...ВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
...ЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”
...ВІТИ І НАУКИ,
...РТУ УКРАЇНИ

# ВІСНИК

ЗНУ

2011 - № 2

ФІЗИК...

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Заснований
у 1997 р.
Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 15436-4008 ПР,
22.06.2009 р.

# Вісник

## Запорізького національного університету

**Адреса редакції** :
Україна, 69600,
м. Запоріжжя, МСП-41,
вул. Жуковського, 66

**Телефон для довідок:**
(061) 289-12-26

- **Фізико-математичні науки**

**№ 2, 2011**

**Запоріжжя 2011**

Вісник Запорізького національного університету: Збірник наукових праць. Фізико-математичні науки. - Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2011.- 150 с.

Затверджено як наукове фахове видання України, у якому можуть публікуватися результати дісертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Постанова президії ВАК України №1-05/4 від 14.10.09 р., бюлетень ВАК України №11, 2009 р.)

Затверджено вченою радою ЗНУ (протокол засідання № 4 від 20.12.2011 р.)

# ЗМІСТ

УДК 510.65:336.713

# ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН І НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В ЗАДАЧІ ОЦІНКИ ФІНАНСОВОЇ СТІЙКОСТІ КОМЕРЦІЙНИХ БАНКІВ

Паночишин Ю.М., к.т.н., доцент, Рум'янцева К.Є., к.пед.н., доцент

*Вінницький інститут економіки*
*Тернопільського національного економічного університету*

У статті розглядається задача оцінки фінансової стійкості комерційних банків, для розв'язання якої пропонується скористатися математичним апаратом теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Розроблена в рамках запропонованого підходу математична модель дає можливість адекватно формалізувати експертні знання, має гнучку структуру і високу здатність адаптації до експертних даних, що в підсумку забезпечує високу точність оцінки фінансової стійкості комерційних банків.
*Ключові слова: нечітка множина, нечітка логіка, математична модель, оцінка, фінансова стійкість, комерційний банк.*

Паночишин Ю.Н., Румянцева Е.Е. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОММЕРЧЕСКИХ БАНКОВ / Винницкий институт экономики Тернопольского национального экономического университета, Украина

В статье рассматривается задача оценки финансовой устойчивости коммерческих банков, для решения которой предлагается воспользоваться математическим аппаратом теории нечетких множеств и нечеткой логики. Разработанная в рамках предложенного подхода математическая модель дает возможность адекватно формализовать экспертные знания, имеет гибкую структуру и высокую способность адаптации к экспертным данным, что в итоге обеспечивает высокую точность оценки финансовой устойчивости коммерческих банков.
*Ключевые слова: нечеткое множество, нечеткая логика, математическая модель, оценка, финансовая устойчивость, коммерческий банк.*

Panochyshyn Y.N., Rumiantseva K.Y. THE USING OF MATHEMATICAL APPARATUS OF FUZZY SETS AND FUZZY LOGIC THEORY IN THE TASK OF BUSINESS SOLVENCY ESTIMATION OF COMMERCIAL BANKS / Vinnytsia economic institute of Ternopil national economic university, Ukraine

This article considers the task of business solvency estimation of commercial banks, for solution of which it is proposed to use mathematical apparatus of fuzzy sets and fuzzy logic theory. The mathematical model made within the framework of the proposed way, gives a possibility to formalize expert knowledge identically, has a flexible structure and a high ability of adaptation to expert data, as a result it ensures a high accuracy of estimation of business solvency of commercial banks.
*Key words: fuzzy set, fuzzy logic, mathematical model, estimation, business solvency, commercial bank.*

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Комерційні банки як регулятори грошового обороту і центри акумуляції та перерозподілу грошових ресурсів мають потужні важелі впливу на фінансову, інвестиційну, виробничу та інші сфери економіки, а також на суспільні відносини. Проте для реалізації банками цих функцій суспільство не повинно мати жодних сумнівів у їхній надійності, а партнери, вкладники, інвестори мають бути впевненими у фінансовій стійкості комерційних банків. Особливої актуальності ця проблема набуває сьогодні, коли вітчизняним комерційним банкам доводиться працювати у складних соціально-економічних умовах, в яких опинилася наша країна у зв'язку з кризовими явищами у світовій економіці.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблематиці фінансової стійкості комерційних банків приділяють увагу багато вітчизняних вчених, зокрема Вітлінський В.В., Герасимович А.М., Дзюблюк О.В., Єпіфанов А.О., Заруба О.Д., Кочетков В.М., Мороз А.М., Пантелєєв В.П., Примостка Л.О., Савлук М.І., Халява С.П., Шелудько Н.М. та інші. Оцінкою фінансової стійкості займаються і самі комерційні банки у межах партнерських відносин з іншими банками, а також органи державного регулювання банківської діяльності та рейтингові агентства.

## ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Проведений аналіз наукових досліджень і практичних методик засвідчив, що єдиної, універсальної системи оцінки фінансової стійкості комерційних банків немає (зрештою як немає і єдиного підходу до тлумачення самого поняття фінансової стійкості). Проте більшість вчених і практиків погоджуються з тим, що фінансова стійкість є інтегральним показником, який слід визначати на основі ряду інших, частинних показників, що характеризують різні сторони фінансово-економічної діяльності банків. І тут дослідники стикаються з проблемами, які лежать не стільки в економічній, скільки в математичній площині: показники, які визначають фінансову стійкість, виявляються дуже різноманітними, зв'язки між ними – досить складними, а їхній вплив на інтегральний показник – неочевидним, що значно ускладнює створення адекватної моделі оцінки фінансової стійкості. Для подолання означених труднощів дослідники часто вдаються до певних спрощень: нехтують окремими малозначущими з їхньої точки зору показниками, здійснюють певні перетворення чи заміни для приведення показників до одного типу, штучно спрощують характер міжпоказникових зв'язків тощо. Але подібні прийоми знижують адекватність математичної моделі і можуть призвести до неможливості її використання на практиці.

## ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ

Метою цієї статті є розробка математичної моделі оцінки фінансової стійкості комерційних банків, яка б адекватно формалізувала експертні знання, мала гнучку структуру і високу здатність адаптації до експертних даних.

## ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення поставленої мети пропонуємо використати математичний апарат теорії нечітких множин і нечіткої логіки [2, 3 та ін.], який має такі особливості: може формалізувати залежності практично будь-якої складності, параметри у нечітких моделях можуть бути різнотипними, для опису залежностей між параметрами використовується природна мова, нечіткі моделі мають високу здатність адаптації до експертних даних.

Методика побудови моделі на основі математичного апарату теорії нечітких множин і нечіткої логіки передбачає вирішення таких задач [3]: виділення параметрів, які характеризують досліджувану систему, визначення і формалізація лінгвістичних оцінок параметрів (фазифікація), побудова нечіткої бази знань про взаємозв'язки між параметрами, реалізація нечіткого логічного висновку про вплив вхідних параметрів на вихідний, перетворення нечіткого логічного рішення в чітке значення (дефазифікація).

Згідно з наведеною методикою моделювання спочатку виділимо параметри, які визначають фінансову стійкість комерційних банків. Як ми вже зазначали, на сьогодні існує багато різних методик оцінки фінансової стійкості, автори яких виходячи з власного досвіду пропонують різну кількість і склад параметрів фінансової стійкості. Візьмемо за основу, мабуть, найвідомішу серед вітчизняних науковців і банківських аналітиків методику [1], розроблену російськими вченими під керівництвом Кромонова В.С. За цією методикою рівень фінансової стійкості комерційних банків розраховують за такою формулою:

$$N = 45\% \cdot k1 + 20\% \cdot k2 + 10\% \cdot k3/3 + 15\% \cdot k4 + 5\% \cdot k5 + 5\% \cdot k6/3\,, \qquad (1)$$

де $k1$ – генеральний коефіцієнт надійності, $k2$ – коефіцієнт миттєвої ліквідності, $k3$ – крос-коефіцієнт, $k4$ – генеральний коефіцієнт ліквідності, $k5$ – коефіцієнт захищеності капіталу, $k6$ – коефіцієнт фондової капіталізації прибутку (формули для розрахунку зазначених показників можна знайти, наприклад, в [1]).

Показники у формулі (1) підібрані так, щоб якомога повніше відобразити фінансово-економічну діяльність комерційного банку, а сама формула має адитивний вигляд, тобто чим більше значення має кожен з показників, тим більшим у підсумку виявляється рівень фінансової стійкості. При цьому кожен з показників фінансової стійкості нормується евристичним методом і множиться на емпіричну вагу. Евристичний метод нормування в даному випадку полягає в тому, що значення показників, які характеризують діяльність банку, ділять на відповідні показники „ідеального банку", що має оптимальне співвідношення між надійністю і прибутковістю. Згідно з методикою „ідеальним банком" вважається банк, який має такі значення показників: $k1 = 1$, $k2 = 1$, $k3 = 3$, $k4 = 1$, $k5 = 1$, $k6 = 3$. Емпіричну вагу кожного показника визначено в результаті експертного дослідження його значущості ($k1 - 45\%$, $k2 - 20\%$, $k3 - 10\%$, $k4 - 15\%$, $k5 - 5\%$, $k6 - 5\%$) і підібрано так, щоб значення індексу надійності $N$ коливалося в межах від $0\%$ (абсолютно нестійкий банк) до $100\%$ (ідеально стійкий банк).

