

## МОДЕЛЮВАННЯ ФІНАНСОВОГО СТАНУ СТРАХОВОЇ КОМПАНІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

О. Л. Ольховська

Канд. екон. наук, старший викладач кафедри  
інтелектуальних систем прийняття рішень  
Донбаська державна машинобудівна академія  
olkhovska.ol@gmail.com

---

Запропоновано систему показників діяльності страхових компаній, яка базується на принципах прозорості, повноти, доступності, наявності статистичної бази та дозволяє діагностувати страховиків, що працюють стабільно, і чий фінансовий стан наближується до критичного. Обґрунтовано необхідність подальшого удосконалення методологічних та інструментальних основ моделювання фінансового стану страхових компаній, що зводиться до розробки системи реагування, яка найбільшою мірою відповідає вимогам конкретної ситуації, чим і аргументований вибір інструментарію нечіткої логіки як математичного підґрунтя для побудови відповідних моделей. Побудовано економіко-математичну модель діагностування банкрутства, яка дає можливість класифікувати страхові компанії на стабільно функціонуючі та страховики-банкрути з урахуванням експертних знань у страховій справі, водночас володіючи здатністю до налаштування власних параметрів на реальних даних. Запропоновано алгоритм налаштування моделі на базі методу зворотного поширення помилки, адаптованого для моделей на нечіткій логіці. У результаті проведення настройки на існуючому статистичному матеріалі вдається оптимізувати параметри моделі, які дозволяють функціонально пов'язати вхідні змінні (показники діяльності страхової компанії) із значенням результуючої змінної (одним із класів: фінансово стабільних страховиків чи потенційних банкрутів).

**Ключові слова.** *Страхова компанія, фінансовий стан, моделювання, нечітка логіка, діагностика банкрутства, функція належності, фазифікація, нечітка база знань.*

Предложена система показателей деятельности страховых компаний, которая базируется на принципах прозрачности, полноты, доступности, наличия статистической базы, и позволяет диагностировать страховщиков, которые работают стабильно, и чье финансовое состояние приближается к критическому. Обоснована необходимость последующего усовершенствования методологических и инструментальных основ моделирования финансового состояния страховых компаний, которое сводится к разработке

системы реагирования, которая в наибольшей степени отвечала бы требованиям конкретной ситуации, чем и аргументирован выбор инструментария нечеткой логики как математической основы для построения соответствующих моделей. Построено экономико-математическую модель диагностики банкротства, которая дает возможность классифицировать страховые компании на стабильно функционирующих и страховщиков-банкротов с учетом экспертных знаний по страховому делу, при этом обладая способностью к настройке собственных параметров на реальных данных. Предложен алгоритм настройки модели на базе метода обратного распространения ошибки, адаптированного для моделей на нечеткой логике. В результате проведения настройки на существующем статистическом материале удается оптимизировать параметры модели, которые позволяют функционально связать входные переменные (показатели деятельности страховой компании) со значением результирующей переменной (одним из классов: финансово стабильных страховщиков или потенциальных банкротов).

**Ключевые слова.** *Страховая компания, финансовое состояние, моделирование, нечеткая логика, диагностика банкротства, функция принадлежности, фаззификация, нечеткая база знаний.*

It's proposed in the article the system of indices of activity of insurance companies, which is based on the principles of transparency, comprehensiveness, accessibility, availability of statistical databases, and allows to diagnose insurers, which are stable, and whose financial condition is close to critical. It's grounded the necessity of further improvement of methodological and instrumental bases of modeling the financial condition of insurance companies, which consist in developing of response system that best meets the requirements of a particular situation. It is the reason of choice of fuzzy logic tools as mathematical basis for the construction of appropriate models. Built economic and mathematical model of bankruptcy diagnosis allows to classify the insurance companies into stable and potential bankrupts taking into account expert knowledge on insurance business, and provides the possibility to optimize their own parameters on real data. It's proposed the algorithm for tuning the models, based on error-back-propagation method adapted for fuzzy logic models. As a result of tuning on statistical data it's possible to optimize the parameters of the model, which allow functionally link the input variables (indicators of the insurance company) with the value of the result variable (the classes of financially stable insurers or potential bankrupts).

**Keywords.** *Insurance company, financial state, modeling, fuzzy logic, diagnosis of bankruptcy, membership function, fuzzification, fuzzy knowledge base.*

## Постановка проблеми

Ведення страхової справи має свої характерні особливості, що знаходить відображення у специфічному механізмі формування, розподілу та перерозподілу фінансових ресурсів страховика. Діяльність страхових компаній завжди була і залишається ризиковою, тому особливої актуальності набувають дослідження у напрямку проведення комплексного фінансового аналізу та оцінювання фінансової надійності страховиків. Завчасне діагностування можливості банкрутства необхідне задля завчасного запобігання кризовим ситуаціям. Розпізнавання тенденції погіршення фінансового стану можливе за аналогією з іншими страховими компаніями.

