_{\tau\pi} = \{0; 1\}$, тобто, якщо τ -го експерта було вибрано π -м експертом, то $\tilde{\psi}_{\tau\pi} = 1$, та 0 у протилежному випадку. Оскільки експерт не може обрати сам себе, то $\tilde{\psi}_{\tau\tau} = 0 \forall \tau$. За формулою (5) формується матриця скоригованих значень $\hat{\Psi} = \{\hat{\psi}_{\tau\pi}\}$, $\tau, \pi = \overline{1, N_{over}}$. Отримуємо скореговані оцінки компетентностей експертів за формулою (7). Таблиця 2 заповнюється за допомогою формул (5)—(7).

Таблиця 2

ВЗАЄМНІ ОЦІНКИ КОМПЕТЕНТНОСТІ ЕКСПЕРТІВ

№ експерта, якого оцінюють	оцінка компетентності експерта, який оцінює								Сумарна оцінка	Рангова оцінка компетентності	Скорегована оцінка компетентності експертів
	1	2	3	4	5	...	49	50			
1	0	0	18	0	26	...	36	0	1172	7	0,0307
2	0	21	0	0	26	...	0	35	1132	32	0,0296
3	0	0	0	24	26	...	36	35	1155	18	0,0302
4	0	0	0	0	26	...	36	35	1193	2	0,0312
5	21	0	18	0	0	...	0	0	1140	26	0,0298
...
49	0	0	0	24	0	...	36	0	1172	7	0,0307
50	0	0	0	0	26	...	36	35	1158	15	0,0303

У результаті з 50 експертів було відібрано 33 найкомпетентніших, оцінки яких враховувалися при подальшому аналізі.

Для оцінки альтернатив у кожен i -ий період часу τ -м експертом за формулою (12) розраховуються значення $\hat{u}^{\tau}(\varphi_{ij}), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, z}, \tau = \overline{1, N_{over}}$. У табл. 3 наведено їх значення для періоду $i=1$ при $\tau=1$.

Таблиця 3

ОЦІНКА АЛЬТЕРНАТИВ

Назва показника	$\hat{u}^1(\varphi_{1j})$
структура клієнтської бази	0,1818
якість менеджменту компанії	0,1636
стратегія СК	0,1455
рівень кептивності	0,1273
власники	0,1091
імідж та бренд компанії	0,0909
наявність звітності за МСФЗ	0,0727
динаміка зміни складу власників	0,0546
динаміка розвитку філіальної мережі	0,0364
рівень географічної диверсифікованості діяльності	0,0182

На наступному етапі аналізу кожен τ -ий експерт у період часу i виставляє кожному k -му об'єкту сукупності за j -м показником у відповідність деяке число ζ_{ijk}^{τ} , яке знаходиться у проміжку від 0 до 1. У таблиці 4 наведено матрицю, елементи якої ζ_{ijk}^{τ} характеризують оцінку структури клієнтської бази ($j = 1$) для періоду $i = 1$, що виставляється експертами.

Таблиця 4

ОЦІНКА СТРУКТУРИ КЛІЄНТСЬКОЇ БАЗИ

№ експерта Назва компанії	№ експерта							
	1	2	3	5	...	31	32	33
ЛЕММА	0,84	0,73	0,94	0,97	...	0,97	0,76	0,74
КРЕМЕНЬ	0,98	0,99	0,71	0,9	...	0,83	0,82	0,98
ЗАХІД-РЕЗЕРВ	0,86	0,95	0,93	0,89	...	0,83	0,93	0,83

Закінчення табл. 4

№ експерта Назва компанії	1	2	3	5	...	31	32	33
АСКА	0,8	0,85	0,72	0,9	...	0,81	0,71	0,27
ОМЕГА	0,9	0,92	0,77	0,93	...	0,92	0,88	0,85
ВУСО	0,73	0,83	0,82	0,78	...	0,97	0,99	0,72
ТЕКОМ	0,89	0,92	0,99	0,81	...	0,96	0,73	0,6
...
НАСТА	0,66	0,76	0,53	0,26	...	0,79	0,57	0,62

За формулами (13) та (14) були визначені підсумкові кількісні оцінки якісних характеристик роботи страхових компаній для кожного періоду i , значення яких для першого періоду ($i=1$) наведено у табл. 5.

Таблиця 5

**ЕКСПЕРТНІ ОЦІНКИ СУБ'ЄКТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДІЯЛЬНОСТІ СТРАХОВИХ КОМПАНІЙ В УКРАЇНІ**

Назва компанії	Структура клієнтської бази	Якість менеджменту компанії	Стратегія СК	...	Рівень географічної диверсифікованості діяльності
ЛЕММА	67,68	85,68	73,25	...	66,18
КРЕМЕНЬ	80,16	80,16	68,86	...	75,23
ЗАХІД-РЕЗЕРВ	67,85	67,85	68,96	...	74,00
АСКА	73,86	73,86	68,90	...	59,05
ОМЕГА	67,18	67,18	60,84	...	67,80
ВУСО	85,27	85,27	88,91	...	66,85
ТЕКОМ	76,33	76,33	59,40	...	75,42
...
НАСТА	72,90	54,20	46,30	...	89,92

За допомогою спеціального програмного пакету fuzzyTECH 6.02, який спеціалізується на нечіткому моделюванні, була сформована єдина система нечіткого виводу. Для кожної вхідної змінної були визначені такі терм-множини, які задаються відповідними функціями належності (рис. 3):

- власники: $owners = \{ukr\ dependent; daughter\ ukr; ukr\ independent; daughter\ for; foreign\}$;
- динаміка зміни складу власників: $changers\ of\ owners = \{high\ intensivity; low\ intensivity; constant\}$;
- структура клієнтської баз: $structure\ of\ clients = \{enterprises; individuals; banks\}$;
- стратегія страховика: $strategy = \{ineffective; medium\ effective; effective\}$;
- якість менеджменту компанії: $quality\ of\ management = \{low; medium; high\}$;
- рівень географічної диверсифікованості діяльності: $geogr\ diversification = \{low; medium; high\}$;
- динаміка розвитку філіальної мережі: $dynamic\ of\ branches = \{low; medium; high\}$;
- оцінка іміджу та брэнда компанії: $image\ brand = \{low; medium; high\}$;
- наявність звітності за МСФЗ: $ISFA = \{not\ available; available\}$;
- рівень кептивності: $captivity = \{high; low\}$.

Для даної моделі задачею нечіткого виводу є визначення кількісного значення підсумкової кількісної оцінки якісних показників діяльності страхової компанії (γ_{ik}), тобто вихідної змінної «*reliability*», якій відповідають лінгвістично задані терм-множини: $reliability = \{low; medium; high\}$. Також була сформована база правил нечіткої логіки, які є формально представленими емпіричними знаннями експерта щодо даної проблемної області.

Визначений вектор підсумкових оцінок якісних показників діяльності страхових компаній на українському ринку γ_{ik} заноситься до матриці за формулою (19).

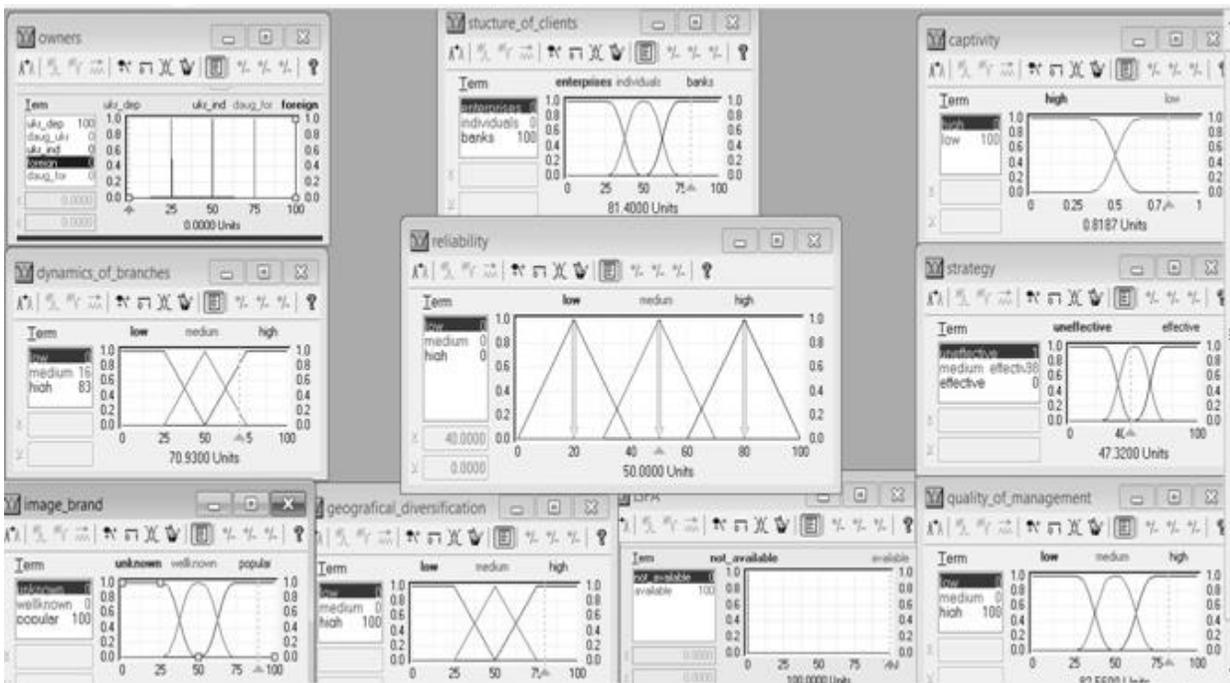


Рис. 3. Функції належності для якісних характеристик діяльності страхових компаній

Таким чином, до матриці інформативних кількісних показників $A = \{a_{ijk}\}$, $i=1, m$, $j=1, n$, $k=1, p$, $n = \tilde{n} + 1$, де $n = 10$ — кількість показників, $m = 5$ — кількість періодів, що оцінюються, p — кількість страховиків, входять такі характеристики:

- a_{i1k} — гарантійний фонд (тис. грн);
- a_{i2k} — власний капітал (тис. грн);
- a_{i3k} — вихідне перестраховування (тис. грн);
- a_{i4k} — страхові премії (тис. грн);
- a_{i5k} — страхові виплати (тис. грн);
- a_{i6k} — резерви (тис. грн);
- a_{i7k} — питома вага перестраховування (%);
- a_{i8k} — рівень виплат (%);
- a_{i9k} — активи (тис. грн);

$a_{i10k} = \gamma_{ik}$ — підсумкова кількісна оцінка якісних показників діяльності страхової компанії (%).

Відповідно, кожен з періодів, що розглядається, буде аналізуватися за допомогою таблиці, структура якої наведена нижче (табл. 6).

Таблиця 6

КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ ДІЯЛЬНОСТІ СТРАХОВИХ КОМПАНІЙ В УКРАЇНІ

Назва	Гарантійний фонд, тис. грн	Власний капітал, тис. грн	Вихідне перестраховування, тис. грн	...	Активи, тис. грн	Підсумкова оцінка якісних показників
ЛЕММА	835 695	1 385 695	144 986	...	1 983 373	80
КРЕМЕНЬ	1109 484	1 126 484	455 530	...	1 330 699	78
ОРАНТА	37 122	812 247	52862,1	...	1 130 872	91
ОМЕГА	786 256	841 256	6196,9	...	928 353	93
АХА СТРАХОВАНІЕ	184 915	446 890	31 220	...	859 736	40
ТАС СГ	244 293	429 498	43004,9	...	704 578	38
...
ПРОВІДНА	118 215	189 802	71222,2	...	791 877	43

Для реалізації кластеризації було застосовано програмний пакет *ViscoverySOMine5*, за допомогою якого для кожного періоду часу з матриці вхідних даних сформовано m карт. Нейрони побудованих карт самоорганізації групуються таким чином, що подібні між собою страхові компанії об'єднуються в одну з p груп (або областей на карті самоорганізації), а вузли різних груп достатньо віддалені один від одного, щоб виправдати границі груп. Тобто, кожна з таких областей буде відповідати одній з p аналізованих страхових компаній, кожна з яких буде надалі віднесена до якогось із g виокремлених на кожній i -ій карті ($i=1, m$) кластерів.

Результати аналізу свідчать, що всі страхові компанії України групуються у три різні за розмірами та складом учасників кластери ($g = 3$), яким на SOM відповідають окремі області:

А — найефективніші страховики (S3);

В — страхові компанії з середньою ефективністю (S2);

С — компанії з найнижчою ефективністю (S1).

Пропорцію розподілу компаній за класами в різні моменти часу за SOM представлено на рис. 4. Результати аналізу свідчать, що група компаній-лідерів стабільно зростала до 2011 року за рахунок класу В і С. Частка низькоефективних страховиків розширювалась протягом усіх періодів, що розглядалися.

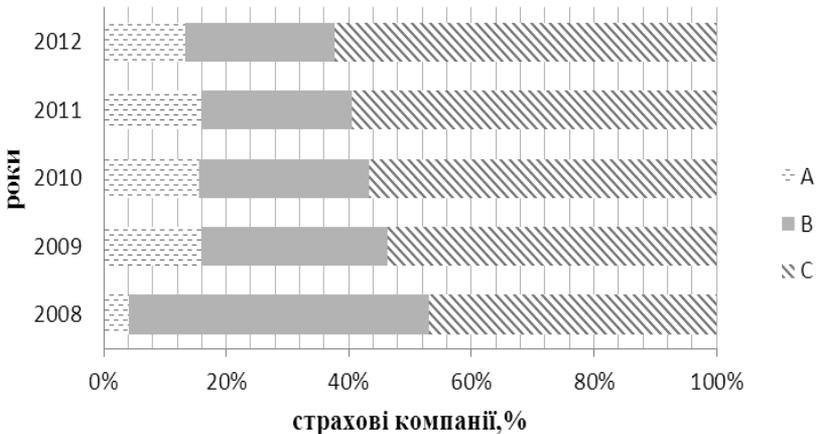


Рис. 4. Результати розподілу страховиків на групи у 2008—2012 рр.