Описана методика, незважаючи на її популярність, не позбавлена недоліків, більшість з яких лежить в економічній площині [1]. Ми ж хочемо зосередити увагу на математичних аспектах. Так, зокрема, на нашу думку, зв'язок згаданих шести параметрів з фінансовою стійкістю, виражений у вигляді зваженої нормованої суми, недостатньо адекватно формалізує всю сукупність експертних знань про такий зв'язок. Також недоліком функціональної залежності (1) є те, що вона має „жорстку структуру": при спробі ввести в модель додаткові параметри (чи вилучити окремі з них) доведеться переглянути значення всіх вагових коефіцієнтів або навіть повністю змінити вигляд функціональної залежності. Тим не менше погодимося з вибором параметрів, за якими визначають рівень фінансової стійкості комерційних банків автори описаної методики, і перейдемо до визначення і формалізації лінгвістичних оцінок параметрів.

Лінгвістичною змінною називають змінну, яка приймає значення з множини слів або словосполучень певної мови. Ці значення називають лінгвістичними термами або просто термами, а їх повний перелік – терм-множиною [2]. По суті лінгвістичні змінні нечітких моделей є еквівалентами змінних (параметрів) класичних моделей, а терми – якісними еквівалентами кількісних значень цих параметрів. Назви і кількість термів обирають виходячи із суті конкретної лінгвістичної змінної і вони можуть бути різними для різних лінгвістичних змінних, однак максимальна кількість термів лінгвістичної змінної, як рекомендовано в [3], повинна складати не більше 7±2. Прийнявши це до уваги, з метою уніфікації подальших викладок сформуємо таку єдину для всіх вхідних лінгвістичних змінних нечіткої моделі систему термів: *Н* (*низький*), *С* (*середній*), *В* (*високий*). Для вихідної лінгвістичної змінної нечіткої моделі, з якою будемо асоціювати рівень фінансової стійкості, візьмемо терми *Н* (*низький*), *нС* (*нижче середнього*), *С* (*середній*), *вС* (*вище середнього*), *В* (*високий*), *дВ* (*дуже високий*).

Терми лінгвістичних змінних нечітких моделей формалізують за допомогою нечітких множин. Нечіткою множиною $\widetilde{A}$ на універсальній множині $U$ називають сукупність пар $(u, \mu^{\widetilde{A}}(u))$, де $\mu^{\widetilde{A}}(u)$ – ступінь належності елемента $u$ універсальної множини $U$ нечіткій множині $\widetilde{A}$ [3]. Ступінь належності $\mu^{\widetilde{A}}(u)$ може приймати значення від 0 до 1: чим більше його значення, тим більшою мірою елемент $u$ належить нечіткій множині $\widetilde{A}$. Функцією належності називають функцію, яка дає можливість обчислити ступінь належності довільного елемента універсальної множини нечіткій множині. Якщо універсальна множина складається зі скінченої кількості елементів $U = \{u_1, ..., u_k\}$, нечітку множину записують у вигляді $\widetilde{A} = \sum_{i=1}^{k} \mu^{\widetilde{A}}(u_i)/u_i$, у випадку неперервної множини $U$ нечітку множину записують як $\widetilde{A} = \int_U \mu^{\widetilde{A}}(u)/u$.

Для нашої моделі в якості універсальних множин для термів лінгвістичних змінних приймемо діапазони можливих значень відповідних показників фінансової стійкості (табл. 1), а для формалізації термів вхідних лінгвістичних змінних $x_i$, $i = 1, \ldots, 6$ і вихідної лінгвістичної змінної $y$ будемо використовувати гаусові функції відповідно такого вигляду:

$$\mu^{a_j}(x_i) = \exp\left[-\frac{\left(x_i - g_{a_j}\right)^2}{2h_{a_j}^2}\right], \; \mu^{b_j}(y) = \exp\left[-\frac{\left(y - g_{b_j}\right)^2}{2h_{b_j}^2}\right], \tag{2}$$

де $a_j$ – $j$-ий терм змінної $x_i$, $i = 1, \ldots, 6$, $j = 1, 2, 3$; $g_{a_j}$ – координата максимуму функції $\mu^{a_j}(x_i)$; $h_{a_j}$ – коефіцієнт стискання-розтягу функції $\mu^{a_j}(x_i)$; $b_j$ – $j$-ий терм змінної $y$, $j = 1, \ldots, 6$; $g_{b_j}$ – координата максимуму функції $\mu^{b_j}(y)$; $h_{b_j}$ – коефіцієнт стискання-розтягу функції $\mu^{b_j}(y)$.