Конструктивна роль таких досліджень полягає в їх спрямованості на розробку механізму ефективного управління страховими компаніями в умовах нестабільності та ризику, пошуку можливих шляхів досягнення динамічного стану забезпечення фінансової стійкості та виходу на траєкторію стабільного зростання. Це обґрунтовує актуальність розробки математичного інструментарію моделювання діяльності страхових компаній з метою управління їх фінансовою стійкістю та конкурентоспроможністю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методологічною основою дослідження є концепції, методи і моделі вітчизняних та зарубіжних економістів, страхових аналітиків, наукові статті, матеріали наукових семінарів і конференцій, пов'язані з проблемами аналізу фінансового стану та оцінювання ризику банкрутства компанії [1—11].

Однак проблема фінансового аналізу діяльності страхових компаній у сучасних умовах економічного розвитку України у вітчизняній економічній літературі наразі висвітлена недостатньо. Умови існування вітчизняного страхового бізнесу в посткризовому просторі висувають особливі вимоги до забезпечення фінансової стійкості і надійності страхових компаній. Тому пріоритетним стає не тільки облік грошових потоків компанії, але й комплексне дослідження її фінансово-економічного стану і фінансової стійкості, враховуючи експертні знання у цій предметній області. Аналіз діяльності страхової компанії вимагає розгляду широкого спектра кількісних і якісних факторів, що впливають на рівень її фінансового стану.

З огляду на зазначене, для здійснення обґрунтованого аналізу фінансової діяльності страховика у сучасних умовах доцільним є

застосування такого інструментарію економіко-математичного моделювання, що дозволить врахувати кількісні та якісні фактори, фахові знання у страховій справі, а також забезпечить можливість налаштування параметрів моделей на реальних даних. Таким вимогам задовольняє інструментарій нечіткої логіки (fuzzy logic), що є на сьогодні одним з найбільш перспективних напрямів наукових досліджень в області аналізу, прогнозування і моделювання економічних явищ і процесів.

**Мета статті** — розробка нечіткої моделі, яка на основі фінансових показників діяльності страхової компанії дозволить здійснити оцінку ризику банкрутства та розподілити страхові компанії за класами: потенційні банкрути та стабільно-функціонуючі.

**Матеріали і результати досліджень.** Пройдений українським і світовим страховим ринком кризовий період 2009 року поставив перед професійним співтовариством і державними органами, що регулюють страхову галузь, чималу кількість питань, серед яких одним з найбільш гострих постала проблема забезпечення фінансової стійкості і платоспроможності страховиків. Проведені дослідження основних аспектів фінансової діяльності страхової компанії показали, що головною умовою ефективного функціонування страхового ринку є надійність та ефективна діяльність його учасників, їх фінансова стійкість, яка в умовах жорстокої конкуренції є неодмінною умовою зміцнення довіри населення та суб'єктів господарювання до даного цивілізованого механізму відшкодування випадкового збитку. Так, оцінювання поточного та перспективного фінансового стану компанії, у тому числі ризик її неплатоспроможності або банкрутства, відбувається за умови накопичення, трансформації та використання інформації фінансового характеру. Відповідно, оцінювання ризику банкрутства страхової компанії повинно здійснюватись за рахунок ґрунтовного аналізу основних аспектів її фінансово-страхової діяльності, а саме: платоспроможності та ліквідності, фінансової стійкості, рентабельності (дохідності), страхової діяльності та ділової активності. Джерелом інформації про фінансовий стан страхової компанії є фінансова звітність, що надається в установленому порядку засновникам і контрольним органам.

З метою врахування специфіки діяльності українського страховика для здійснення змістовного аналізу його діяльності було використано апарат нечіткої логіки, що надає можливість буду-

вати моделі, які здатні працювати навіть без налаштування на реальних даних — лише базуючись на закладених в них наборах логічних правил та встановлених параметрах функцій належності. Ці моделі є відкритими і зрозумілими, оскільки представлені у виразах природної мови. Разом з тим, вони володіють всім набором переваг, властивих нейронним мережам, та на відміну від інших методів здатні поєднувати можливість налаштування своїх параметрів на реальних даних із урахуванням при проведенні аналізу як кількісних, так і якісних показників діяльності страхових компаній. А використання правил прийняття рішень в моделях на нечіткій логіці дає можливість враховувати при проведенні аналізу експертні знання у предметній області.