У програмному пакеті ViscositySOMine5 карти Кохонена будуються таким чином, що в результаті кожній компанії на карті відповідає певна сукупність точок (рис. 5), аналізуючи розміщення яких можна зробити висновки щодо динаміки розвитку компанії по відношенню до тенденцій ринку.

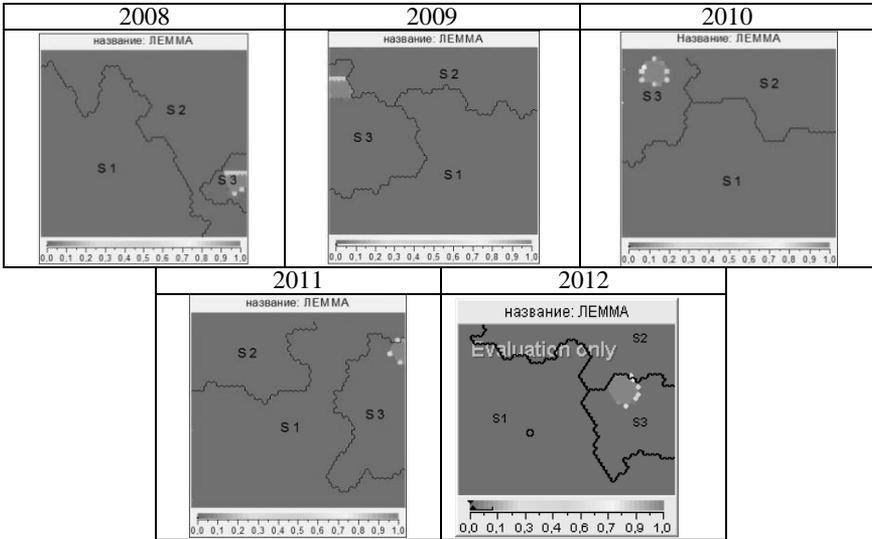


Рис. 5. Карти Кохонена, які характеризують діяльність страхової компанії «Лемма» протягом 2008—2012 рр.

Проаналізуємо результати, отримані за представленим у статті підходом, акцентуючи увагу на страховому ринку та компаніях «Лемма», «ЮТИКО» та «Актив-страхування».

Загалом СК «Лемма» всі п'ять періодів демонструвала високу ефективність роботи. Показники її роботи були суттєво вищими, ніж у більшості страховиків, які працювали на ринку протягом 2008—2012 рр.

За картами самоорганізації «Лемма» протягом всіх аналізованих періодів відносилась до компаній класу А. Компанія «Лемма» в 2008 році була безперечним лідером на ринку страхових послуг України, що видно з її положення на карті Кохонена. У розпал кризи лише чотири страховика потрапили до кластеру, який описує страховиків класу А. Сусідами «Лемми» на першій

карті є виключно компанії-лідери, а її положення є найвіддаленішим від інших кластерів. Після 2008 року страховий ринок кардинально змінився, оскільки криза стала своєрідним фільтром для економіки. У 2009 році «Лемма» зберегла своє положення у групі найефективніших компаній, але все ж її показники відносно інших страховиків цього класу погіршились: вона перемістилася до границі з страховиками середньої ефективності. Третя карта дає підстави вважати, що її ефективність у 2010 р. зросла, але перше місце їй повернути не вдалося. Карта Кохонена, яка характеризує страховий сектор у 2011 році, демонструє, що «Лемма» стала однією з найменш ефективних компаній кластеру S3, на що вказує її сусідство з компаніями класу С. На фоні загального зниження рівня страхової активності на ринку протягом 2012 року страхова компанія «Лемма» трохи покращила своє становище на ринку та перемістилася до межі, що розділяє групи середньо- та високоефективних компаній, як можна бачити з рис. 5.

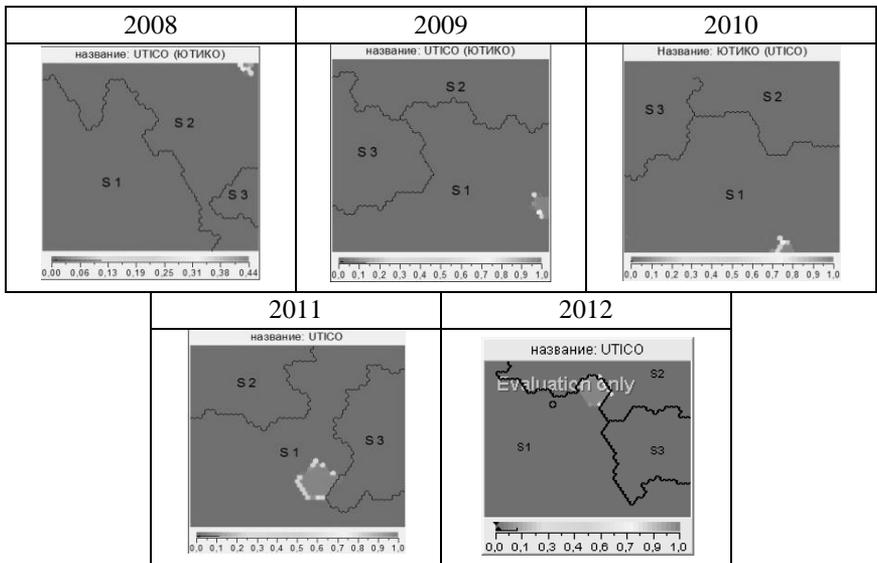


Рис. 6. Динаміка страхової компанії «ЮТИКО» протягом 2008—2012 рр.

Стосовно страхової компанії «ЮТИКО», динаміка діяльності якої відображена на рис. 6, можна стверджувати таке. У 2008 році компанія «ЮТИКО» належала до групи компаній середньої ефективності, але у післякризові періоди її положення відносно інших учасників ринку страхових послуг значно погіршилося і вона перемістилася до групи найбільш ризикових страховиків, які знаходяться на межі дефолту, аж до 2011 року. У 2012 році загальне зростання обсягів активів та премій дало їй можливість перейти у кластер ефективніших страховиків. Хоча її положення у 2011 році трохи покращилося, компанія «ЮТИКО» залишилася у кластері С, але вже у 2012 положення страховика на ринку почало погіршуватися, що стало причиною її розташування у класі низькоефективних компаній.

Щодо компанії «Актив-страхування», то протягом усіх п'яти періодів показники її діяльності відносно інших учасників страхового ринку України були досить невисокими. Карта самоорганізації, яка характеризує роботу страхової компанії «Актив-страхування» у кризовий рік, свідчить про досить хитке положення страховика в 2008 р. Однак, протягом наступних двох років (2009—2010 рр.) показники діяльності «Актив-страхування» покращувалися і компанія перейшла до класу В. Хоча у 2011 році страховик усе ще відносився до групи середнеефективних, рівень роботи цієї компанії погіршився, що відображається на карті Кохонена її близьким сусідством з низькоефективними компаніями. Як наслідок, у 2012 році вона перейшла до класу С (рис. 7).

За результатами проведеного аналізу для визначення підсумкового інтегрованого показника стійкості та ефективності розвитку за допомогою (22) попередньо були визначені такі оцінки для сформованих у кожному періоді трьох кластерів (А, В, С): $f_1 = 3$; $f_2 = 2$; $f_3 = 1$ та вагові коефіцієнти для кожного періоду (2008—2012 рр.): $v_1 = 0,1$; $v_2 = 0,15$; $v_3 = 0,2$; $v_4 = 0,25$; $v_5 = 0,3$.

За картами самоорганізації Кохонена було визначено, що безперечним лідером на ринку за 5 періодів є страхова компанія «Лемма», підсумковий інтегральний показник стійкості та ефективності розвитку якої $O_1 = 3$. Підсумковий інтегральний показник стійкості та ефективності розвитку для страховиків «Актив-страхування» (O_{16}) та «ЮТИКО» (O_{63}) становить $O_{16} = 1,6$ та $O_{63} = 1,1$, відповідно.

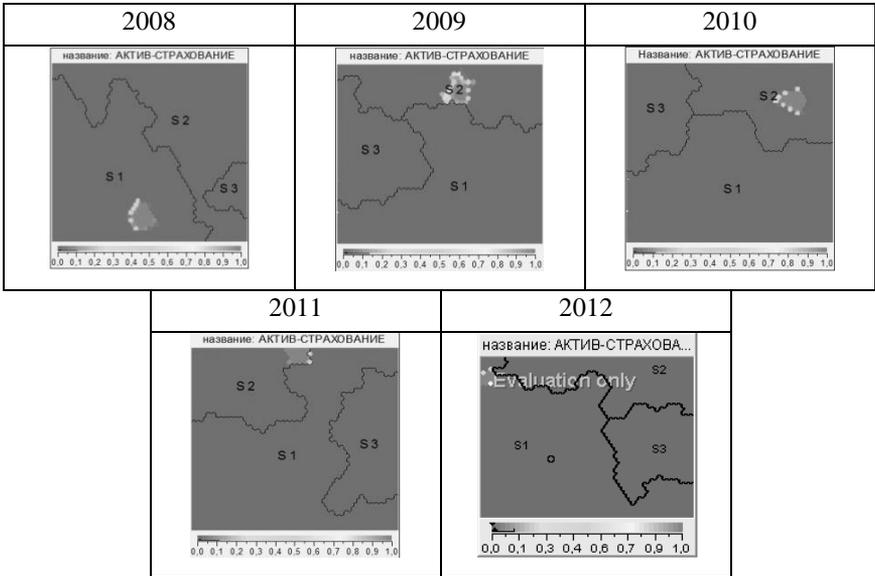


Рис. 7. Динаміка страхової компанії «Актив-страхування» протягом 2008—2012 рр.

Висновки

У статті розглянуто існуючі підходи до рейтингування фінансових установ і, зокрема, страхових компаній. Показано, що застосування методик, які традиційно застосовуються провідними рейтинговими агенціями для оцінки компаній, що діють у динамічно змінюваному страховому полі України, є майже неможливим.

Аналіз історичних даних щодо діяльності учасників страхового ринку України дозволив сформувати базу інформативних показників діяльності страховиків, яка містить найбільш значущі як кількісні, так і якісні їх характеристики.

Побудована в рамках запропонованого у статті методологічного підходу комплексна економіко-математична модель дозволяє проаналізувати динаміку розвитку та структуру ринку страхових послуг України. Розроблений підхід базується на поєднанні різноманітних математичних інструментів інтелектуального

аналізу характеристик діяльності страховиків, зокрема, застосуванні карт самоорганізації Кохонена у поєднанні з принципами нечіткої логіки та експертними методами.

Розроблений у роботі підхід дозволяє розподілити страхові компанії за рівнем ефективності на основі як кількісних, так і якісних показників, а також провести аналіз їх положення на ринку фінансових послуг відносно інших його учасників.

Апробація запропонованого методологічного підходу була проведена із застосуванням реальних історичних даних щодо діяльності страховиків, які працювали на ринку страхових послуг України у 2008—2012 рр. Отримані результати засвідчили високу адекватність запропонованого підходу та розроблених економікоматематичних моделей в умовах сучасної структури та динаміки розвитку страхового сектору України.

Література

1. *Оглих В.* Классификация страховых компаний с использованием карт Кохонена / Оглих В., Бесчастная Г. // Научно-теоретический и практический журнал «Современный научный вестник»: Серия «Экономические науки. Государственное управление». — 2012. — № 23 (135). — С. 57—64.
2. *Осовська Г. В.* Економічний словник / Г. В. Осовська, О. О. Юркевич, Й. С. Завадський. — К. : Кондор, 2007. — 358 с.
3. *Ковальчук А. Т.* Фінансовий словник / А. Т. Ковальчук. — К. : Знання, 2006. — 287 с.
4. *Казак А. Ю.* Финансовые риски в страховом бизнесе: модели и методы оценки / А. Ю. Казак, Ю. Э. Слепухина // Известия Уральского государственного университета. — 2010. — № 2 (77). — С. 75—89.
5. *Шірінян Л. В.* Фінансова надійність і фінансова стійкість страховиків / Л. В. Шірінян // Актуальні проблеми економіки. — 2009. — № 9. — С. 173—178.
6. *Ольховська О. Л.* Моделювання фінансового стану страхової компанії із застосуванням апарату нечіткої логіки / О. Л. Ольховська // Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці. — 2013. — № 2. — С. 119—134.
7. *Страховання: теорія та практика: Навчально-методичний посібник / Н. М. Внукова, В. І. Успенко, Л. В. Временко та ін.* — Харків: Бурун Книга, 2004. — 376 с.
8. *Кравчук Г. В.* Методологічні засади управління конкурентоспроможністю страхових компаній: автореф. дис. ... д-ра екон. наук :

08.00.08 / Г. В. Кравчук ; ДВНЗ «Укр. акад. банк. справи Нац. банку України». — Суми, 2010. — 40 с.

9. Moody's [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.moody.com>.

10. Standard&poor's [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.standardandpoors.com>.

11. Fitch [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.fitchratings.com>.

12. А. М. Best [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.ambest.com>.

13. Dun&Bradstreet [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.dnb.com>.

14. KPMG [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.kpmg.com>.

15. InsuranceTop. Рейтинг страхових компаній [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.insurancetop.com>.

16. Фориншурер [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://forinsurer.com/>

17. Рейтинг страхових компаній України [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://myagent.com.ua/rating/>

18. Хорин Л. Можно ли доверять рейтингу «InsuranceTOP»? / Л. Хорин // [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.insurhelp.org.ua/articles/Mozgno_li_doverjat_Insurance_TOP.html.

19. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері ринків фінансових послуг [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://dfp.gov.ua>.

20. Литвак Б. Г. Экспертные оценки и принятие решений. — М.: Патент, 1996. — 298 с.

21. Гнатієнко Г. М. Експертні технології прийняття рішень: Монографія / Г. М. Гнатієнко, В. Є. Снитюк. — К.: ТОВ «Маклаут», 2008. — 444 с.

22. Мартемьянов Ю. Ф. Экспертные методы принятия решения: Учеб.пособие / Мартемьянов Ю. Ф., Т. Я. Лазарева. — Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. — 80 с.

23. Zadeh L. Fuzzy Sets // Information and Control. — 1965. — № 8. — P. 338—353.

24. Математичні моделі та методи ринкової економіки: навч. посіб. / В. В. Вітлінський, О. В. Пісківнова. — К.: КНЕУ, 2010. — 531 с.