Нечіткою базою знань про вплив вхідних змінних $x_i$, $i = 1, ..., n$ на вихідну змінну $y$ називають сукупність логічних висловлювань типу [3]:

$$\begin{array}{l} якщо \left(x_1 = a_1^{j1}\right) \; і \; \left(x_2 = a_2^{j1}\right) \; і \; \ldots \; і \; \left(x_n = a_n^{j1}\right) \\ \quad або \left(x_1 = a_1^{j2}\right) \; і \; \left(x_2 = a_2^{j2}\right) \; і \; \ldots \; і \; \left(x_n = a_n^{j2}\right) \\ \quad або \ldots \\ \quad або \left(x_1 = a_1^{jk_j}\right) \; і \; \left(x_2 = a_2^{jk_j}\right) \; і \; \ldots \; і \; \left(x_n = a_n^{jk_j}\right), \\ то \; y = b_j, \quad j = 1, \ldots, m \end{array} \tag{3}$$

де $a_i^{jp}$ – лінгвістичний терм, яким оцінюється вхідна змінна $x_i$ в рядку $jp$, $p = 1, \ldots, k_j$; $k_j$ – кількість рядків-кон'юнкцій, в яких вихідна змінна $y$ оцінюється лінгвістичним термом $b_j$; $m$ – кількість лінгвістичних термів, які використовуються для оцінки вихідної змінної $y$.

Для зручності нечітку базу знань часто подають у вигляді таблиці (матриці знань [3]) розмірності $(n+1) * N$, де $n+1$ – кількість стовпців, а $N$ – кількість рядків. Перші $n$ стовпців матриці знань відповідають вхідним змінним $x_i$, $i = 1, ..., n$, а останній стовпець $n+1$ – вихідній змінній $y$. Рядки представляють собою комбінації термів вхідних змінних $x_i$, віднесених до одного з можливих варіантів значень $b_j$, $j = 1, ..., m$ вихідної змінної $y$, при цьому перші $k_1$ рядків відповідають значенню $b_1$, наступні $k_2$ рядків – значенню $b_2$, ..., останні $k_m$ рядків – значенню $b_m$ ($k_1 + k_2 \ldots + k_m = N$). Елемент $a_i^{jp}$, що знаходиться на перетині $i$-го стовпця та $jp$-го рядка, $p = 1, \ldots, k_j$, відповідає терму параметра $x_i$ в рядку $jp$, при цьому терм $a_i^{jp}$ вибирається з терм-множини відповідної вхідної змінної $x_i$. Крім того, матрицю знань іноді доповнюють стовпцем, в якому відображають ваги правил $w^{jp}$, що виражають суб'єктивну міру адекватності правила. На етапі формування структури нечіткої моделі ваги правил можуть бути прийняті рівними одиниці.

Таблиця 1 – Лінгвістичні змінні нечіткої моделі оцінки фінансової стійкості комерційних банків

| Лінгвістична змінна | Універсальна множина | Лінгвістичні терми | Параметри функцій належності |
|---|---|---|---|
| $x_1$ | 0...1 | *Н, С, В* | $g_H = 0$, $g_C = 0{,}5$, $g_B = 1$, $h_H = 0{,}17$, $h_C = 0{,}17$, $h_B = 0{,}17$ |
| $x_2$ | 0...1 | *Н, С, В* | $g_H = 0$, $g_C = 0{,}5$, $g_B = 1$, $h_H = 0{,}17$, $h_C = 0{,}17$, $h_B = 0{,}17$ |
| $x_3$ | 0...3 | *Н, С, В* | $g_H = 0$, $g_C = 1{,}5$, $g_B = 3$, $h_H = 0{,}51$, $h_C = 0{,}51$, $h_B = 0{,}51$ |
| $x_4$ | 0...1 | *Н, С, В* | $g_H = 0$, $g_C = 0{,}5$, $g_B = 1$, $h_H = 0{,}17$, $h_C = 0{,}17$, $h_B = 0{,}17$ |
| $x_5$ | 0...1 | *Н, С, В* | $g_H = 0$, $g_C = 0{,}5$, $g_B = 1$, $h_H = 0{,}17$, $h_C = 0{,}17$, $h_B = 0{,}17$ |
| $x_6$ | 0...3 | *Н, С, В* | $g_H = 0$, $g_C = 1{,}5$, $g_B = 3$, $h_H = 0{,}51$, $h_C = 0{,}51$, $h_B = 0{,}51$ |
| $y$ | 0...100 | *Н, нС, С, вС, В, дВ* | $g_H = 0$, $g_{нC} = 20$, $g_C = 40$, $g_{вC} = 60$, $g_B = 80$, $g_{дB} = 100$, $h_H = 8{,}49$, $h_{нC} = 8{,}49$, $h_C = 8{,}49$, $h_{вC} = 8{,}49$, $h_B = 8{,}49$, $h_{дB} = 8{,}49$ |