Процес нечіткого моделювання проводився за такою схемою:

- дослідження процесів фінансово-страхової діяльності українських страхових компаній;
- відбір вхідних факторів та побудова моделі на нечіткій логіці;
- налаштування параметрів нечіткої моделі;
- проведення модельних експериментів та уточнення параметрів моделі;
- формулювання висновків та рекомендацій.

Вся різноманітність стосунків, в які страхова компанія вступає з суб'єктами зовнішнього середовища, базується на фінансовій інформації про цю страхову компанію, що дозволяє оцінити можливість практичної реалізації своїх економічних інтересів у взаєминах з нею. Фінансова інформація є набором даних про стан: власного капіталу, зобов'язань і фінансових джерел компанії, рівня доходів та витрат (і пов'язаних з ними ризиків), обсягу і якості потоків грошових коштів.

На основі проведеного ґрунтовного аналізу наукових літературних джерел, нормативно-правової бази та виконаного дослідження статистичної інформації за реальними значеннями показників діяльності стабільно функціонуючих компаній та страховиків, що стали банкрутами через деякий час після оприлюднення аналізованої звітності, для моделювання фінансового стану страхових компаній сформовано таку множину пояснюючих змінних [12—14]:

- показник дебіторської заборгованості ( $x_1$ );
- показник ліквідності активів ( $x_2$ );

— показник доходності інвестицій ( $x_3$ );  
 — показник фінансової автономії ( $x_4$ );  
 — показник відношення чистих страхових резервів до капіталу ( $x_5$ ).

Кількісні значення вхідних змінних  $x_i$ ,  $i = \overline{1, 5}$ , переводяться у значення лінгвістичних змінних (використовуються три якісні терми:  $H$  — низький рівень показника  $x_i$ ,  $C$  — середній рівень показника  $x_i$ ,  $B$  — високий рівень показника  $x_i$ ) за допомогою функцій належності (процес фазифікації — введення нечіткості).

Метою етапу фазифікації є встановлення відповідності між конкретним значенням окремої вхідної змінної системи нечіткого висловлювання і значенням її функції належності до кожної нечіткої множини, що описується відповідним лінгвістичним термом. Отже, на цьому етапі для всіх вхідних змінних визначаються конкретні значення функцій належності по кожному з лінгвістичних термів, які використовуються в правилах бази знань системи нечіткого виводу.

Для оцінювання значень вихідної лінгвістичної змінної  $Z$  використовуються терми:  $ПБ$  — потенційний банкрут та  $C$  — стабільний стан, для яких будуються власні функції належності.

Для опису всіх лінгвістичних термів як вхідних, так і результуючої змінних використовуються квазідзвоноподібні функції належності, аналітичний вигляд яких задається співвідношенням:

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

де  $\mu^T(y)$  — належність змінної  $y$  (в моделі це або вхідна змінна  $x_i$ ,  $i = \overline{1, 5}$ , або результуюча змінна  $Z$ ) до відповідного їй лінгвістичного терму  $T$ ;

$T$  — лінгвістичний терм із множини  $\{H, C, B\}$  можливих термів вхідних змінних  $x_i$ ,  $i = \overline{1, 5}$ , та з множини  $\{ПБ, C\}$  для результуючої змінної  $Z$ ;

$c_T$  — коефіцієнт концентрації-розтягування квазідзвоноподібної функції належності;

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

Графічне представлення функцій належності нечітких термів всіх вхідних змінних  $x_i, i = 1, 5$ , відображено на рис. 1—5.