25. Kovalchuk K. F. Intelligent Decision Support System // Proc. First Asian Fuzzy Systems Symposium. — Singapore: November 23—26. — 1993. — P. 510—516.

26. Матвійчук А. В. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка: монографія / А. В. Матвійчук. — К.: КНЕУ, 2011. — 439 с.

27. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 288 с.

28. Онлайн библиотека [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://banauka.ru/1782.html>.

29. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. — М.: Наука, 1978. — 352 с.

30. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. — Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця. 1999. — 320 с.

31. Kohonen T. Self-organization and associative memory. — Berlin : Springer-Verlag, 1989. — 312 p.

References

1. Ogliĥ, V., & Beschastnaya, G. (2012). Classificatsiya strahovyĥ kompaniy s ispolzovaniem kart Kohonena. *Nauchno-teoreticheskiy i prakticheskiy zhurnal «Sovremeniyy nauchniyy vestnik» (Scientific, theoretical and practical journal «Modern Scientific Bulletin»)*, 23 (135), 573—64 [in Russian].

2. Osovska, G. V., Jurkewich, O. O., & Zavadskiy, Y. S. (2007). *Ekonomichnyy slovnyk*. Kyiv: Kondor [in Ukrainian].

3. Kovalchuk, A. T. (2006). *Finansovyy slovnyk*. Kyiv: Znannia [in Ukrainian].

4. Kazak, A. Yu., & Slepuhina, Yu. E. (2010). Finansovyye riski v strahovom biznese: modeli i metody otsenki. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo universiteta (Proceedings of the Ural State University)*, 2 (77), 75—89 [in Russian].

5. Shirinian, L. V. (2009). Finansova nadiynist i finansova stiykist strahovykiv. *Aktualni problemy ekonomiky (Actual problems of economics)*, 9, 173—178 [in Ukrainian].

6. Olhovska, O. L. (2013). Modeliuvannya finansovogo stanu strahovoi kompanii iz zastosuvanniam aparatu nechitkoi logiky. *Neuro-nechitki tekhnologii modeliuvannya v ekonomitsi (Neuro-Fuzzy Modeling Techniques in Economics)*, 2, 119—134 [in Ukrainian].

7. Vnukova, N. M., Uspalenko, V. I., Vremenko, L. V., & et al. (2004). *Strahuvannya: teoriia ta praktyka: Navchalno-metodychnyi posibnyk*. Kharkiv: BurunKnyga [in Ukrainian].

8. Kravchuk, G. V. (2010). Metodologichni zasady upravlinnia konkurentospromozhnistiu strahovyĥ kompanii. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Sumy [in Ukrainian].

9. Moody's. *moodys.com*. Retrieved from <http://www.moodys.com>.

10. Standard & poor's. *standardandpoors.com*. Retrieved from <http://www.standardandpoors.com>.

11. Fitch. *fitchratings.com*. Retrieved from <http://www.fitchratings.com>.

12. A.M.Best. *ambest.com*. Retrieved from <http://www.ambest.com>.

13. Dun & Bradstreet. *dnb.com*. Retrieved from <http://www.dnb.com>.

14. KPMG. *kpmg.com*. Retrieved from <http://www.kpmg.com>.
15. Insurance Top. Reiting strahovyh kompaniy. *insurancetop.com*. Retrieved from <http://www.insurancetop.com> [in Russian].
16. Forinsurer. *forinsurer.com*. Retrieved from <http://forinsurer.com>.
17. Reiting strahovyh kompaniy Ukrainy. *myagent.com.ua*. Retrieved from <http://myagent.com.ua/rating> [in Russian].
18. Khorin, L. Mozhno li doveriat reytingu «Insurance TOP»? *insurhelp.org.ua*. Retrieved from http://www.insurhelp.org.ua/articles/Mozg-no_li_doverjat_Insurance_TOP.html [in Russian].
19. Natsionalna komisiia, shcho zdiisniue derzhavne reguliuvannia v sferi rynkiv finansovyh poslug. *dfp.gov.ua*. Retrieved from <http://dfp.gov.ua> [in Ukrainian].
20. Litvak, B. G. (1996). *Expertnyye otsenki i priniatiye resheniy*. Moskva: Patent [in Russian].
21. Gnatiienko, G. M., & Snytiuk, V. M. (2008). *Expertni tekhnologii pryiniattia rishen*. Kyiv: TOV «Maklaut» [in Ukrainian].
22. Martemyanov, Yu. F., & Lazareva, T. Ya. (2010). *Expertnyye metody prinyatiya resheniya: Ucheb. posobiye*. Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tehn. un-ta [in Russian].
23. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338—358.
24. Vitlinskyi, V. V. & Piskunova, O. V. (2010). *Matematychni modeli ta metody rynkovoï ekonomiky : navch. posib*. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].
25. Kovalchuk, K. F. (1993). Intelligent Decision Support System. *Proc. First Asian Fuzzy Systems Symposium*, 510—516.
26. Matviychuk, A. V. (2011). *Shtuchnyi intelekt v ekonomitsi: neironni merezhi, nechitka logika*. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].
27. Shtovba, S. D. (2007). *Proyektirovaniye nechetkikh sistem sredstvami MATLAB*. Moskva : Goryachaya liniya — Telekom [in Russian].
28. Online biblioteka [Online library]. *banauka.ru*. Retrieved from <http://banauka.ru/1782.html> [in Russian].
29. Fishburne, P. (1978). *Teoriya poleznosti dlya prinyatiya resheniy*. Moskva : Nauka [in Russian].
30. Rotshtein, A. P. (1999). *Intelektualnyie tekhnologii identifikacii: nechetskaya logika, geneticheskie algoritmy, neyronnyie seti*. Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia [in Russian].
31. Kohonen, T. (1989). *Self-organization and associative memory*. Berlin : Springer-Verlag.

Стаття надійшла до редакції 23.08.2013

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ ПРАВДОПОДОБНОЙ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

И. И. Скар

Магистр по экономической кибернетике,
аспирант кафедры экономико-математического моделирования

Государственное высшее учебное заведение «Киевский национальный
экономический университет имени Вадима Гетьмана»
проспект Победы, 54/1, г. Киев, 03680, Украина

ilayujohanson@gmail.com

В статье проведен ретроспективный анализ эволюции концепций построения искусственных нейронных сетей в разрезе возможности их дальнейшего применения для создания искусственного интеллекта. Рассмотрены ключевые достижения мирового научного сообщества в данной сфере от первых попыток формализации модели нейрона и до новейших реализаций нейроноподобных вычислительных систем. В результате проведенного анализа сделан вывод о фактической утрате интереса со стороны исследователей к построению точной модели биологического нейрона и переключению внимания к созданию вычислительных систем на базе синаптических структур.

Проведенное исследование позволило также выявить взаимосвязь между достижениями нейробиологии и качественными скачками в сфере построения искусственных нейронных сетей, что говорит о важности дальнейшего изучения биологических нейросетевых структур и необходимости создания максимально точной модели биологического нейрона, как ключевой структурной единицы нейронной сети.

Сделано заключение об отсутствии единой объединяющей концепции в области создания биологически правдоподобных искусственных нейронных сетей, вследствие чего автором предложена концепция по декомпозиции структуры нейрона на элементарные биологические функциональные подсистемы. Особенностью предложенной концепции является возможность моделирования каждой подсистемы нейрона по отдельности с дальнейшим объединением компонентов в целостную систему. Таким образом, разработанная концепция учитывает возможность добавления и модификации элементов модели нейрона для уточнения и усложнения его конструкции с целью приведения его к максимальному соответствию с биологическим прототипом.

Практическая ценность предложенной концепции заключается в возможности разработки нейросетевой структуры на принципиально новом качественном уровне с обеспечением наибольшего подобия нервной системе живого организма.

Ключевые слова. *Биологически правдоподобная искусственная нейронная сеть, нейрон, синапс, мемристор, искусственный интеллект.*

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ БІОЛОГІЧНО ПРАВДОПОДІБНОЇ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

І. І. Скар

Магістр з економічної кібернетики,
аспірант кафедри економіко-математичного моделювання
Державний вищий навчальний заклад «Київський національний
економічний університет імені Вадима Гетьмана»
проспект Перемоги, 54/1, м. Київ, 03680, Україна
ilayyajohanson@gmail.com

У статті проведено ретроспективний аналіз еволюції концепцій побудови штучних нейронних мереж у розрізі можливості їх подальшого застосування для створення штучного інтелекту. Розглянуті ключові досягнення світової наукової спільноти в даній сфері від перших спроб формалізації моделі нейрону і до новітніх реалізацій нейроподібних обчислювальних систем. У результаті проведеного аналізу зроблено висновок про фактичну втрату інтересу дослідників до побудови точної моделі біологічного нейрону і переведення уваги на створення обчислювальних систем на базі синаптичних структур.

Проведене дослідження дозволило також виявити взаємозв'язок між досягненнями нейробіології та якісними стрибками в сфері побудови штучних нейронних мереж, що свідчить про важливість подальшого вивчення біологічних нейромережових структур і необхідність створення максимально точної моделі біологічного нейрона, як ключової структурної одиниці нейронної мережі.

Зроблено висновок про відсутність загальної об'єднуючої концепції в галузі створення біологічно правдоподібних штучних нейронних мереж, унаслідок чого автором запропоновано концепцію декомпозиції структури нейрона на елементарні біологічні функціональні підсистеми. Особливістю запропонованої концепції є можливість моделювання кожної підсистеми нейрона окремо з подальшим об'єднанням компонентів в цілісну систему. Таким чином, розроблена концепція враховує можливість додавання і модифікації елементів моделі нейрона для уточнення та ускладнення його конструкції з метою приведення його до максимально відповідності з біологічним прототипом.

Практична цінність запропонованої концепції полягає в можливості розробки нейромережової структури на принципово новому якісному рівні із забезпеченням найбільшої подібності нервовій системі живого організму.

Ключові слова. *Біологічно правдоподібна штучна нейронна мережа, нейрон, синапс, мемристор, штучний інтелект.*

CONCEPT OF CONSTRUCTING BIOLOGICALLY PLAUSIBLE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Illia Sknar

Master's Degree in Economic Cybernetics,
PhD student, Department of Economic and Mathematical Modeling
State Higher Educational Establishment «Kyiv National Economic University
named after Vadym Hetman»
54/1 Peremogy Avenue, Kyiv, 03680, Ukraine
ilayyajohanson@gmail.com

The retrospective analysis of the evolution of concepts of constructing artificial neural networks in the context of the possibility of their further application to create artificial intelligence is carried out in the article. There are considered key achievements of international scientific community in this field starting from the first attempts of formalizing the neuron model and to the latest implementations of neural computing systems. The study concluded that there is the loss of researchers' interest in constructing of an accurate model of the biological neuron and shifting attention to the creation of computer systems based on synaptic structures.

The analysis also helped to identify the relationship between neuro-biology achievements and qualitative leaps in field of construction of artificial neural networks, which shows the importance of further study of biological neural network structures and the need to create the most exact model of the biological neuron, as a key structural unit of the neural network.

The conclusion is that there is an absence of a single unifying concept concerning the creation of biologically plausible artificial neural networks, so the author proposed the concept of the neuron structure decomposition into elementary biological functional subsystems. A feature of the proposed concept is the possibility of modeling of each neuron subsystem individually with further association of the components into an integrated system. Thus, the developed concept considers the possibility of adding and modifying elements of the neuron model for refinement and complication of its design in order to bring it to the maximum correspondence with the biological prototype.

The practical value of the proposed concept lies in the possibility of developing a neural network structure on a fundamentally new level of quality with ensuring of the maximum similarity with the nervous system of a living organism.

Key words. *Biologically plausible artificial neural network, neuron, synapse, memristor, artificial intelligence.*

В последнее время в очередной раз прослеживается всплеск интереса к искусственным нейронным сетям, Европейский Союз и США спонсируют крупнейшие проекты в данной сфере за всю историю нейросетевых технологий, создаются принципиально новые ЭВМ, которые основаны на нейронных технологиях и т. д. Традиционные нейронные сети успешно используются в практически всех сферах, которые требуют аналитики, вычислений, поддержки принятия решений и т. д.

С другой стороны, в данной сфере все реже случаются значительные сдвиги — нет данных об успешном применении новых функций активации, способов обучения сети, уменьшения ошибок и т. д. Серьезная проблема — отсутствие какого либо серьезного успеха в использовании искусственных нейронных сетей для создания искусственного интеллекта, что дало бы возможность шире использовать возможности нейронных сетей там, где сегодня справляется исключительно человек или животные.

Возможно, это связано с тем, что математики, которые занимаются искусственными нейронными сетями, редко прислушиваются к биологам, которые занимаются их природным прототипом. С одной стороны, упрощения модели нейронной структуры позволили теоретически, а позже и практически, разработать нейросетевой инструментарий, который успешно справляется со многими традиционными математическими задачами и даже более того — способен решать некоторые ранее трудно решаемые задачи, например, распознавание речи или растровой графики, моделирование и прогнозирование сложных слабоструктурированных, слабо формализуемых систем, в частности экономических. С другой стороны, ни о каком реальном аналоге биологического нейрона, и уж тем более нейронной сети, до последнего времени и речи быть не могло.

Чтобы разобраться с тем, какое будущее может ждать нейросетевые технологии, рассмотрим, как происходило их изучение и развитие в исторической ретроспективе.

Первой работой, которая дала толчок искусственным нейронным сетям, была статья нейрофизиолога У. Мак-Каллока и математика У. Питтса в 1943 г. [1], в которой описывалась модель с пороговой функцией активации. Было установлено, что предложенная модель может выполнять любые логические операции и любые преобразования, реализуемые дискретными устройствами

с конечной памятью. Также было сделано основополагающее предположение о том, что такая сеть способна обучаться, распознавать образы, обобщать полученную информацию. Мак-Каллок и Питтс считаются одними из основателей кибернетики и нейросетевой науки.