Для побудови нечіткої бази знань, як правило, залучають експертів у відповідній предметній області. В нашому випадку використаємо для цього модель Кромонова (1), яка за своєю суттю є екстрактом експертних знань про вплив показників діяльності комерційного на його фінансову стійкість.

Правила будемо будувати за таким алгоритмом:

- генеруємо випадкові значення для вхідних параметрів та обчислюємо значення вихідного параметра за формулою (1);

- для отриманих значень вхідних і вихідного параметрів вибираємо ті лінгвістичні терми, для яких значення функції належності максимальне;

- генеруємо правило бази знань, використовуючи логічну операцію "і" та лінгвістичні терми.

- повторюємо попередні кроки необхідну кількість раз.

Як зазначено в [3], загальна кількість правил в базі знань повинна бути меншою числа всіх можливих комбінацій термів вхідних параметрів. В нашому випадку було вирішено обмежитися 30 правилами (табл. 2).

Таблиця 2 – Матриця знань нечіткої моделі оцінки фінансової стійкості комерційних банків

| № | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $y$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Н | Н | Н | Н | Н | С | Н |
| 2 | Н | Н | Н | Н | Н | В | Н |
| 3 | Н | Н | Н | Н | В | С | Н |
| 4 | Н | С | С | Н | Н | Н | нС |
| 5 | Н | Н | В | С | Н | Н | нС |
| 6 | Н | Н | В | С | Н | С | нС |
| 7 | Н | С | Н | С | Н | В | нС |
| 8 | Н | С | С | С | С | Н | нС |
| 9 | Н | В | С | Н | Н | С | нС |
| 10 | С | Н | Н | С | С | Н | С |
| 11 | С | Н | Н | С | Н | В | С |
| 12 | С | Н | Н | С | С | В | С |
| 13 | Н | В | В | С | С | С | С |
| 14 | Н | В | В | С | С | В | С |
| 15 | С | В | Н | Н | В | Н | С |
| 16 | В | Н | Н | Н | В | С | вС |
| 17 | В | Н | Н | С | Н | С | вС |
| 18 | В | Н | Н | С | Н | В | вС |
| 19 | С | В | В | С | Н | С | вС |
| 20 | С | В | В | С | С | С | вС |
| 21 | С | В | С | В | В | Н | вС |
| 22 | С | В | В | В | Н | С | В |
| 23 | В | Н | С | В | В | С | В |
| 24 | В | С | Н | В | Н | В | В |
| 25 | В | С | Н | В | В | С | В |
| 26 | В | Н | В | В | В | В | В |
| 27 | В | В | Н | В | В | Н | В |
| 28 | В | В | С | В | Н | В | дВ |
| 29 | В | В | В | С | В | В | дВ |
| 30 | В | В | В | В | Н | В | дВ |

Система нечітких логічних висловлювань, яка відповідає наведеній матриці знань, виглядає так (подано скорочений вигляд):

$$
\begin{aligned}
&\textit{якщо}\,(x_1 = H)\,i\,(x_2 = H)\,i\,(x_3 = H)\,i\,(x_4 = H)\,i\,(x_5 = H)\,i\,(x_6 = C)\\
&\quad \textit{або}\ldots\\
&\quad \textit{або}\,(x_1 = H)\,i\,(x_2 = H)\,i\,(x_3 = H)\,i\,(x_4 = H)\,i\,(x_5 = B)\,i\,(x_6 = C),\\
&\textit{то}\ y = H;\\
&\textit{якщо}\ldots,\\
&\textit{то}\ldots;\\
&\textit{якщо}\,(x_1 = B)\,i\,(x_2 = B)\,i\,(x_3 = C)\,i\,(x_4 = B)\,i\,(x_5 = H)\,i\,(x_6 = B)\\
&\quad \textit{або}\ldots\\
&\quad \textit{або}\,(x_1 = B)\,i\,(x_2 = B)\,i\,(x_3 = B)\,i\,(x_4 = B)\,i\,(x_5 = H)\,i\,(x_6 = B),\\
&\textit{то}\ y = \partial B
\end{aligned} \tag{4}
$$