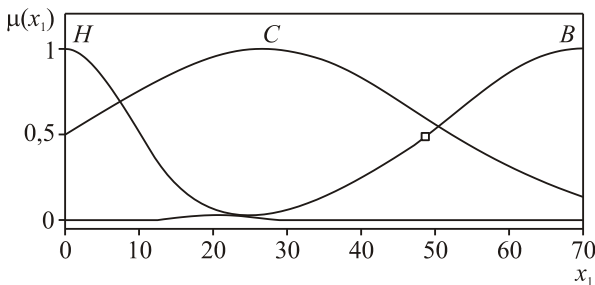


Рис. 1. Квазідзвоноподібні функції належності нечіткої змінної  $x_1$

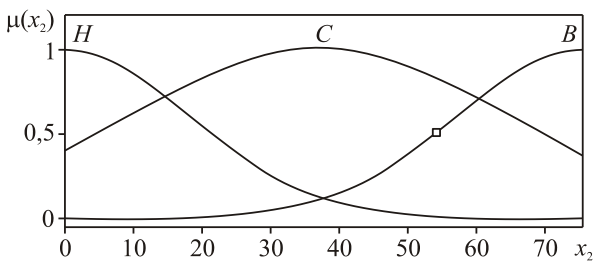


Рис. 2. Квазідзвоноподібні функції належності нечіткої змінної  $x_2$

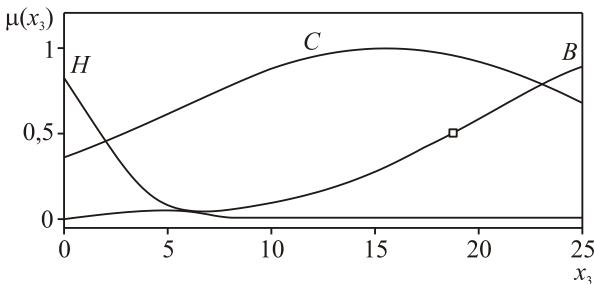


Рис. 3. Квазідзвоноподібні функції належності нечіткої змінної  $x_3$

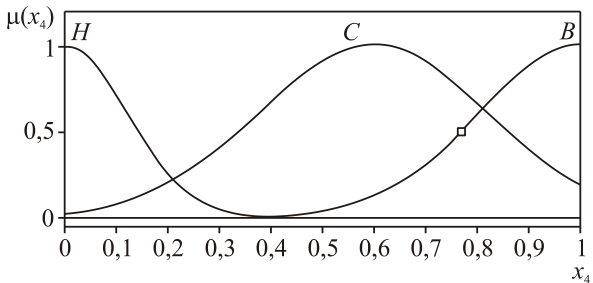


Рис. 4. Квазідзвоноподібні функції належності нечіткої змінної  $x_4$

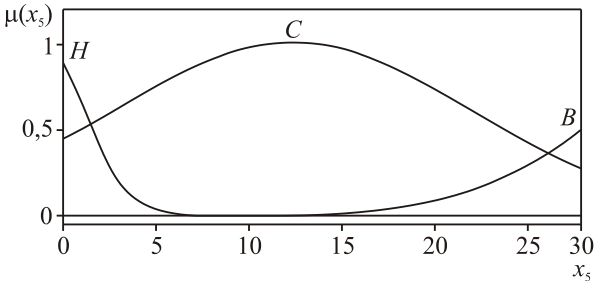


Рис. 5. Квазідзвоноподібні функції належності нечіткої змінної  $x_5$

Квазідзвоноподібні функції належності для нечітких термів  $\{ПБ, С\}$  вихідної змінної  $Z$  представлені у графічному вигляді на рис. 6.

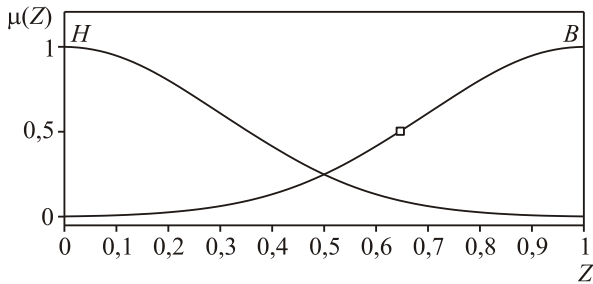


Рис. 6. Квазідзвоноподібні функції належності вихідної змінної  $Z$

Наступним кроком побудови економіко-математичної моделі є формування нечіткої бази знань, яка є сукупністю експертно-



лінгвістичних правил. Ґрунтуючись на цій базі знань модель дозволяє отримати нечіткий логічний висновок стосовно рівня фінансового стану страхової компанії на основі відповідної вхідної інформації. Саме нечіткий логічний висновок займає центральне місце в нечіткій логіці та системах нечіткого управління. Процес нечіткого виводу є деякою процедурою або алгоритмом отримання логічних зв'язків на основі нечітких умов. Цей процес поєднує в собі усі основні концептуальні аспекти теорії нечіткої логіки: функції належності, лінгвістичні змінні, нечіткі логічні операції, методи нечіткої імплікації та нечіткої композиції. Системи нечіткого висновку призначені для реалізації процесу обробки інформації і слугують концептуальним базисом усієї сучасної нечіткої логіки. Механізм або алгоритм висновку є важливою частиною базової архітектури систем нечіткого логічного висновку.