Кибернетика, как новая область научного познания, было определена в 1948 г. Н. Винером, который также является одним из основоположников теории искусственного интеллекта. Вклад Винера в развитие нейронауки в частности и математики вообще сложно переоценить. Им изложены важные концепции управления, коммуникаций и статистической обработки сигналов. Отдельного внимания заслуживает публикация 1965 г. о перспективах нейрокибернетики, в которой среди прочего рассмотрена структурная и функциональная организация нервной системы [2].

Физиолог и нейропсихолог Д. Хебб в своей книге «Организация поведения: нейропсихологическая теория» в 1949 г. предположил, что нейронные структуры в мозге в процессе синаптической настройки формируют клеточные ансамбли [3]. Важным вкладом в науку является предложенный Хеббом механизм синаптического обучения для искусственных нейронных сетей, который гласит, что вес синапса между двумя нейронами повышается при многократной активации этих нейронов через данный синапс. Это был первый реально работающий предложенный механизм обучения, который лег в основу вычислительных моделей обучаемых и адаптивных систем. В последующее десятилетие разными учеными на основе данного механизма были показаны необходимость использования торможения при обучении, возможность использования обученных систем для работы с растровыми изображениями (классификация, распознавание), введено понятие активации нейрона и т. д.

В 1950 г. опубликована статья А. Тьюринга «Интеллектуальные машины», в которой изложено видение автора касательно перспектив создания искусственного интеллекта. В частности, он рассуждает о самой возможности мыслительной деятельности машин, а также предлагает метод определения наличия интеллекта в искусственно созданной системе, известный как «тест Тьюринга» [4].

Стоит также упомянуть, что ранее, в 1936 г., Тьюринг предложил свой вариант конечного автомата, известный как «машина

Тьюринга», который позволил формализовать понятие алгоритма [5]. Интересна способность данной машины на основе набора входных значений и правил перехода вычислять итоговые значения, если правила перехода достаточно просты. Таким образом, данная машина предвосхитила фон-неймановскую архитектуру и теоретически пригодна для реализации искусственного нейрона или даже нейросети.

В 1954 г. Габор создал машину, обучающуюся на примере стохастического процесса. В 1950-х годах Тейлором инициировано исследование ассоциативной памяти. В 1961 г. разработана матрица обучения, состоящая из плоской сети переключателей, объединявшей массивы сенсорных рецепторов и моторных исполнительных механизмов. В 1969 г. представлены две модели неголографической ассоциативной памяти: простая оптическая модель корреляционной памяти и нейросетевая модель, реализованная в виде оптической памяти [6].

Отдельного внимания заслуживает фон Нейман, который является одним из основателей современной компьютерной техники (так называемая фон-неймановская архитектура). Однако в контексте экскурса в историю развития теории нейронных сетей он интересен больше, во-первых, исследованием в 1956 г. возможности создания надежной системы из ненадежных элементов — нейросети из нейронов, а во-вторых, размышлениями об отличиях мозга и компьютера [7].

Пожалуй, отдельно стоит упомянуть доктора нейрофизиолога Г. Уолтера, который после посещения лаборатории академика Павлова всерьез увлекся нервной деятельностью, был одним из пионеров в области электроэнцефалографии мозга. Свои обширные познания в данной области Уолтер применил при создании роботов Elmer, Elsie, CORA и прочих так называемых «черепях», над которыми он проводил эксперименты по выработке рефлексов и навыков в 50-х годах [8]. Роль нейронов выполняли электронные лампы и реле, соединенные в сеть, что позволяло реализовать архитектуру «победитель получает все». Каждая последующая машина была значительно «умнее» предыдущей. Так, Elsie умела делать выбор и решить дилемму буриданова осла, в отличие от Elmera, а CORA уже могла программироваться после, а не до своего включения. Это происходило с помощью обычного свистка и фонарика, благодаря которым можно было вырабатывать у робота простейшие рефлексы. Поведение данных роботов

можно сравнить разве что с простейшими одноклеточными существами, но представляет собой немалый интерес для современной робототехники и искусственных нейронных сетей. Также Уолтер, в отличие от Тьюринга и фон Неймана, настаивал на необходимости использования исключительно аналоговых элементов для создания искусственных мыслящих машин.

Нейрофизиолог Ф. Розенблатт представил модель восприятия информации мозгом — перцептрон, который в 1957—1960 гг. будет смоделирован с помощью Корнелльского IBM 704 и ляжет в основу ЭВМ «Марк-1». Это была первая модель «обучения с учителем». Интересными были практические результаты — к примеру, обученная машина могла частично распознавать растуровые графические изображения.

В 1959 г. Б. Видроу и М. Хоффом разработаны модели Adaline и Madaline на основе дельта-правила (метод обучения перцептрона по принципу градиентного спуска по поверхности ошибки), в которых использовались линейные функции активации. Для построения элементов Adaline предложен алгоритм наименьших квадратов LMS (least mean-square algorithm) [9].

В 1962 г. Ф. Розенблатт опубликовал книгу «Принципы нейродинамики», где рассматривает не только уже созданные модели перцептрона с одним скрытым слоем, но и модели многослойных перцептронов с перекрёстными и обратными связями. В книге также вводится ряд важных идей и теорем, например, доказывается теорема сходимости перцептрона [10].

В 1969 г. сокурсник Розенблатта М. Минский, а также С. Пейперт публикуют книгу «Перцептроны» [11], в которой они формально доказали ограниченность перцептрона и показали его неспособность решать некоторые задачи, связанные с инвариантностью представлений. В качестве примеров таких задач можно привести проблему определения четности рядов, распознавания символов, определения связности и прочие. Следует отметить, что М. Минский и С. Пейперт не относили инструментарий искусственных нейронных сетей к системам искусственного интеллекта. Более того, термин «искусственный интеллект» возник в 60-е годы XX столетия в связи с экспертными системами как направления, альтернативного технологии нейронных сетей. Первая конференция по проблемам искусственного интеллекта была проведена в США как раз в 1969 г., когда вышла в свет книга «Перцептроны».

Многие модели многослойных перцептронов того времени состояли из входного, одного скрытого и выходного слоев. Входной слой нейронов служил для ввода значений входных переменных. Нейроны этого слоя связаны с нейронами скрытого (промежуточного) слоя. Скрытые элементы связаны с последним слоем нейронов — элементами выхода. Связи между нейронами имеют переменные веса. Это означает, что активность одного нейрона может усилить активность второго и ослабить активность третьего — в зависимости от силы связей. Изменяя веса связей, можно обучить нейронную сеть отображению входных данных на выходные. Немаловажным вопросом был вопрос обучения сети, ведь на тот момент основным оставался метод Хебба.

Впервые алгоритмы обучения многослойных нейронных сетей были предложены в работах А. Галушкина 70-х годов [12]. В основе этих алгоритмов лежат градиентные алгоритмы стохастической аппроксимации, описанные Я. Цыпкином в 1968 г., выбор функционала вторичной минимизации и метод вычисления градиента функционала на основе цепного правила дифференцирования сложных функций. В 1974 г. П. Вербос одновременно и независимо друг от друга с Галушкиным изобретает алгоритм обратного распространения ошибки [13]. На Западе это изобретение не привлекло особого внимания, хотя включало фундаментальную идею — использование обратных связей для трансляции ошибок. Обратная трансляция ошибок происходила только на стадии обучения, а в процессе функционирования нейронной сети потоки информации всегда передавались одним и тем же способом — никакой обратной связи между элементами входа и выхода не было. Кроме того, многослойная модель не учитывала временной фактор: статические входящие сигналы превращались в статические исходящие сигналы.

В 1968 г. другой метод обучения — метод группового учета аргументов (МГУА) — предложен украинским ученым А. Иващенко [14]. Структуру МГУА можно интерпретировать как нейросеть, оригинальность которой состоит в самоорганизации как ее структуры, так и параметров, а также возможности «свернуть» настроенную сеть непосредственно в явное математическое выражение.

Несмотря на сложность реализации искусственных нейронных сетей на ЭВМ того времени, достигнутые успехи позволяли

предсказывать огромные возможности применения нейросетевого инструментария в будущем. Однако работа Минского, скоропостижная смерть Розенблатта в 1971 г., из-за которой не было ответа Минскому от создателя перцептронов, и недостаточность развития вычислительной техники на данном этапе привели к снижению темпов появления значимых результатов в данной области, что привело к спаду интереса к нейросетям и урезанию финансирования данных исследований. Период спада продолжался до 80-х годов.

В начале 70-х годов стало понятно, что есть пробелы как в теоретической, так и в элементной базе в области нейросетей. В 1971 г. профессор Л. Чуа создает теорию недостающего элемента — мемристора [15]. Данный элемент способен изменять свои свойства в зависимости от потока проходящей через него информации и одновременно эту информацию изменять в соответствии с прошлыми преобразованиями. Таким образом, данный элемент выступает в роли и памяти, и вычислительной ячейки. Однако практическая реализация мемристора на том этапе была невозможна.

Также в область нейронных сетей привносятся нечеткие множества, предложенные Л. Заде в 1965 г. [16], в результате чего появляются модели нечеткого вывода Мамдани [17; 18] и нечеткие нейронные сети Такаги-Сугено [19]. Инструментарий теории нечетких множеств предоставил возможность строить нейронные сети, оперирующие лингвистическими переменными и учитывающие логические высказывания, представленные в терминах естественного языка.

Японский исследователь К. Фукусима в 1975 г. разработал когнитрон — самоорганизующуюся сеть, предназначенную для инвариантного распознавания образов (способности распознавать объекты независимо от их преобразований, вращений, искажений, изменений масштаба или зашумленности) [20]. Однако эффективное инвариантное распознавание достигается только при помощи запоминания практически всех состояний образа, что означает малую способность сети к обобщению данных. Стоит заметить, что именно когнитрон стал одной из первых попыток создать многослойную нейронную сеть. В 1980 г. Фукусима усовершенствовал свою модель и предложил неокогнитрон [21]. Стоит подчеркнуть, что обе сети созданы на основе новейших

исследований того времени в области изучения коры головного мозга, а в частности — зрительной коры. Это вторая по значимости после перцептрона попытка продвинуться в области нейронных сетей на основе биологического прототипа. Так как когнитрон и неокогнитрон основаны на конструкции зрительной коры, их основное применение — распознавание образов, хотя и не ограничивается только этим применением.

Так как многие процессы в мозге, связанные с обучением, происходят по принципу обучения «без учителя» (путем самостоятельного обобщения учебных примеров без указания извне о желаемом выходе), вопрос создания искусственных нейронных сетей, работающих по подобному принципу, также занимал умы исследователей. С. Гроссберг предложил в 1970-х целое множество соревновательных схем обучения нейросетей [22]. В 1976 г. фон дер Мальсбург и Виллшоу представили модель подобной самоорганизующейся карты, основная идея которой состоит в том, что сумма весов связей различных обрабатывающих нейронов с одним входным элементом должна оставаться постоянной в процессе обучения (т.е. если один из весов (или несколько) увеличивается, то остальные должны уменьшиться) [23].

В результате подобных исследований в 1980-х годах интерес к нейронным сетям существенно возрос. С. Гроссберг в 1980 г. открыл новый принцип самоорганизации — теорию адаптивного резонанса [24]. В основе теории лежит использование слоя распознавания «снизу-вверх» и слоя генерации «сверху-вниз». Если входной и запомненный сетью образы совпадают, возникает состояние, называемое адаптивным резонансом, вследствие которого нейронная активность усиливается и продлевается.

В 1982 г. Т. Кохонен развивает идеи Гроссберга и фон дер Мальсбурга и приходит к выводу, что главная цель соревновательного обучения должна состоять в конструировании набора векторов, которые образуют множество равновероятных представителей из некоторой фиксированной функции плотности распределения входных векторов [25]. В итоге именно его имя закрепится за моделью самоорганизующихся карт. Карты Кохонена обучались по принципу «без учителя», решали задачи кластеризации, визуализации многомерных массивов данных и другие задачи интеллектуального анализа. Данный инструментарий успешно применяется для решения многих задач и сегодня.

В 1982 г. Дж. Хопфилд представил работу о нейронных сетях и физических системах, в которой показал возможности моделирования нейронных сетей, основываясь на новой архитектуре с обратными связями [26]. Сеть такого типа имеет симметричную матрицу связей. Хопфилд показал, что подобный подход гарантирует сходимость к устойчивому состоянию, что позволяет извлечь из памяти ранее сохраненный образ. Нейронные сети Хопфилда могут с легкостью решать задачи коммивояжера и другие оптимизационные задачи, успешно использоваться для распознавания образов и восстановления поврежденной или зашумленной информации.

Сеть Хопфилда представляет особый интерес для развития теории искусственного интеллекта [27, с. 636]. Сеть с обратной связью формирует ассоциативную память, то есть такую, которая может завершить или исправить образ, но не может ассоциировать полученный образ с другим образом. В отличие от большинства нейронных сетей, сеть Хопфилда может быть использована как автоассоциативная память, которая способна сохранять целые последовательности образов или временные паттерны. Такая ее особенность достигается путем добавления временной задержки к обратной связи. Благодаря этой задержке можно предоставлять автоассоциативной памяти последовательности образов, и она будет сохранять их. Подобным образом обучаются люди — усваивая последовательности паттернов. Это позволяет сделать заключение о потенциальном значении обратной связи, но в подавляющем большинстве современных систем искусственного интеллекта и в искусственных нейронных сетях фактору времени и обратной связи не придается должного внимания [28, с. 19].

В том же 1982 г. состоялась Объединенная американо-японская конференция по нейронным сетям. В результате США существенно увеличивает финансирование проектов, связанных с нейросетевыми технологиями. Интерес к данной области значительно возрастает и дальнейшее развитие искусственных нейронных сетей проходит достаточно динамично.

С 1985 г. Американский институт физики начинает проводить ежегодные встречи «Нейронные сети для вычислений». В 1986 г. целой плеядой ученых независимо друг от друга переоткрыт и существенно развит метод обратного распространения ошибки (например, в известной работе Руммельхарта, Хинтона и Уиль-

ямса [29]), что приводит к взрыву интереса к обучаемым нейронным сетям.

Одним из этих ученых — Дж. Хинтоном — годом ранее вместе с Т. Сейновски изобретена Машина Больцмана (RBM) [30], которая была первой нейронной сетью, способной обучаться внутренним репрезентациям, решать сложные комбинаторные задачи.