Нечіткий логічний висновок про відповідність конкретних значень вхідних параметрів $x_1, \ldots, x_n$ нечіткій множині вихідного параметра $\widetilde{y}$ реалізують шляхом переходу від логічних висловлювань до нечітких логічних рівнянь [3]. Такі рівняння отримують з бази знань шляхом заміни лінгвістичних термів на функції належності, а операцій "і" та "або" – на операції знаходження мінімуму ( $\wedge$ ) та максимуму ( $\vee$ ) відповідно, при цьому вага правила враховується шляхом множення нечіткого виразу, що відповідає рядку нечіткої бази знань, на відповідне значення ваги:

$$\mu^{b_j}(x_1, \ldots, x_n) = \bigvee_{p=1,k_j} w^{jp} \cdot \bigwedge_{i=1,n} \left[\mu^{jp}(x_i)\right]. \tag{5}$$

Для нашої моделі система нечітких логічних рівнянь запишеться так:

$$
\begin{aligned}
\mu^{H}(x_1, \ldots, x_6) = {}& \left[\mu^H(x_1) \wedge \mu^H(x_2) \wedge \mu^H(x_3) \wedge \mu^H(x_4) \wedge \mu^H(x_5) \wedge \mu^C(x_6)\right]\\
&\vee \ldots\\
&\vee \left[\mu^H(x_1) \wedge \mu^H(x_2) \wedge \mu^H(x_3) \wedge \mu^H(x_4) \wedge \mu^B(x_5) \wedge \mu^C(x_6)\right]\\
\ldots&\\
\mu^{\partial B}(x_1, \ldots, x_6) = {}& \left[\mu^B(x_1) \wedge \mu^B(x_2) \wedge \mu^C(x_3) \wedge \mu^B(x_4) \wedge \mu^H(x_5) \wedge \mu^B(x_6)\right]\\
&\vee \ldots\\
&\vee \left[\mu^B(x_1) \wedge \mu^B(x_2) \wedge \mu^B(x_3) \wedge \mu^B(x_4) \wedge \mu^H(x_5) \wedge \mu^B(x_6)\right]
\end{aligned} \tag{6}
$$

Нечітку множину $\widetilde{y}$ визначимо з формули:

$$\widetilde{y} = \bigcup_{j=1,m} \int_{\underline{y}}^{\overline{y}} \frac{\min\left(\mu^{b_j}(x_1, \ldots, x_n), \mu^{b_j}(y)\right)}{y} = \bigcup_{j=1,6} \int_{0}^{100} \frac{\min\left(\mu^{b_j}(x_1, \ldots, x_6), \mu^{b_j}(y)\right)}{y}, \tag{7}$$

де $\bigcup$ – операція об'єднання нечітких множин.

Останній крок побудови нечіткої моделі передбачає операцію дефазифікації, тобто перетворення отриманої нечіткої множини $\widetilde{y}$ в чітке значення $y$. Дефазифікацію будемо проводити за формулою:

$$y = \int_{\underline{y}}^{\overline{y}} y \cdot \mu^{\widetilde{y}}(y)dy \Big/ \int_{\underline{y}}^{\overline{y}} \mu^{\widetilde{y}}(y)dy = \int_{0}^{100} y \cdot \mu^{\widetilde{y}}(y)dy \Big/ \int_{0}^{100} \mu^{\widetilde{y}}(y)dy. \tag{8}$$

Отримана сукупність співвідношень (2), (6), (7), (8) дає можливість оцінювати рівень фінансової стійкості комерційних банків, використовуючи такий алгоритм:

1) на основі даних звітної документації банку обчислюють значення вхідних параметрів $x_1, \ldots, x_6$;

2) за допомогою формули (2) обчислюють ступені належності $\mu^{a_j}(x_i)$ значень вхідних параметрів $x_1, \ldots, x_6$ до термів $a_j$;

3) на основі формули (6) обчислюють ступені належності $\mu^{b_j}(x_i)$ значень вхідних параметрів $x_1, \ldots, x_6$ до термів $b_j$;

4) використовуючи формулу (7), отримують нечітку множину $\widetilde{y}$;

5) за допомогою формули (8) обчислюють значення вихідного параметра $y$.