Прийняття рішення щодо визначення рівня фінансового стану страхової компанії на основі значень вхідних змінних здійснюється у відповідності до алгоритму Мамдані [15]:

1. Визначається можливий діапазон змінювання вхідних параметрів  $x_i^*, i = \overline{1, n} (n = 5)$ , у відповідності до їх нормативних значень та шляхом порівняння цих показників з даними збанкрутілих та стабільних страхових компаній. Складається нечітка база знань із застосуванням експертних даних у вигляді сукупності нечітких правил типу «ЯКЩО — ТОДІ», що визначають взаємозв'язок між входами  $x_i^*, i = \overline{1, n} (n = 5)$ , та виходом  $Z$  моделі та виводиться система нечітких логічних рівнянь типу Мамдані для всіх варіантів вихідної змінної  $\{PB, C\}$ .

2. Задається вигляд функцій належності нечітких термів для всіх контрольованих параметрів  $x_i^*, i = \overline{1, n} (n = 5)$  та результуючої змінної  $Z$ .

3. Використовуючи логічні рівняння обчислюються значення функцій належності  $\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  вектора  $X^*$  для всіх значень  $d_j, j = \overline{1, m}$ , вихідної змінної  $Z$ . При цьому логічні операції  $\vee$  (АБО) й  $\wedge$  (ТА) над функціями належності обчислюються шляхом реалізації операцій максимізації та добутку:

$$\mu(a) \vee \mu(b) = \max[\mu(a), \mu(b)], \quad (2)$$

$$\mu(a) \wedge \mu(b) = \mu(a) \times \mu(b). \quad (3)$$

Спочатку знаходяться добутки функцій належності в кожному правилі, а потім поміж них обирається найбільше серед усіх правил для кожного значення  $d_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ , яке і ставиться у відповідність вихідній змінній  $Z$ .

4. Вихідна змінна  $Z$  приймає значення того терму  $d_j^*$ , функція належності якого максимальна:

$$Z = \arg \max_{\{d_1, \dots, d_m\}} \left[ \mu^{d_j} (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \right], \quad (4)$$

де  $d_j = \{ПБ, С\}$ .

Даний алгоритм використовує ідею ідентифікації лінгвістичного терму за максимумом функції належності та узагальнює цей підхід на всю матрицю знань. Обчислювальна частина даного алгоритму легко реалізується шляхом простого застосування операцій максимізації та множення, здійснює визначення дискретного значення  $d_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ , вихідної змінної  $Z$  по заданому вектору фіксованих значень вхідних змінних  $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$  і матриці знань, та дозволяє апроксимувати об'єкт  $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  із дискретним виходом.

Набір вирішальних правил для оцінки фінансового стану страхової компанії представлено в табл. 1.

Таблиця 1

**БАЗА ПРАВИЛ ДЛЯ ОЦІНКИ ФІНАНСОВОГО СТАНУ СТРАХОВОЇ КОМПАНІЇ**

| Вхідні змінні |       |       |       | Вага  |                 | Результуюча змінна |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|--------------------|
| $x_1$         | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $\omega$        | $Z$                |
| Н             | Н     | Н     | Н     | Н     | $\omega_1^{ПБ}$ | ПБ                 |
| – В           | С     | Н     | С     | Н     | $\omega_2^{ПБ}$ |                    |
| В             | В     | В     | В     | – Н   | $\omega_1^C$    | С                  |
| – Н           | – Н   | С     | С     | С     | $\omega_2^C$    |                    |

Примітки: «–» - операція заперечення (у нашому випадку терм «– В» - не високий рівень показника, терм «– Н» - не низький рівень показника).

Правила прийняття рішень для визначення фінансового стану страхової компанії «потенційний банкрут» в аналітичній формі набувають вигляд:

$$\mu^{PB}(x_1, \dots, x_5) = \omega_1^{PB} \left[ \mu^H(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^H(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \right] \vee \omega_2^{PB} \left[ \mu^{-B}(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \right] \quad (5)$$

де  $\mu^{d_j}(x_1, \dots, x_5)$  — функція належності вектора вхідних змінних  $x_1, \dots, x_5$  лінгвістичному терму  $d_j, j = \overline{1, m}$ , результуючої змінної;

$$\mu^{-a}(x_i) = 1 - \mu^a(x_i);$$

$d_j$  — значення вихідної змінної  $Z$  з терм-множини  $\{PB, C\}$ ;

$\omega_p^{d_j}$  — ваги правил (числа з інтервалу  $[0, 1]$ , що характеризують ступінь упевненості експерта в істинності конкретного правила),  $j = \overline{1, m}, p = \overline{1, k_j}$ ;

$m$  — кількість лінгвістичних значень результуючої змінної  $Z$ ;

$k_j$  — кількість правил у базі знань, що відповідають однако-  
му лінгвістичному значенню  $d_j, j = \overline{1, m}$ , результуючої змінної  $Z$ .