В 1988 г. Брумхед и Лове описали архитектуру многослойной сети прямого распространения на базе радиальных базисных функций (RBF сети) [31], которая стала альтернативой многослойному перцептрон. Такая сеть аналогично перцептрон не содержит рекурсии и предназначена для аппроксимации функций, которые заданы в неявном виде набором шаблонов (обучающих образов).

В начале 90-х в лабораториях AT&T Bell В. Вапник разрабатывает теорию Машин опорных векторов [32]. Нейронные сети, созданные в соответствии с принципами данной теории, позволяют решать задачи распознавания образов, регрессии, оценки плотности.

В работах Ф. Раека и В. Маасса в 1997 г. показаны модели спайковых нейронных сетей, т.е. таких, которые эмулируют передачу импульса аксоном биологического нейрона [33]. Спайковые нейросети способны решать задачи частотных и бинарных нейросетей, включая задачи интерполяции непрерывных функций, кластеризации. Однослойные спайковые нейронные сети способны решать некоторые задачи нелинейной классификации (типа «исключающего ИЛИ»). При этом обучение спайковых нейронов может происходить одновременно с их функционированием.

В 2004 г. Е. Ижикевич описывает несколько разных моделей спайковых нейронных сетей и возможности их потенциального применения [34]. Автор рассуждает в том числе о специфических задачах, для решения которых выбор должен быть сделан в пользу конкретной модели.

Спайковые нейронные сети появились благодаря очередному обращению внимания на биологического прародителя. Все больше внимания исследователи искусственных нейросетей уделяют конструкции биологических нейронных сетей. Впервые за долгое время ученые обращают внимание на необходимость создания принципиально новой архитектуры или усовершенствования

ния фон-неймановской архитектуры компьютера для эффективной работы с нейросетями. В результате многократно увеличивается финансирование проектов, которые заняты аппаратной составляющей многопроцессорных архитектур.

В 2005 г. стартует Манчестерский проект SpiNNaker, являющийся огромным параллельным нейроморфным суперкомпьютером с малым энергопотреблением [35]. Он разработан для моделирования очень больших и биологически реалистичных спайковых нейронных сетей в реальном времени. Готовый компьютер будет иметь 65 536 одинаковых 18-ядерных процессоров, что даст суммарно 1 179 648 ядер. По расчету манчестерских ученых данная машина сможет эмулировать работу более чем миллиарда нейронов в реальном времени. В основу работы SpiNNaker положена модель Ижикевича.

В том же году стартует проект по компьютерному моделированию неокортекса человека — Blue Brain Project. Над проектом совместно работают компания IBM и Швейцарский федеральный технический институт Лозанны (EPFL). В проекте использован суперкомпьютер Blue Gene, использующий 8192 процессора для моделирования 10000 нейронов. То есть, фактически один процессор моделирует один нейрон. Для соединения нейронов было проведено эмуляцию порядка 30 млн синапсов. Однако мощности этого суперкомпьютера недостаточно для моделирования процессов в подобной системе в режиме реального времени.

В 2008 г. наконец был представлен мировому сообществу недостающий элемент, предсказанный Л. Чуа, — мемристор, разработанный в лаборатории НР коллективом учёных во главе с Р. Уильямсом [36; 37]. Элемент создан на основе наноионной технологии из двух пленок двуокиси титана, одна из которых обеднена кислородом. Это наделяет элемент способностью к изменению своей проводимости в соответствии с явлением гистерезиса, что позволяет использовать его как ячейку памяти. На основе мемристоров возможно создание ЭВМ, в которых операции вычисления и хранения памяти будут производиться в одном и том же элементе, а сами вычисления будут распараллелены.

Математические модели нейронных сетей также продолжают развиваться и в 2007 г. Дж. Хинтоном в университете Торонто

созданы алгоритмы глубокого обучения многослойных нейронных сетей. Успех обусловлен тем, что Хинтон при обучении нижних слоев сети использовал свое прошлое изобретение — ограниченную машину Больцмана. Глубокое обучение по Хинтону — это очень медленный процесс, когда необходимо использовать большое количество примеров распознаваемых образов (например, множество лиц людей на разных фонах). После обучения получается готовое быстро работающее приложение, способное решать конкретную задачу (например, осуществлять поиск лиц на изображении). Функция поиска лиц людей на сегодняшний день стала стандартной и встроена во все современные цифровые фотоаппараты. Технология глубокого обучения активно используется интернет-поисковиками при классификации картинок по содержащимся в них образам. Применяемые при распознавании искусственные нейронные сети могут иметь до 9 слоев нейронов, их обучение ведётся на миллионах изображений с отыскиваемым образом.

В 2008 г. стартует проект Агентства передовых оборонных исследовательских проектов США (DARPA) — SyNAPSE, основными исполнителями в котором являются IBM, HRL и группа североамериканских университетов [38; 39]. В результате планируется получить нейроморфическую технологию или процессорную систему, потенциально масштабируемую до уровня, сопоставимого с мозгом животного размером с кошку. К данному моменту IBM в рамках проекта SyNAPSE уже представила отладочную плату, снабженную 16 нейроморфическими процессорами IBM TrueNorth, каждый из которых содержит более 5 млрд транзисторов и имитирует работу до 1 млн модельных нейронов и до 4 млрд синапсов.

Программа SyNAPSE также предполагает использование мемристоров. Более того, в 2011 г. на конференции Design Automation Conference (DAC 2011) основатель и ведущий исследователь группы когнитивных вычислений в IBM представил работающий чип на основе мемристоров, эмулирующий работу миллиона синапсов [40]. Ознакомится с описанием чипа и примерами его работы можно на сайте IBM [41].

Одним из недавних достижений в построении классических нейронных сетей стала представленная летом 2012 г. компанией Google система из 3 миллионов искусственных нейронов, содержащая порядка 1,5 миллиардов синапсов. Модель была успешно

обучена распознаванию кошек на фотографиях из коллекции проиндексированных изображений Google [42].

Параллельно с математическими концепциями нейронных сетей и нейрочипами развивается и возможность изучения биологических нейронных сетей в совокупности с биотехнологиями вообще. Все это дает предпосылки для появления очередных эволюционных скачков в области создания искусственных нейросетей. Модель формального нейрона Мак-Каллока-Питтса, сетевая структура и пороговые функции перцептрона Розенблатта, кортикоподобный когнитрон Фукусимы, обратные связи в сетях Хопфилда, спайковые сети — все эти модели обязаны новейшим открытиям в нейробиологии, психологии и медицине тех времен.

В 1986 г. после многолетнего кропотливого труда составлен коннектом¹ червя *C. elegans*. Летом 2009 г. Национальным институтом здоровья США был начат проект The Human Connectome Project (HCP), или же Коннектом Человека. Построение коннектома необходимо не только для биологов и медиков. Сочетание данных наработок со знанием строения мозга и нервной системы вообще в совокупности со знанием о цитоархитектонических полях Бродмана (функционально и конструктивно отличных участках мозга) позволяет создать принципиально новые нейронные модели.

Крайне любопытным достижением в области биотехнологий и нейрочипов является разработанный французскими исследователями в 2009 г. био-транзистор (NOMFET — a nanoparticle organic memory field-effect transistor) [43]. Авторам удалось получить электронный аналог эффекта синаптической пластичности с помощью золотых наночастиц и органического полупроводника. Частицы были заключены в пентаценовую пленку и располагались в канале транзистора, играя роль наноразмерных конденсаторов. Для создания потенцирующего синапса перед подачей периодической последовательности импульсов исследователи заряжали наночастицы (подавали отрицательное напряжение на затвор), а тормозящий синапс требовал предварительной подачи положительного напряжения на затвор. Авторам также удалось смоделировать поведение синапсов обоих типов без начального

¹ Коннектом - полное описание структуры связей в нервной системе организма. Сам термин предложен Спорнсом и Хагманном в 2005 г. по аналогии с термином «геном».

программирования. В этом случае на затвор подавалась такая же периодическая последовательность импульсов, определявшая процесс заряда и разряда наночастиц.

На базе традиционных электронных компонентов собраны десятки схем, которые позволяют смоделировать работу различных составляющих нейронных сетей [44]. Эти достижения показывают возможность моделирования разнообразных синаптических структур, разных типов нейронов, распространения потенциала действия по аксону, спайковых моделей Ижикевича и т. д.

В итоге сегодня исследования по созданию интеллектуальных технологий на основе нейроподобных элементов проводятся в двух ключевых направлениях: с одной стороны проводятся исследования макро-мира мозга и нейронных сетей — разрабатываются вычислительные модели и теории на базе нейросетевых концепций, нейроподобные микросхемы и элементы; с другой стороны исследуется микро-мир — открываются все новые типы молекул нейромедиаторов и белков в биологических нейронных структурах, исследуются ионные каналы, механизмы формирования и переформирования микроструктур нейрона и т. д. Попытки объединения этих двух концепций дают свои плоды. К примеру, представленный симулятор спайковых нейронных сетей CARLsim отличается относительно низким энергопотреблением, использованием многоядерной архитектуры (GPU) для параллельных вычислений, моделированием на основе концепции Ижикевича, а также учитывает краткосрочную и долгосрочную синаптическую пластичность, и даже 4 разных типа ионных каналов (AMPA, NMDA и 2 GABA) [45]. На базе CARL успешно реализованы модели распознавания объектов, визуального движения, разных видов памяти и т. д.

Как бы то ни было, проведенный тщательный анализ существующих разработок в области нейросетевых технологий и искусственного интеллекта, вплоть до наиболее современных, не позволил найти готовых решений в направлении создания искусственных нейронных сетей, которые бы объединяли в себе все передовые исследования по нейробиологии, известные на данный момент. Нет ни одной биологически правдоподобной нейронной сети с обучением на основе подкрепления — существующие модели весьма условны. Ни одна из разработанных моделей не объясняла существование различных видов нейромедиаторов и их

комбинаций в работе сети. Описанные Э. Канделем модели с модулирующим синапсом, а также модели имплицитной и эксплицитной памяти на данный момент не получили конкретного воплощения в искусственных нейронных сетях [46].

Об искусственных нейронных сетях, механизм функционирования которых включал бы в себя режим или фазу сна, не удалось найти никакой информации вообще. А ведь множество исследований в нейробиологии и психологии настаивают на исключительной важности сна в обучении и формировании устойчивой долговременной памяти [47—49]. Все это говорит о необходимости проведения дальнейшего междисциплинарного исследования в данной области науки.

Однако вместо создания математической модели, функционирующей по подобию структур мозга, гораздо более важной задачей является создание биологически правдоподобной искусственной нейронной сети, где биологическая идентичность должна сохраняться на всех уровнях системы. Т. е., создаваемая система должна не только досконально функционально повторять биологический нейрон, но и быть способной взаимодействовать с другими такими искусственными нейронами. И это при том, что есть множество типов нейронов, для которых характерны свои наборы нейромедиаторов, рецепторов, белков и т. д.

Далее необходимо сделать декомпозицию нейрона на составляющие, которые на доказательной основе важны при воспроизведении функций биологических нейронных сетей, связанных с хранением и обменом информацией. Воспользуемся тут методом «от простого к сложному», когда рассматриваемая концепция сохраняет свою пригодность при дальнейшем усложнении и уточнении конструкции.

Если не рассматривать на данном этапе сенсорные и моторные нейроны, а проектировать только вставочные, то необходимо понимать, что нейрон начинается и заканчивается одним и тем же элементом — синапсом. Каждый синапс характеризуется определенным типом нейромедиаторов на пресинаптическом окончании нейрона и определенным типом рецепторов в постсинаптической мембране. И эти два компонента обязательно способны определенным образом взаимодействовать друг с другом. Их взаимодействие проявляется, во-первых, в изменении потенциала мембраны постсинаптического нейрона по определенному закону, а,

во-вторых, в активации определенных ферментов и белков в постсинаптическом нейроне [46]. Это дает нам возможность определить компонент «синапс» не только как соединение между нейронами, но и как связку нейромедиатор-рецептор.

Такой подход позволяет использовать в схемотехнике достижения нейрофизиологов в области исследования синапсов, касающихся определения совокупности типов синапсов по признаку связки нейромедиатор-рецептор. Данная связка должна характеризоваться алгоритмом поведения, который включает закон изменения потенциала мембраны постсинаптического нейрона, порядок активации и перечень белков, ферментов, нуклеотидов и прочих элементов, содержащихся и взаимодействующих в нейроне, а также последствия этого процесса. В определенной степени это реализовано в симуляторе CARLsim, где учтены сочетания нейромедиатора глутаминовой кислоты и рецепторов AMPA, NMDA, GABA и прочих [45]. Чтобы понимать масштаб проблемы, нужно учесть, что на данный момент известно более 350 типов рецепторов, из которых лишь около 150 удалось связать с 75 известными типами нейромедиаторов [50]. При этом каждый год наука открывает всё новые типы рецепторов и нейромедиаторов.

Синапс также подлежит декомпозиции. Он должен состоять из системы, которая определяет тип нейромедиатора-рецептора, и системы, которая будет реализовывать механизм краткосрочной памяти. В контексте данной концепции можно предложить реализовать механизм определения типа связки нейромедиатор-рецептор в виде отдельной системы, стоящей перед синапсом, который, являясь следующей системой, в свою очередь будет отвечать за механизм краткосрочной памяти.

Тут стоит также обратить внимание, что после появления мемристора искусственный синапс стал объектом пристального внимания исследователей, а все остальные компоненты нейрона отошли на второй план. Так, именно мемристорные синаптические матрицы используются в основе проекта DARPA SyNAPSE в сочетании с моделью Ижикевича. В работе [51] представлена концепция мемристорной матрицы, а в работе [52] предложена схема мемристорной матрицы с электронными ключами на полевых транзисторах. Возможность хранения памяти и проведения вычислений с ней в одном и том же элементе обеспечивает применимость данной концепции для построения вычислительных

машин и носителей памяти нового поколения. Однако такой подход не является биологически правдоподобным (идет в разрез с современной концепцией обработки и хранения информации в нейроне, описанной Канделем [46]).