Визнаємо, що використання наведеного алгоритму для „ручного" аналізу фінансової стійкості комерційних банків є не надто зручним – його краще реалізувати у вигляді програмного розрахункового модуля, використовуючи відомі мови програмування або математичні пакети (наприклад, Matlab (рис. 1)), і застосовувати у складі інформаційних систем підтримки прийняття рішень.

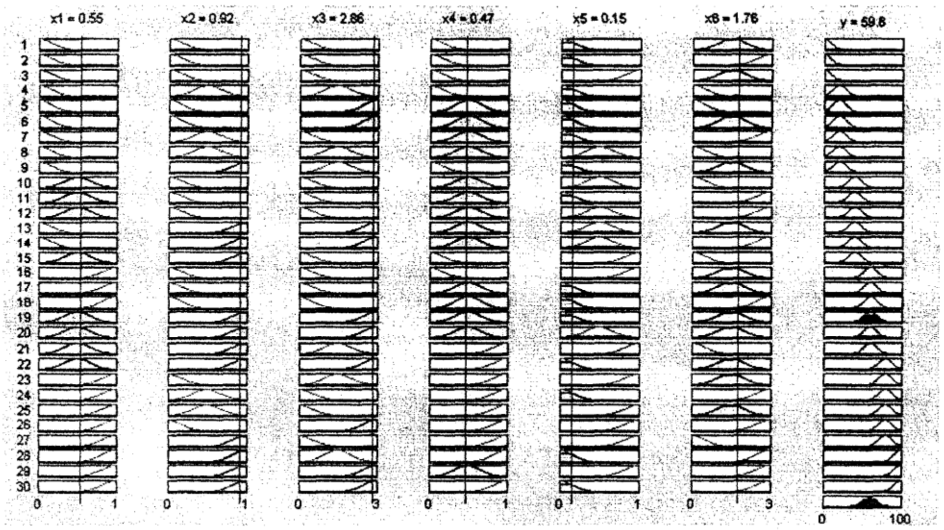


Рис. 1. Формування результату нечіткого логічного висновку про рівень фінансової стійкості комерційного банку в математичному пакеті Matlab.

Адекватність розробленої нечіткої моделі оцінювалася шляхом порівняння результатів нечіткого логічного висновку з результатами, отриманими за формулою Кромонова. Для цього було згенеровано 50 комбінацій випадкових значень параметрів фінансової стійкості. Результати виявилися досить близькими (рис. 2), що свідчить про високий ступінь адекватності розробленої моделі. Тим не менше при необхідності можна досягнути ще вищого ступеня адекватності, оптимізувавши параметри функцій належності лінгвістичних термів і ваги правил нечіткої бази знань. Проте така оптимізація є окремою математичною задачею і стане предметом подальших наукових досліджень.

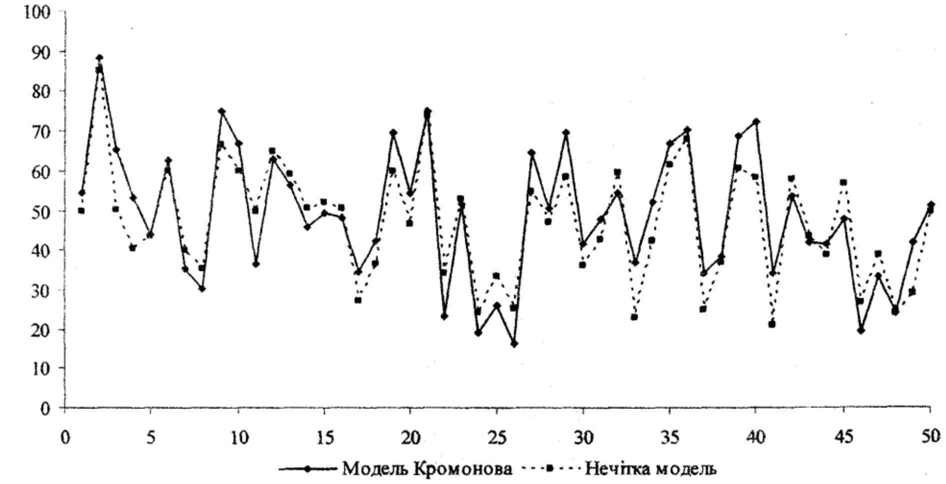


Рис. 2. Результати оцінки фінансової стійкості комерційних банків на основі моделі Кромонова і на основі нечіткої моделі.