Аналітична форма запису вирішального правила для визначення стабільного фінансового стану страхової компанії  $C$  має вигляд:

$$\mu^C(x_1, \dots, x_5) = \omega_1^C \left[ \mu^B(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \cdot \mu^B(x_4) \cdot \mu^{-H}(x_5) \right] \vee \omega_2^C \left[ \mu^{-H}(x_1) \cdot \mu^{-H}(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \cdot \mu^C(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \right] \quad (6)$$

Система логічних висловлювань нечіткої бази знань щодо визначення рівня фінансового стану страхової компанії лінгвістично набуває вигляд:

ЯКЩО дебіторська заборгованість низька ТА ліквідність активів низька ТА доходність інвестицій низька ТА фінансова автономія низька ТА відношення чистих страхових резервів до капіталу низьке

АБО дебіторська заборгованість не висока ТА ліквідність активів середня ТА доходність інвестицій низька ТА фінансова автономія середня ТА відношення чистих страхових резервів до капіталу низьке,

ТОДІ фінансовий стан страхової компанії — потенційний банкрут, ІНАКШЕ

ЯКЩО дебіторська заборгованість висока ТА ліквідність активів висока ТА доходність інвестицій висока ТА фінансова автономія висока ТА відношення чистих страхових резервів до капіталу не низьке

АБО дебіторська заборгованість не низька ТА ліквідність активів не низька ТА доходність інвестицій середня ТА фінансова автономія середня ТА відношення чистих страхових резервів до капіталу середнє,

ТОДІ фінансовий стан страхової компанії стабільний.

Для підвищення точності класифікації перед визначенням рівня фінансового стану страховика варто провести налаштування моделі на реальних показниках діяльності страховиків-банкрутів та нормально функціонуючих страхових компаній. Налаштування математичної моделі ідентифікації об'єкта дослідження полягає в підборі таких параметрів функцій належності всіх термів для кожної змінної, що мінімізують відмінність між модельною та реальною поведінкою об'єкту.

Для настройки нечіткої моделі оцінки фінансового стану страхової компанії використовується критерій оптимальності (7):

$$\varepsilon_t = \frac{1}{2} (\hat{Z}_t - Z_t)^2, \quad (7)$$

де  $\hat{Z}_t$  та  $Z_t$  — розраховане моделлю та реальне значення вихідної змінної на  $t$ -му кроці навчання.

Оптимізація нечіткої моделі оцінки фінансового стану страхової компанії відбувається із застосуванням градієнтного підходу. Знаходження оптимуму моделі здійснюється за методом пошуку максимального зменшення похибки (7) за всіма параметрами даної моделі. Сутність навчання полягає в підборі таких ваг правил  $\omega$  та параметрів  $b$  і  $c$  функцій належності кожного терму всіх вхідних змінних та вихідної змінної, які мінімізують розходження між результатами нечіткої апроксимації та реальним поведінням об'єкту дослідження — страхової компанії. Для навчання моделі використовується система співвідношень [16], що мінімізують критерій (7):

$$\omega_{jp}(t+1) = \omega_{jp}(t) - \eta \frac{\partial \varepsilon_t}{\partial \omega_{jp}(t)}, \quad j = \overline{1, m}, \quad p = \overline{1, k_j}, \quad (8)$$

$$c_i^{jp}(t+1) = c_i^{jp}(t) - \eta \frac{\partial \varepsilon_t}{\partial c_i^{jp}(t)}, \quad j = \overline{1, m}, \quad i = \overline{1, n}, \quad p = \overline{1, k_j}, \quad (9)$$

$$b_i^{jp}(t+1) = b_i^{jp}(t) - \eta \frac{\partial \varepsilon_t}{\partial b_i^{jp}(t)}, \quad j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}, p = \overline{1, k_j}, \quad (10)$$

де  $\omega_{jp}(t), c_i^{jp}(t), b_i^{jp}(t)$  — ваги правил та параметри всіх функцій належності кожної змінної на  $t$ -му кроці навчання;

$\eta$  — параметр навчання.