Следующим элементом декомпозиции являются дендриты (отростки нейрона, служащие для приема сигнала от других нейронов) и шипики (структуры дендрита, служащие для формирования дополнительных синапсов), расположенные на них. Их функция состоит в химической связи тела постсинаптического нейрона с синапсом. Говорить о необходимости моделирования дендритов отдельно от синапса пока рано. А потому, данный элемент пока можно упустить и при необходимости вернуться к нему в дальнейшем.

Далее следует выделить тело клетки. В отличие от традиционных концепций, где сома рассматривалась исключительно как сумматор, следует учесть наработки по механизмам клеточной памяти на основе моделей Канделя. Это приводит нас к необходимости управления синапсами с помощью обратных связей из сомы. Механизмы дофаминового и серотонинового подкрепления не могут быть реализованы исключительно в элементе синапса связкой нейромедиатор-рецептор, а требуют следования комплексному алгоритму, где каждый следующий шаг имеет определенную задержку во времени и приводит к определенным функциональным и, что очень важно, конструктивным изменениям (например, отращивание новых синапсов в нейронах, содержащих белок CREB, что является реализацией механизма долговременной памяти) [46].

Потенциал действия, возникающий в нейроне при преодолении накопленным потенциалом мембраны определенного порогового значения, обозначает лишь факт передачи импульса далее по аксону. Т.е., это фактически бинарная модель. Однако, опираясь на модель Ижикевича, нужно также учитывать, что в ответ на разовое преодоление порогового значения разные нейроны отвечают разным количеством импульсов (спайков).

Воспроизведение функциональности длинного отростка нейрона — аксона — заключается в моделировании временной задержки между возникновением потенциала действия в нейроне и высвобождением нейромедиатора в синапсах на окончании терминалей данного аксона. Скорость распространения импульса

в миелинизированном аксоне (покрытом специальной оболочкой, увеличивающей проводимость) равна примерно 120 м/с. Если волокно не миелинизировано, скорость значительно более низкая. При этом длина аксона в человеческом теле может достигать 120 см. Учет данного временного фактора при конструировании искусственной нейронной сети важен для достижения биологической правдоподобности. Как пример системы, эмулирующей распространение импульса по аксону, можно рассмотреть схему Льюиса, в которой удалось на базе радиоэлектронных элементов произвести эмуляцию распространения импульса по миелинизированному волокну аксона [53].

Еще одним элементом декомпозиции нейрона являются относительно короткие по сравнению с аксоном отростки — терминали, которые заканчиваются синапсами, соединяющими данный нейрон с последующим. Аксон вместе с терминалями в биологической системе проводят передаваемый импульс из одной точки в другую, нередко очень удаленную от первой. Если при моделировании работы биологического нейрона мы возложили на аксон функцию задержки во времени, то функцию маршрутизации (определения топологии связей между нейронами) можно предложить возложить именно на терминали.

Терминали заканчиваются пресинаптической мембраной, т. е. частью синапса, которая содержит нейромедиатор. Постсинаптическая мембрана принадлежит следующему нейрону и содержит рецепторы. Таким образом, мы вернулись к связке нейромедиатор-рецептор, то есть, провели описание всех значимых с точки зрения обработки информации функциональных актов, осуществляемых в нейроне, с привязкой к его структурным составляющим, которые их реализуют.

Такая концепция является более гибкой, чем известные на данный момент модели, рассмотренные в этой статье. Из описанных структурных элементов нейрона можно построить наиболее биологически правдоподобную искусственную нейронную систему.

Для примера рассмотрим механизм возможной реализации синапса с элементом памяти. Память биологического синапса имеет дискретную природу. Ведь, с одной стороны, есть некоторое количество молекул нейромедиатора, которые готовы к высвобождению в синапс (за один акт передачи высвобождаются

десятки тысяч молекул), с другой стороны, есть определенное количество рецепторов, способных с данными нейромедиаторами взаимодействовать. В соответствии с моделью Канделя краткосрочную память в моделируемом синапсе (или же входящем синапсе нейрона) можно представить в виде добавления AMPA рецептора в результате воздействия нейромедиатора на NMDA рецепторы, которые становятся активными только после достаточно сильного воздействия на уже присутствующие AMPA рецепторы. Или проще, в соответствии с правилом Хебба, достаточно активное воздействие на синапс приводит к усилению его чувствительности.

В нейронных сетях, которые обучаются по методу обратного распространения ошибки, изменение памяти синапса (коэффициента в матрице весов) происходит после воздействия сигнала на данный синапс. Т.е. вначале осуществляется передача информации, после чего происходит обучение. Подобным образом можно поступить и при реализации электронной схемы синапса. Для этого, учитывая, что нейрон работает с определенной частотой (в диапазоне до 100 Гц), можно предложить дублировать импульсы и, таким образом, удвоить частоту. Тогда первый импульс будет передан синапсом для обработки на следующие структурные элементы нейрона, а идентичный ему парный импульс использован для модификации памяти.

В качестве элемента памяти можно использовать дискретную реализацию на базе традиционных транзисторов (к примеру, КПОМ архитектура). Однако такая реализация требует использования достаточно большого количества транзисторов (для обеспечения памяти в 32 бит и более). С другой стороны, можно использовать аналоговый элемент, к примеру, конденсатор или мемристор. Последний выгоднее в силу своих габаритов (размер мемристора меньше, чем даже одного транзистора в КМОП архитектуре), энерго-эффективности и энергонезависимости, точности и скорости работы, что позволит построить эффективную, точную и надежную ячейку памяти.

Для простоты симуляции работы предложенной схемы вместо мемристорной ячейки используем конденсатор и резистор, который эмулирует ток утечки (степень «забывания» в единицу времени). Концептуальная схема электронного синапса представлена на рис. 1, где блок памяти представлен конденсатором C1 и резистором R1.

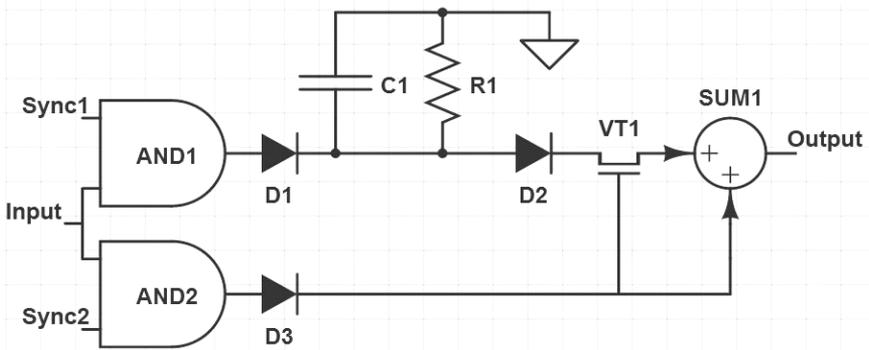


Рис. 1. Концептуальная схема электронного синапса

На вход системы подаются квадратные импульсы с амплитудой 5В и частотой 200 Гц, которые условно имитируют непрерывную передачу молекул определенного вида нейромедиатора в синапсе. Результат работы данной схемы электронного синапса представлен на рис. 2. Каждый непарный импульс использован для модификации памяти и отфильтрован. Каждый парный импульс на выходе скорректирован (в данном случае усилен) в соответствии с модифицированной памятью.

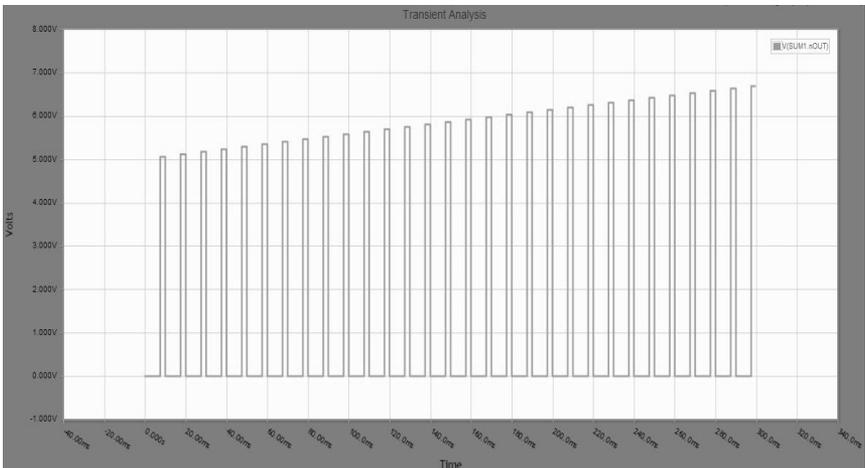


Рис. 2. Симуляция работы электронного синапса с памятью на основе конденсатора и резистора

Подчеркнем, что в реальной системе вместо конденсатора будет использована ячейка памяти на базе мемристора в виду перечисленных выше причин. Мемристор обладает свойством гистерезиса. В 2012 г. Л. Чуа с группой других исследователей предложил концепцию синапса, состоящего из четырех мемристоров и названного синапсом на основе мемристорного моста [54]. Подобная схема позволяет обеспечить линейность поведения мемристора, что показано в другой работе Чуа [55]. Таким образом, блок памяти, обозначенный на рис. 1 как R1 и C1, может быть реализован в виде мемристорного моста, представленного на рис. 3. В отличие от концепции Л. Чуа такая ячейка не будет выполнять функцию целого синапса, а лишь его системы памяти.

Данная концепция соответствует условию о возможности дальнейшего уточнения и усложнения конструкции элемента. К примеру, для приближения предложенной системы к биологическому нейрону необходимо учесть возможность дофаминового или серотонинового подкрепления, конечность запаса нейромедиаторов, что приводит к истощению синапса, и время, необходимое для восполнения их запаса. Также необходимо учесть механизм потенциации на основе протеинкиназы-A (PKA), в результате воздействия которой повышается вероятность выброса дополнительного количества нейромедиатора [46]. Данный перечень конструктивных доработок электронного синапса подлежит уточнению и дополнению.

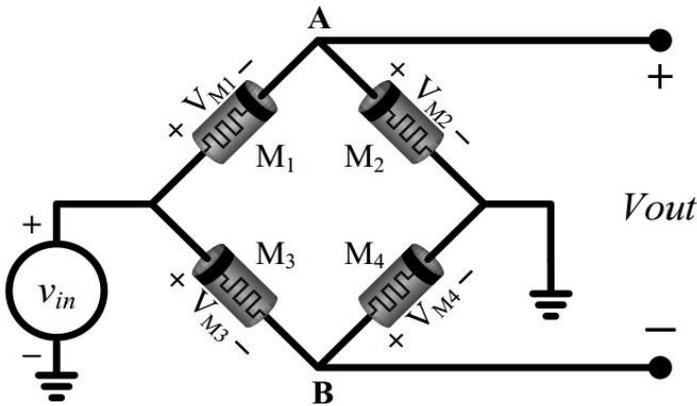


Рис. 3. Синапс на основе мемристорного моста [55]

Выводы

В результате проведенного ретроспективного анализа развития научной мысли в области создания искусственных нейронных сетей удалось проследить закономерность появления здесь значительных успехов в связи с использованием новейших открытий в области нейрофизиологии.

В статье продемонстрирован вектор развития инженерной мысли по созданию искусственных нейросетевых структур в сторону сближения с архитектурой биологических нейронных сетей. Так, процессоры вначале получили многоядерную архитектуру, навеянную параллельной структурой мозга, вплоть до создания архитектур из десятков тысяч ядер, как в проекте SpiNNaker. А позже, с разработкой мемристора, меняется сама концепция построения ЭВМ — появление четвертого пассивного электронного элемента (мемристора) позволяет совершить качественный скачок в развитии вычислительной техники, а также перевести на новый уровень технологию реализации и функциональность искусственных нейронных сетей. В статье рассмотрены основные проекты по использованию мемристорной технологии в области моделирования работы мозга и построения нейронных сетей.

Благодаря объединению нейробиологических и технических достижений предложена декомпозиция нейронной структуры, которая позволяет создать основу для построения нейронной архитектуры, максимально приближенной к биологическому аналогу. Предполагается возможность свободного уточнения и усложнения модели, а также работоспособность модели при любом уровне масштаба (от одного изолированного нейрона до целостных нейросетевых структур).

В рамках разработанной модели декомпозиции и мемристорной технологии предложена концепция построения электронного синапса с ячейкой памяти на основе мемристорного моста. Проведена эмуляция работы данного устройства с ячейкой памяти на основе конденсатора и резистора. Полученные результаты говорят о высоких перспективах дальнейшего развития данной концепции.

Література

1. *McCulloch W.* A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity / McCulloch W., Pitts W. — Bulletin of Mathematical Biophysics. — 1943. — Vol. 5. — P. 115—133.
2. *Wiener N.* Perspectives in Neurocybernetics / Wiener N. — Progress in Brain Research. — 1965. — Vol. 17. — P. 399—404.
3. *Hebb D.* The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory / Hebb D. — New York: Wiley and Sons. — 1949. — 335 p.
4. *Turing A.* Computing Machinery and Intelligence / Turing A. — Mind, New Series. — Vol. 59. — No. 236. — 1950. — P. 433—460.
5. *Turing A.* On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem / Turing A. — Proceedings of the London Mathematical Society. — 1936. — Ser. 2. — Vol. 42. — P. 230—265.
6. *Willshaw D.* Non-holographic associative memory / Willshaw D., Buneman O., Longuet-Higgins. — Nature. — 1969. — Vol. 222. — P. 960—962.
7. *Von Neumann J.* The Computer and the Brain / J. von Neumann — New Haven, CT: Yale University Press, 1958. — 82 p.
8. *Holland O.* Grey Walter: The Pioneer of Real Artificial Life / Holland O. — Proceedings of the 5th International Workshop on Artificial Life. — Cambridge: MIT Press, 1997. — P. 34—44.
9. *White H.* Artificial Neural Networks: Approximation and Learning Theory / White H. — Cambridge, MA: Blackwell. — 1992. — P. 224—258.
10. *Rosenblatt F.* Principles of neurodynamics; perceptrons and the theory of brain mechanisms / Rosenblatt F. — Washington: Spartan Books, 1962. — 616 p.
11. *Minsky M.* Perceptrons / Minsky M., Papert S. — Cambridge, MA: MIT Press, 1969. — 263 p.
12. *Галушкин А. И.* Синтез многослойных систем распознавания образов / А. И. Галушкин. — М.: Энергия, 1974. — 368 с.
13. *Werbos P.* Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. Ph.D. thesis / Paul Werbos. — Cambridge, MA: Harvard University, 1974.
14. *Ивахненко А. Г.* Метод группового учета аргументов — конкурент метода стохастической аппроксимации / А. Г. Ивахненко. — Автоматика. — 1968. — № 3. — С. 58—72.
15. *Chua L.* Memristor — The Missing Circuit Element / Chua L. — IEEE Transactions on Circuits Theory. — 1971. — Vol. 18. — No. 5. — P. 507—519.
16. *Zadeh L.* Fuzzy Sets / Zadeh L. — Information and Control. — 1965. — № 8. — P. 338—353.
17. *Mamdani E.* Advances in the Linguistic Synthesis of Fuzzy Controller / Mamdani E. — International Journal Man-Machine Studies. — 1976. — Vol. 8. — P. 669—678.