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеного наукового дослідження розроблено математичну модель оцінки фінансової стійкості комерційних банків, в основу якої покладено математичний апарат теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Суттєвою перевагою розробленої нечіткої моделі порівняно з відомими моделями є те, що зв'язок між вхідними параметрами і вихідним параметром описується за допомогою понять природної мови, які об'єктивно є значно „ближчими" для експертів-аналітиків, ніж абстрактні математичні поняття. Це забезпечує високий рівень адекватності формалізації експертних знань про вплив показників фінансово-економічної діяльності комерційного банку на його фінансову стійкість. Ще однією перевагою моделі є „гнучкість" її структури, що дає можливість вводити в неї додаткові параметри чи вилучати наявні, розширювати діапазони варіації параметрів, змінювати взаємозв'язки між параметрами без зміни структури самої моделі. Також розроблена модель має високу здатність адаптації до експертних даних завдяки наявності в ній значної кількості параметрів, які можуть бути оптимізовані.

## ЛІТЕРАТУРА


1. Гумен І. Складові банківських рейтингів: науково-практичний аспект // Вісник НБУ. – 2000. – №1. – С. 57-60.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
3. Ротштейн О.П. Інтелектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 1999. – 320 с.


УДК 518.25

# ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ВІДСІЧЕНИХ СИСТЕМ У СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

Поселюжна В.Б., к.ф.-м.н., доцент, Семчишин Л.М., к.ф.-м.н.

*Чортківський інститут підприємництва і бізнесу,*
*Тернопільський національний економічний університет*

Запропоновано новий підхід до розв'язання методу відсічених систем. Показано тестування кліткових алгоритмів розв'язання числових систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Наведено спосіб тестування розв'язання деяких типів розріджених СЛАР. Охарактеризована система лінійних алгебраїчних рівнянь з числовими елементами. Проведено порівняльну характеристику СЛАР з числовими елементами та описано тестування процедур лінійної алгебри в середовищі MatLab.

*Ключові слова: відсічені системи, кліткові алгоритми, системи лінійних алгебраїчних рівнянь з числовими елементами, розріджені числові системи, процедури лінійної алгебри.*

Поселюжная В.Б., Семчишин Л.М. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОТСЕЧЕННЫХ СИСТЕМ В СРЕДЕ MATLAB / Чортковский институт предпринимательства и бизнеса, Тернопольский национальный экономический университет, Украина

Предложен новый подход к решению метода отсеченных систем. Показано тестирования клеточных алгоритмов решения числовых систем линейных алгебраических уравнений. Приведен способ тестирования решения некоторых типов разреженных СЛАУ. Охарактеризована система линейных алгебраических уравнений с числовыми элементами. Проведена сравнительная характеристика СЛАУ с числовыми элементами и описано тестирование процедур линейной алгебры в среде MatLab.

*Ключевые слова: отсеченные системы, клеточные алгоритмы, системы линейных алгебраических уравнений с числовыми элементами, разреженные числовые системы, процедуры линейной алгебры.*

Poselyuzhna V.B., Semchyshyn L.M. SWERANCE SYSTEM METHOD USAGE IN THE MATLAB ENVIRONMENT / Chortkiv Institute of Business, Ternopil National Economic University, Ukraine

New approach to the severance system method solution is suggested in the work. The cellular algorythm of the numerical system of linear algebraic equation solution testing is shown. The way of some rarefied SLAR types solution testing is shown. The system of linear algebraic equation with numerical elements is characterized. Comparative characteristic of SLAR with numerical elements is conducted and the linear algebraic testing procedure in the MatLab environment is described.

*Key words: severance system, cellular algorythm, system of linear algebraic equotins with numerical elements, rarefied numerical systems, linear algebraic procedure.*

Збірник наукових праць

***Вісник Запорізького національного університету***

***Фізико-математичні науки***

***№2 2011***

Технічний редактор *С.О.Борю*

Верстка, дизайн-проробка, оригінал-макет і друк виконані у видавництві
Запорізького національного університету
тел. (061) 228-75-47

Підписано до друку 23.12.2011. Формат 60 x 90/8.

Папір Data Copy. Гарнітура "Таймс".

Умовн.-друк. арк. 20,5.

Замовлення № 442. Наклад 100 прим.

Запорізький національний університет
69600, м. Запоріжжя, МСП-41
вул. Жуковського, 66
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2952 від 30.08.2007