Для автоматизованої настройки нечіткої моделі оцінки фінансового стану страхової компанії використовуються наступні співвідношення, що мінімізують критерій оптимальності [16—18]:

$$\omega_{jp}(t+1) = \omega_{jp}(t) - \eta v_{jp}, \quad j = \overline{1, m}, p = \overline{1, k_j}, \quad (11)$$

$$c_i^{jp}(t+1) = c_i^{jp}(t) - \eta \frac{2v_{jp}c_i^{jp}(x_i - b_i^{jp})^2}{\mu^{jp}(x_i) \left( (c_i^{jp})^2 + (x_i - b_i^{jp})^2 \right)^2}, \quad j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}, p = \overline{1, k_j}, \quad (12)$$

$$b_i^{jp}(t+1) = b_i^{jp}(t) - \eta \frac{2v_{jp}(c_i^{jp})^2(x_i - b_i^{jp})^2}{\mu^{jp}(x_i) \left( (c_i^{jp})^2 + (x_i - b_i^{jp})^2 \right)^2}, \quad j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}, p = \overline{1, k_j}, \quad (13)$$

де

$$v_{jp} = \omega_{jp} \frac{\overline{d_j} \sum_{l=1}^m \mu^{d_l}(Z) - \sum_{l=1}^m d_l \mu^{d_l}(Z)}{\left( \sum_{l=1}^m \mu^{d_l}(Z) \right)^2} \sum_{l=1}^m \left[ \mu^{d_l}(Z_t) - \mu^{d_l}(\hat{Z}_t) \right] \prod_{l=1}^n \mu^{jp}(x_l). \quad (14)$$

Після оптимізації параметрів моделі вдається суттєво підвищити якість логічного висновку.

Побудовану економіко-математичну модель, сформовану базу нечітких логічних знань, механізм нечіткого логічного висновку та алгоритм оптимізації параметрів моделі було доведено до програмної реалізації та проведено перевірку адекватності моделі на реальних даних страховиків-потенційних банкрутів та фінансово стабільних страхових компаній. Для аналізу збанкрутілих страхових компаній використовується статистичний матеріал потенційних страховиків-банкрутів за 1,5—2 роки до банкрутства, так як ознаки можливої фінансової неспроможності проявляються задовго до реальних фінансових проблем.

Таким чином, після формування бази знань та налаштування моделі на статистичних даних фінансово стабільних страхових

компаній та страховиків-банкрутів, вдалося оптимізувати її параметри, які дозволяють функціонально пов'язати вхідні змінні (значення факторів впливу) із значенням результуючої змінної (класом фінансової стійкості, до якого відноситься страховик).

На рис. 7 наведено результат процесу моделювання фінансового стану страховика із застосуванням побудованої моделі на нечіткій логіці. Лінією 1 на рисунку показано реальний стан страховика, лінією 2 — результат моделювання до налаштування моделі, лінією 3 — результат моделювання після налаштування моделі. Нульовий рівень інтегрованого показника фінансового стану на рис. 7 відповідає класу страховиків-банкрутів. Значення цього показника на рівні «1» відповідає стабільним страховим компаніям. Лінія розподілу між цими класами проходить на рівні 0,5. Страхові компанії, результат дефазифікації вихідної змінної яких перевищує 0,5, інтерпретується як стабільні. Якщо нижче 0,5 — відносяться до класу потенційних банкрутів.

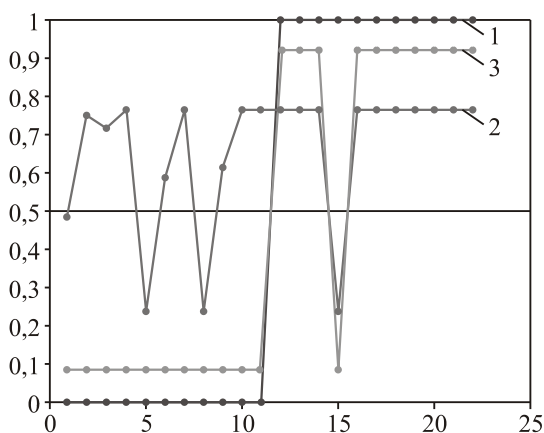


Рис. 7. Результат процесу моделювання фінансового стану страхової компанії

Як видно з рис. 7, модель точно відтворює всі тенденції, що свідчить про вдалий підхід до побудови її структури та формування набору правил. Так, із 22 аналізованих страхових компаній після налаштування моделі неправильно було класифіковано тільки одного страховика. Ідентифікація стабільно-функціонуючих склала 90,9 %, страховиків-банкрутів — 100 %.

Загальний результат класифікації склав 95,5 %, що свідчить про високу адекватність розробленої у роботі моделі, в основу

якої закладено інструментарій нечіткої логіки. Крім того, з рис. 7 видно, що оптимізація параметрів моделі на реальних даних суттєво підвищила точність відтворення вихідного показника та, відповідно, ефективність класифікації. Хоча варто зауважити, що і до налаштування модель на нечіткій логіці демонструвала досить високу точність класифікації страхових компаній — 63,6 % (що зумовлено фактом врахування експертних знань у даній предметній області та інформативністю відібраних показників для оцінювання фінансового стану страховика).