18. *Mamdani E.* An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller / Mamdani E., Assilian S. — International Journal Man-Machine Studies. — 1975. — Vol. 7. — № 1. — P. 1—13.
19. *Takagi T.* Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control / Takagi T., Sugeno M. — IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. — 1985. — Vol. 15. — P. 116—132.
20. *Fukushima K.* Cognitron: A self-organizing multilayered neural network / Fukushima K. — Biol. Cybernetics. — Vol. 20. — 1975. — P. 121—136.
21. *Fukushima K.* Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position / Fukushima K. — Biological Cybernetics. — 1980. — Vol. 36. — No. 4. — P. 93—202.
22. *Grossberg S.* Adaptive pattern classification and universal recoding, part I. Parallel development and coding of neural feature detectors / Grossberg S. — Biol. Cybernet. — 1976. — Vol. 23. — P. 121—134.
23. *Willshaw D.* How patterned neural connections can be set up by self-organization / Willshaw D., Von der Malsburg C. — Proc. R. Soc. London B. — 1976. — Vol. 194. — P. 431—445.
24. *Grossberg S.* How does the Brain Build a Cognitive Code? / Grossberg S. — Psychological Review. — Vol. 87. — 1980. — P. 1—51.
25. *Kohonen T.* Self-organized formation of topologically correct feature maps / Kohonen T. — Biological Cybernetics. — 1982. — Vol. 43. — P. 59—69.
26. *Hopfield J.* Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities / Hopfield J. — Proceedings of the National Academy of Sciences, USA. — 1982. — Vol. 79. — P. 2554—2558.
27. *Coppin B.* Artificial Intelligence Illuminated / Coppin B. — Jones & Bartlett Learning, 2004. — 739 p.
28. *Хокинс Дж.* Об интеллекте: Пер. с англ. / Хокинс Дж., Блейкли С. — М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. — 240 с.
29. *Rummelhart D.* Learning Internal Representation by Back-Propagation Errors / Rummelhart D., Hinton G., Williams R. — Nature. — 1986. — № 23. — P. 533—536.
30. *Ackley D.* A Learning Algorithm for Boltzmann Machines / Ackley D., Hinton G., Sejnowski T. — Cognitive Science. — No. 9. — 1985. — P. 147—169.
31. *Broomhead D.* Multivariable functional interpolation and adaptive networks / Broomhead D., Lowe D. — Complex Systems. — 1988. — Vol. 2. — P. 321—355.
32. *Cortes C.* Support vector networks / Cortes C., Vapnik V. — Machine Learning. — Vol. 20. — 1995. — P. 273—297.
33. *Maass W.* Networks of spiking neurons: the third generation of neural network models / Maass W. — Neural Networks. — 1997. — Vol. 10. — No. 9. — P. 1659—1671.

34. *Izhikevich E.* Which Model to Use for Cortical Spiking Neurons? / Izhikevich E. — IEEE Transactions on Neural Networks. — Vol. 15. — No. 5. — 2004. — P. 1063—1070.

35. *Furber S.* Neural systems engineering / Furber S., Temple S. — J. R. Soc. Interface. — 2007. — Vol. 4. — P. 193—206.

36. *Strukov D.* The missing memristor found / Strukov D., Snider G., Stewart D., Williams S. — Nature. — Vol. 453. — 2008. — P. 80—83.

37. *Beckett J.* Demystifying the memristor: Proof of fourth basic circuit element could transform computing / Beckett J. — HP Labs. — 2008. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.hpl.hp.com/news/2008/apr-jun/memristor.html>.

38. SyNAPSE: IBM Cognitive Computing Project. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://researchweb.watson.ibm.com/cognitive-computing>.

39. HRL Laboratories, LLC. Center for Neural and Emergent Systems. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.hrl.com/laboratories/cnes/cnes_main.html.

40. *Modha D.* Cognitive Computing: Neuroscience, Supercomputing, Nanotechnology / Modha D. — Design Automation Conference (DAC). — 2011. — June 9. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www2.dac.com/events/videoarchive.aspx?confid=122&filter=keynote&id=122-120-00&#video>.

41. IBM Research: Neurosynaptic chips. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://researchweb.watson.ibm.com/cognitive-computing/neurosynaptic-chips.shtml>.

42. *Le Q.* Building high-level features using large scale unsupervised learning. International Conference in Machine Learning, 2012. / Le Q. V., Ranzato M., Monga R., Devin M., Chen K. et al. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://static.googleusercontent.com/external_content/untrusted_dlcp/research.google.com/en//archive/unsupervised_icml2012.pdf.

43. *Alibart F.* An Organic Nanoparticle Transistor Behaving as a Biological Spiking Synapse / Alibart F., Pleutin S., Guérin D., Novembre C., Lenfant S et al. — Adv. Funct. Mater. — No. 20. — 2010. — P. 330—337.

44. *Indiveri G.* Neuromorphic silicon neuron circuits / Indiveri G., Linares-Barranco B., Hamilton T. J., Van Schaik A., Etienne-Cummings R., Delbruck T., et al. — Front. Neurosci. — 2011. — Vol. 5. — Article 73.

45. *Carlson K.* GPGPU Accelerated Simulation and Parameter Tuning for Neuromorphic Applications / Carlson K., Beyeler M., Dutt N., Krichmar J. — IEEE Design Automation Conference (ASP-DAC). — 2014. — P. 570—577.

46. *Kandel E.* The Molecular Biology of Memory Storage: A Dialog Between Genes and Synapses / Kandel E. — Bioscience Reports. — 2005. — Vol. 24. — No. 4. — P. 475—522.

47. *Rasch B.* About Sleep's Role in Memory / Rasch B., Born J. — *Physiological Reviews*. — 2013. — Vol. 93. — No. 2. — P. 681—766.
48. *Donlea J.* Inducing Sleep by Remote Control Facilitates Memory Consolidation in *Drosophila* / Donlea J., Thimgan M., Suzuki Y., Gottschalk L., Shaw P. — *Science*. — Vol. 332. — No. 6037. — 2011. — P. 1571—1576.
49. *Potkin K.* Sleep improves memory: the effect of sleep on long term memory in early adolescence / Potkin K., Bunney W. Jr. — *PLoS One*. — 2012. — Vol. 7. — Issue 8. — Special section p1.
50. *Wise A.* The identification of ligands at orphan g-protein coupled receptors / Wise A., Jupe S., Rees S. — *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*. — 2004. — Vol. 44. — P. 43—66.
51. *Truong S.* New Memristor-Based Crossbar Array Architecture with 50-% Area Reduction and 48-% Power Saving for Matrix-Vector Multiplication of Analog Neuromorphic Computing / Truong S., Min K. — *Journal of Semiconductor Technology and Science*. — 2014. — Vol. 14. — No. 3. — P. 356—363.
52. *Yakopcic C.* Analysts of a memristor based 1T1M crossbar architecture / Yakopcic C., Taha T. et al. — *The 2011 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, IEEE. — 2011. — P. 3243—3247.
53. *Lewis E.* Using electronic circuits to model simple neuroelectric interactions / Lewis E. — *Proc. IEEE Special issue on studies of neural elements and systems*. — 1968. — Vol. 56. — No. 6. — P. 931—949.
54. *Kim H.* Memristor bridge synapses / Kim H., Sah M., Yang C., Roska T., Chua L. — *Proc. of IEEE, Special issue on Memristors: Devices, Models and Application*. — 2012. — Vol. 100. — No. 6. — P. 2061—2070.
55. *Sah M.* A voltage mode memristor bridge synaptic circuit with memristor emulators / Sah M., Yang C., Kim H., Chua L. — *Sensors*. — 2012. — March. — Vol. 12. — No. 3. — P. 3587—3604.

References

1. McCulloch, W. S., & Pitts, W. H. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115—133.
2. Wiener, N. (1965). Perspectives in Neurocybernetics. *Progress in Brain Research*, 17, 399—404.
3. Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*. New York: Wiley and Sons.
4. Turing, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind, New Series*, 59 (236), 433—460.
5. Turing, A. M. (1936). On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungs problem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 42, 230—265.
6. Willshaw, D. J., Buneman, O. P., & Longuet-Higgins, H. C. (1969). Non-holographic associative memory. *Nature*, 222, 960—962.

7. von Neumann, J. (1958). *The Computer and the Brain*. Yale University Press, 1958.
8. Holland, O. E. (1997). Grey Walter: The Pioneer of Real Artificial Life. *Proceedings of the 5th International Workshop on Artificial Life*, MIT Press, Cambridge, 34—44.
9. White, H. (1992). Artificial Neural Networks: Approximation and Learning Theory. Cambridge, MA: Blackwell, 224—258.
10. Rosenblatt, F. (1962). *Principles of Neurodynamics*. Washington, DC: Spartan Books.
11. Minsky, M. L., & Papert, S. A. (1969). *Perceptrons*. Cambridge, MA: MIT Press.
12. Galushkin, A. I. (1974). *Sintez mnogoslainikh sistiem raspoznavaniya obrazov*. Moskva: Energiya [in Russian].
13. Werbos, P. J. (1974). *Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences*. Ph.D. thesis, Cambridge, MA: Harvard University.
14. Ivakhnenko, A. H. (1968). Metod hruppovogo ucheta arhumentov — konkurent metoda stokhasticheskoy approksymaciyi. *Avtomatika (Automatics)*, 3, 58—72 [in Russian].
15. Chua, L. O. (1971). Memristor — The Missing Circuit Element. *IEEE Transactions on Circuits Theory (IEEE)*, 18 (5), 507—519.
16. Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8, 338—353.
17. Mamdani, E. H. (1976). Advances in the Linguistic Synthesis of Fuzzy Controller. *International Journal Man-Machine Studies*, 8, 669—678.
18. Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller. *International Journal Man-Machine Studies*, 7(1), 1—13.
19. Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 15, 116—132.
20. Fukushima, K. (1975). Cognitron: A self-organizing multilayered neural network. *Biol. Cybernetics*, 20, 121—136.
21. Fukushima, K. (1980). Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. *Biological Cybernetics*, 36 (4), 93—202.
22. Grossberg, S. (1976). Adaptive pattern classification and universal recoding, part I. Parallel development and coding of neural feature detectors. *Biol. Cybernet.*, 23, 121—134.
23. Willshaw, D.J., & Von der Malsburg, C. (1976). How patterned neural connections can be set up by self-organization. *Proc. R. Soc. London B.*, 194, 431—445.
24. Grossberg, S. (1980). How does the Brain Build a Cognitive Code? *Psychological Review*, 87, 1—51.

25. Kohonen, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 43, 59—69.
26. Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 79, 2554—2558.
27. Coppin, B. (2004). *Artificial Intelligence Illuminated*. Jones & Bartlett Learning.
28. Khokins, J., & Bleksli, S. (2007). *Ob intielliectie: Pier. s angl.* Moskva: OOO “I.D. Viliams” [In Russian].
29. Rummelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning Internal Representation by Back-Propagation Errors. *Nature*, 23, 533—536.
30. Ackley, D. H., Hinton, G. E., & Sejnowski, T. J. (1985). A Learning Algorithm for Boltzmann Machines. *Cognitive Science*, 9 (1), 147—169.
31. Broomhead, D. S., & Lowe, D. (1988). Multivariable functional interpolation and adaptive networks. *Complex Systems*, 2, 321—355.
32. Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support vector networks. *Machine Learning*, 20, 273-297.
33. Maass, W. (1997). Networks of spiking neurons: the third generation of neural network models. *Neural Networks*, 10 (9), 1659—1671.
34. Izhikevich, E. M. (2004). Which Model to Use for Cortical Spiking Neurons? *IEEE transactions on neural networks*, 15 (5).
35. Furber, S., & Temple, S. (2007). Neural systems engineering. *J. R. Soc. Interface*, 4, 193—206.
36. Strukov, D. B., Snider, G. S., Stewart, D. R., & Williams, R. S. (2008). The missing memristor found. *Nature*, 453, 80—83.
37. Beckett, J. (2008). Demystifying the memristor: Proof of fourth basic circuit element could transform computing. *HPL.HP.COM*. Retrieved May 10, 2014, from <http://www.hpl.hp.com/news/2008/apr-jun/memristor.html>.
38. SyNAPSE: IBM Cognitive Computing Project. *Watson.ibm.com*. Retrieved May 9, 2014, from <http://researchweb.watson.ibm.com/cognitive-computing>.
39. HRL Laboratories, LLC. Center for Neural and Emergent Systems. *Hrl.com*. Retrieved April 19, 2014, from http://www.hrl.com/laboratories/cnes/cnes_main.html.
40. Modha, D. S. (2011). Cognitive Computing: Neuroscience, Supercomputing, Nanotechnology. *DAC 2011*. Lecture conducted from IBM Research, Almaden, San Jose, CA. Retrieved May 3, 2014, from <http://www2.dac.com/events/videoarchive.aspx?confid=122&filter=keynote&id=122-120--00&#video>.
41. IBM Research: Neurosynaptic chips. *Watson.ibm.com*. Retrieved May 11, 2014, from <http://researchweb.watson.ibm.com/cognitive-computing/neurosynaptic-chips.shtml>.
42. Le, Q. V., Ranzato, M., Monga, R., Devin, M., Chen, K., Corrado, G. S. et al. (2012). Building high-level features using large scale unsu-

- pervised learning. *International Conference in Machine Learning*. Retrieved May 7, 2014, from http://static.googleusercontent.com/external_content/untrusted_dlcp/research.google.com/en//archive/unsupervised_icml2012.pdf.
43. Alibart, F., Pleutin, S., Guérin, D., Novembre, C., Lenfant, S., Lmimouni, K. et al. (2010). An Organic Nanoparticle Transistor Behaving as a Biological Spiking Synapse. *Adv. Funct. Mater.*, 20, 330—337.
44. Indiveri, G., Linares-Barranco, B., Hamilton, T. J., Van Schaik, A., Etienne-Cummings, R., Delbruck, T., et al. (2011). Neuromorphic silicon neuron circuits. *Front. Neurosci.*, 5(73).
45. Carlson, K. D., Beyeler, M., Dutt, N., & Krichmar, J. L. (2014). GPGPU Accelerated Simulation and Parameter Tuning for Neuromorphic Applications. *Design Automation Conference (ASP-DAC), 19th. Asia and South Pacific*. IEEE, 570—577.
46. Kandel, E. R. (2005). The Molecular Biology of Memory Storage: A Dialog Between Genes and Synapses. *Bioscience Reports*, 24 (4), 475—522.
47. Rasch, B., & Born, J. (2013). About Sleep's Role in Memory. *Physiological Reviews*, 93 (2), 681—766.
48. Donlea, J. M., Thimgan, M. S., Suzuki, Y., Gottschalk, L., & Shaw, P. J. (2011). Inducing Sleep by Remote Control Facilitates Memory Consolidation in *Drosophila*. *Science*, 332 (6037), 1571—1576.
49. Potkin, K. T., & Bunney, W. E., Jr. (2012). Sleep improves memory: the effect of sleep on long term memory in early adolescence. *PLoS One*, 7 (8), Special section p1.
50. Wise, A., Jupe, S. C., & Rees, S. (2004). The identification of ligands at orphan g-protein coupled receptors. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 44, 43—66.
51. Truong, S. N., & Min, K. S. (2014). New Memristor-Based Crossbar Array Architecture with 50-% Area Reduction and 48-% Power Saving for Matrix-Vector Multiplication of Analog Neuromorphic Computing. *Journal of semiconductor technology and science*, 14 (3), 356—363.
52. Yakopcic, C., & Taha, T. M. et al. (2011). Analysts of a memristor based 1T1M crossbar architecture. *The 2011 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), IEEE*, 3243—3247.
53. Lewis, E. R. (1968). Using electronic circuits to model simple neuroelectric interactions. *Proc. IEEE*, 56 (6), 931-949. (Special issue on studies of neural elements and systems).
54. Kim, H., Sah, M. P., Yang, C., Roska, T., Chua, L. O. (2012). Memristor bridge synapses. *Special issue on Memristors: Devices, Models and Application*, 100 (6), 2061—2070.
55. Sah, M. P., Yang, C., Kim, H., & Chua, L. O. (2012). A voltage mode memristor bridge synaptic circuit with memristor emulators. *Sensors*, 12 (3), 3587—3604.

Стаття надійшла до редакції 15.05.2014

ІНФОРМАЦІЯ

Шановні колеги!

Державний вищий навчальний заклад «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» запрошує Вас до публікацій у науково-аналітичному журналі «Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці». Журнал виходить раз на рік.

Умови подання статті до журналу

Для публікації статті до редакції журналу необхідно подати:

1. Електронний варіант статті, оформлений відповідно до наведених нижче вимог.

Статті повинні містити вагомі наукові результати, які можуть носити як теоретичний (здійснювати внесок у розвиток теорії та методології нейронних мереж чи нечіткої логіки), так і практичний характер (містити розв'язок конкретної прикладної задачі з побудовою економіко-математичних моделей, їх програмною реалізацією та експериментальним дослідженням їх ефективності). Результати будуть оцінюватися за рівнем їх науково-технічного потенціалу.

2. Заявку мовою статті та англійською, оформлену за такою формою: **«Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці»**

Назва статті _____

П.І.Б. автора _____

Науковий ступінь, вчене звання _____

Місце роботи _____

Посада _____

Контактний телефон _____

E-mail _____

Поштова адреса _____

Прим. Уся ця інформація подається на кожного автора (крім назви статті, яка дається один раз на весь авторський колектив).

Статті в електронному вигляді українською, російською або англійською мовою разом із заявкою надсилаються на адресу editor@nfte.com.

Файли називати прізвищем першого автора латинськими літерами (наприклад, Savina.doc, Savina_zayav.doc).

**Вимоги до наукових статей,
що подаються до науково-аналітичного журналу
«Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці»**

Вимоги до структури статті

1. Індекс УДК до статті.

На першій сторінці у правому верхньому кутку, прописними літерами, шрифт — жирний.

2. Назва статті.

Через рядок по центру, прописними літерами, шрифт — жирний. Подається назва статті українською, російською та англійською мовами (переклад).

3. Автор статті.

Через рядок по центру вказується ініціали та прізвище автора прописними літерами, шрифт — жирний. Інформація подається українською, російською та англійською мовами (транслітерація). Транслітерувати власні назви, прізвища та імена необхідно згідно [постанови Кабінету Міністрів України від 27.01.2010 № 55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею»](#).

4. Відомості про авторів.

З наступного рядка по центру вказати без скорочень науковий ступінь, вчене звання автора. З нового рядка — посаду і місце роботи автора (повністю без скорочень і аббревіатур). З нового рядка — повну робочу адресу з поштовим індексом і назвою країни. Всі відомості вказати *українською, російською та англійською мовами* (використовувати повний офіційний переклад назви організації). З нового рядка — адресу електронної пошти.

Якщо у статті кілька авторів, то по кожному автору наводиться повна інформація згідно пп. 3, 4 з пропущеним рядком між авторами. Більше чотирьох авторів не допускається.

5. Анотація.

Через рядок. Анотація має бути структурованою, лаконічною, інформативною та містити такі аспекти: предмет, мету, метод чи методологію дослідження, результати дослідження, сферу застосування результатів, ступінь наукової новизни, висновки. Обсяг анотації — від 100 до 250 слів. Анотація має бути *українською, російською та англійською мовами*.

6. Ключові слова.

Не менше п'яти та не більше десяти слів або словосполучень, курсивом, *українською, російською та англійською мовами*.

7. Код JEL класифікації до статті.

У наступному рядку після ключових слів, кількість може бути від 1 до 5 кодів, в одному рядку, через кому, жирним. Наприклад:

JEL Classification: C12, H12.

8. Текст статті.

Через рядок. У структурі статті необхідно виділити:

— вступ (у якому необхідно висвітлити: постановку проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень та публікацій з обов'язковим посиланням на використані джерела; невирішені раніше частини загальної проблеми, котрим присвячується стаття);

— формулювання мети і завдань дослідження;

— виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;

— висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямку;

— два переліки використаних літературних джерел.

Перший перелік використаних літературних джерел подається під заголовком «**Список літератури**» мовою оригіналу і має містити не менше 8 джерел. Бібліографічний опис літературних джерел оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання». (Приклади оформлення бібліографічного опису наведено в «**Бюлетені ВАК України**». — 2009. — № 5. — С. 26—30.).

Другий перелік використаних літературних джерел подається під заголовком «**References**», що містить ті самі літературні джерела, але у латинському алфавіті, оформлені за міжнародним бібліографічним стандартом АРА-2010. Якщо наукова праця написана мовою, що використовує кирилицю, то її бібліографічний опис необхідно транслітерувати латинськими літерами. Транслітерувати власні назви, прізвища та імена слід згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 27.01.2010 № 55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею». Назви періодичних україно- та російськомовних видань (журналів, збірників та ін.) подаються транслітерацією, а в дужках — англійською мовою. Наприклад: *Finansy Ukrainy (Finance of Ukraine)*. У кінці кожної позиції необхідно зазначити мову оригіналу: [in Ukrainian], [in Russian] тощо.

У кінці статті має бути примітка, що стаття подана для публікації лише до журналу «Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці».

Технічні вимоги до оформлення статті

1. Вимоги до оформлення тексту:

- використовувати текстовий редактор MS Word 2003 чи вище;
- текстові файли подаються у форматі MS Word з розширенням «doc»;
- формат паперу — А4;
- гарнітура — Times New Roman Cyr;
- кегль — 14;
- міжрядковий інтервал — 1,5;
- нумерація сторінок — з правого нижнього краю сторінки;
- усі поля сторінки по 2 см; від краю аркуша до колонтитула — 1,25 см;
- абзац — 1,25 см;
- не здійснювати перенос частин слів;
- встановити заборону висячих рядків в абзаці;
- обсяг статті 0,5 — 2 друк. арк. (12 — 48 стор.);
- назви розділів у тексті статті — по центру жирним шрифтом, назви підрозділів — по центру курсивом;
- нумерація сторінок, пунктів, рисунків, таблиць, формул подаються арабськими цифрами без символу №.
- при наборі не застосовувати для форматування тексту додаткові пробіли;
- не встановлювати відступ (абзац) першого рядка табуляцією або пробілами (форматування здійснювати лише через параметри абзацу);
- лапки необхідно набирати однакові по всій статті;
- не використовувати дефіс замість тире.

2. Вимоги до оформлення ілюстрацій:

- якість ілюстрації повинна забезпечити її чітке відтворення;
- рисунки та графіки у статтю вставляють або у графічному редакторі MS Word, або в одному з форматів jpeg, bmp чи tif з роздільною здатністю не менше ніж 300 dpi (подавати якісні оригінали);
- всі об'єкти в рисунках, зроблених у MS Word, мають бути обов'язково згруповані. Текст статті не повинен містити рисунків і/або тексту в рамках рисунків, розташованих поверх/за текстом тощо;
- рисунки підписують і нумерують (якщо їх більше ніж один);
- підпис має бути під ілюстрацією і позначається скороченим словом «Рис.»;
- схеми слід розміщувати після першого посилання на них по тексту;
- ілюстрації не повинні виходити на поля;
- оскільки друк чорно-білий, не застосовувати фон і колір у графіках, діаграмах тощо.

3. Вимоги до оформлення таблиць:

- перед кожною таблицею необхідно подати слово «Таблиця» з її порядковим номером у статті з вирівнюванням по правому боку;
- у наступному рядку наводиться назва таблиці курсивом з вирівнюванням посередині поля, за якою розміщується сама таблиця;
- текст таблиці може бути дещо меншим від основного тексту.

4. Вимоги до оформлення формул:

- формули набираються допоміжною програмою MS Equation 3.0 (редактор формул в MS Word);
- формули вирівнюють по центру;
- формули нумерують в круглих дужках праворуч сторінки наскрізною нумерацією.

5. Посилання на використані джерела:

- при посиланні в тексті на літературне джерело слід навести порядковий номер у квадратних дужках, який відповідна праця має у списку літератури;

— список літератури наводять у кінці статті у порядку згадуваних джерел;

- на всі наведені в списку літератури джерела мають бути посилання у тексті статті;

— усі цитування у тексті або згадування про отримані іншими авторами результати мають супроводжуватись відповідним посиланням.

6. Примітки:

- примітки до тексту розміщуються внизу сторінки з текстом, що потребує пояснень;

— примітки до тексту робляться автоматично і нумеруються послідовно арабськими цифрами;

— примітки до таблиць і рисунків, в яких наводяться довідкові і пояснювальні дані, можуть нумеруватись послідовно в межах однієї сторінки;

— якщо приміток до таблиць чи рисунків на одному аркуші кілька, то після слова «Примітки» ставлять двокрапку, наприклад:

Примітки:

1. ...

2. ...

Якщо є одна примітка, то її не нумерують і після слова «Примітка» ставлять крапку.

Додатково:

- усі статті проходять обов'язкове рецензування;
- у тексті статті можуть бути внесені редакційні виправлення під час опрацювання редактором та вичитки коректором;

— автори статті несуть відповідальність за правильність і точність наведених у статті термінів, даних, фактів, цитат, статистичних матеріалів тощо, а також за наведення в статті даних, що не є предметом відкритої публікації;

- в одному номері може бути опублікована тільки одна стаття автора.

ЗМІСТ

М. В. Бальзан	
Оцінювання ефективності управління якістю організації виробничого процесу на машинобудівному підприємстві	3
Г. І. Великоіваненко, Л. О.Трокоз	
Нейро-нечітка модель оцінювання прострочених позик комерційного банку	23
О. П. Заруцька	
Структурно-функціональний аналіз фінансової стійкості банківської системи з використанням карт Кохонена	67
Н. К. Максишко, В. О. Шаповалова	
Нечітка модель ідентифікації фаз на ринку нерухомості	94
О. М. Новоселецький, О. В. Якубець	
Моделювання кредитоспроможності юридичних осіб на основі дискримінантного аналізу та нейронних мереж	120
В. В. Огліх, Г. О. Бесчастна	
Рейтингова оцінка страхових компаній України на засадах нейро-нечіткого моделювання	151
И. И. Скар	
Концепция построения биологически правдоподобной искусственной нейронной сети	188

CONTENTS

Marina Balzan	
Evaluation of Efficiency in Controlling Over the Quality of Manufacturing Process Organization on Machine Engineering Enterprise	3
Halyna Velykoivanenko, Liubov Trokoz	
Neuro-Fuzzy Evaluation Model of Overdue Loans of Commercial Banks . . .	23
Olena Zarutska	
The Structure-Functional Analysis of the Financial Stability of the Banking System with the Use of Kohonen Maps	67
Nataliia Maksyshko, Victoriia Shapovalova	
The Fuzzy Model of the Phase Identification on the Real Estate Market	94
Olexandr Novoseletskyy, Olga Yakubets	
Legal Entities Creditworthiness Modeling Using Discriminant Analysis and Neural Networks	120
Valentyna Ogligh, Halyna Beschastna	
Rating Assessment of Ukrainian Insurance Companies Based on Neuro-Fuzzy Modeling	151
Illia Sknar	
Concept of Constructing Biologically Plausible Artificial Neural Network . .	188