## Висновки

Побудовано економіко-математичну модель діагностування банкрутства, яка дає можливість класифікувати страхові компанії на стабільно функціонуючі та страховики-банкрути з урахуванням експертних знань у страховій справі, водночас забезпечивши можливість налаштування власних параметрів на реальних даних відповідно до змінних умов функціонування ринку. Розроблена нечітка модель оцінювання фінансового стану страхової компанії характеризується властивостями гнучкості, надійності, доступності сприйняття, логічності, універсальності щодо розширення; втілює в собі базу знань про об'єкт ідентифікації, побудовану експертним шляхом, і механізм нечіткого логічного висновку.

## Література

1. Матвійчук А. В. Моделювання економічних процесів із застосуванням методів нечіткої логіки: Монографія / А. В. Матвійчук. — К.: КНЕУ, 2007. — 264 с.
2. Терещенко О. О. Дискримінантна модель інтегральної оцінки фінансового стану підприємства / О. О. Терещенко // Економіка України. — 2003. — № 8. — С. 38—45.
3. Виявлення ознак неплатоспроможності підприємства та можливого його банкрутства / О. І. Черняк, О. В. Крехівський, В. О. Монаков, Д. В. Яцук // Статистика України. — 2003. — № 4. — С. 87—94.
4. Недосекин А. О. Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко-множественных описаний : дис... д-ра экон. наук : 08.00.13 / А. О. Недосекин; СПбГУЭФ. — СПб., 2003. — 280 с.
5. Taffler R. Going, going, gone — four factors which predict / R. Taffler, H. Tishaw // Accountancy. — 1977. — March. — P. 50—54.
6. Altman E. I. Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy / E. I. Altman // The Journal of Finance. — 1968. — № 4. — P. 589—609.

7. Страхування: підручник / за ред. В. Д. Базилевича. — К.: Знання, 2008. — 1019 с.
8. Шірінян Л. Рейтингова система і рейтинг-оцінка фінансової стійкості страхових компаній України / Лада Шірінян // Світ фінансів: науковий журнал. — 2007. — Вип. 2 (11). — С. 152—163.
9. Про затвердження Рекомендацій щодо аналізу діяльності страховиків: Розпорядження Державної комісії з регулювання ринків фінансових послуг України від 17.03.05 № 3755 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://www.dfp.gov.ua/217.html?&tx\\_ttnews\[backPid\]=63&tx\\_ttnews\[pointer\]=152&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=2712&cHash=f5e883b5dc](http://www.dfp.gov.ua/217.html?&tx_ttnews[backPid]=63&tx_ttnews[pointer]=152&tx_ttnews[tt_news]=2712&cHash=f5e883b5dc).
10. Білошицький О. В. Аналіз фінансової стабільності страхової компанії в умовах інформаційної невизначеності / О. В. Білошицький // Моделювання та інформаційні системи в економіці. — К.: КНЕУ, 2009. — Вип. 79. — С. 140—160.
11. Тронин Ю. Н. Основы страхового бизнеса / Ю. Н. Тронин. — М.: Альфа-Пресс, 2006. — 472 с.
12. Ольховська О. Л. Економіко-математична модель діагностики банкрутства страхової компанії на основі нечіткої логіки / О. Л. Ольховська // Моделювання та інформаційні системи в економіці. — К.: КНЕУ, 2010. — Вип. 81. — С. 59—74.
13. Матвійчук А. В. Побудова моделі діагностики банкрутства страхової компанії / А. В. Матвійчук, О. Л. Ольховська. — Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — 2010. — № 8 (150). — С. 165-171.
14. Ольховська О. Л. Моделювання фінансового стану страхової компанії : дис. канд. екон. наук : 08.00.11 / О. Л. Ольховська ; КНЕУ ім. Вадима Гетьмана. — К., 2011. — 198 с.
15. Mamdani E. H. Advances in the Linguistic Synthesis of Fuzzy Controller / E. H. Mamdani // International Journal Man-Machine Studies. — 1976. — Vol. 8. — P. 669—678.
16. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. — Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. — 320 с.
17. Ольховська О. Л. Налаштування нечіткої моделі оцінки фінансового стану страхової компанії [Електронний ресурс] / О. Л. Ольховська // Науковий вісник ДДМА. — 2012. — № 2 (10Е). — С. 266—271.
18. Ольховська О. Л. Алгоритм налаштування нечіткої моделі оцінки фінансового стану страхової компанії / О. Л. Ольховська // Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем: Тези доповідей. — Харків: ХНЕУ. — 2013. — С. 271—273.

Стаття надійшла до редакції 20.06.2012