

**Список використаних джерел:**

1. Чернавський А.С. О проблемах физической экономики / А.С.Чернавський, Н.Н.Старков, А.В.Щербаков // УФН, 2002. – № 9. – С.1047-1067.
2. Глушков В. М. Модели развивающихся систем / В.М.Глушков, В.В.Иванов, В.М.Яненко. – М. : Наука. Ред. физ.-мат. наук, 1983. – 350 с.
3. Григоркив В.С. Моделирование взаимодействия легальной и теневой экономик на макроуровне / В.С.Григоркив, Л.М.Буяк, В.К.Паучок // Кибернетика и системный анализ. – 2008. – №1. – С.127-136.
4. Клебанова Т.С. Адаптивная модель управления структурой предприятия / Т.С.Клебанова, О.Ю.Кононов // Экономична кибернетика. – 2003. – № 3–4. – С. 83-89.
5. Григоркив В.С. Динамічна модель економіки з урахуванням ринку землі / В.С.Григоркив, Л.М.Буяк, С.В.Іщенко // Фінансова система України. Збірник наукових праць. – Острого: Видавництво Національного університету «Острозька академія», 2011. – Випуск 16. – С. 592-599.
6. Іщенко С.В. Моделювання економіки з урахуванням економічної структури суспільства та ринку землі / С.В.Іщенко // Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту. – Чернівці: ЧТЕІ КНТЕУ, 2011. – Вип. II (42). Економічні науки. – Частина I. – С. 111-120.

УДК 004.8

**В.Б.Середюк, О.Г.Гімчинський**, к.ф.-м.н.,  
Чернівецький торговельно-економічний інститут КНТЕУ,  
м. Чернівці

**ПОБУДОВА НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ  
ПОЗИЧАЛЬНИКА – ФІЗИЧНОЇ ОСОБИ**

У даній статті розглянуто алгоритм побудови нечіткої моделі для аналізу кредитоспроможності позичальника та визначення класу його надійності на основі нечітких вхідних значень. Крім того визначено набір вхідних змінних, які є найбільш інформативними та можуть використовуватись при аналізі кредитоспроможності позичальника – фізичної особи.

В даній статті розглядається алгоритм побудови нечіткої моделі для аналізу кредитоспроможності позичальника та визначення класу його надійності на основі нечітких вхідних значень. Крім того, визначено набір вхідних змінних, які є найбільш інформативними та можуть використовуватись при аналізі кредитоспроможності позичальника – фізичного лица.

This article describes an algorithm for constructing fuzzy models to analyze the creditworthiness of the borrower and the definition of its reliability on the basis of fuzzy input values. Also defines a set of input variables, which are the most informative and can be used in the analysis of creditworthiness of the borrower – individual.

**Ключові слова:** нечітка модель, терм-множина, функція належності, система нечіткого виводу, фазифікація, клас надійності позичальника.

Через незадовільну якість доступної для аналізу статистичної інформації, її нечіткість, а іноді навіть суперечливість, кредитний експерт не має можливості об'єктивно та ефективно провести аналіз фінансового та соціального стану позичальника – фізичної особи.

Метою даної статті є аналіз можливості застосування методів теорії нечіткої логіки і побудова нечіткої моделі, з метою проведення аналізу кредитоспроможності потенційного позичальника – фізичної особи та визначення класу його надійності.

Доцільність розробки та застосування моделі на підґрунті інструментарію нечіткої логіки, для визначення класу надійності позичальника – фізичної особи, пов'язане з високим рівнем її адекватності, зокрема в умовах невеликої статистичної вибірки.

Головним завданням на етапі проектування моделі є визначення кількості вхідних змінних. Для адекватної роботи моделі кількість вхідних змінних не

повинно перевищувати 7 [1].

Для побудови нечіткої моделі нами використано 6 вхідних лінгвістичних змінних і 1 вихідна – клас надійності позичальника.

Крім введення та опису змінних, паралельно проводився процес фазифікації – система формул для розрахунку функції належності для кожного з термів, які відповідають нечітким змінним, на основі звичайних (не нечітких) початкових даних.

Перша вхідна змінна – це «Обсяг кредиту». Як терм-множина для цієї змінної використана множина  $T_1 = \{\text{«малій»}, \text{«середній»}, \text{«великий»}\}$  або в символічному вигляді  $T_1 = \{\text{«M»}, \text{«S»}, \text{«V»}\}$ .

Обсяг кредиту  $x$  може набувати значення в діапазоні  $[0; 500000]$ , що відповідає встановленим лімітам у сфері кредитування фізичних осіб. Так, терму «M» відповідає діапазон  $[0; 82000]$ , терму «S»  $[75000; 220000]$  і терму «V»  $[195000; 500000]$ . Як функція належності для всіх трьох термів використано трапецієподібну функцію, яка представлена в аналітичній формі за допомогою системи (1).

$$\mu_M = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & 0 \leq x \leq 75000 \\ \frac{82000-x}{7000}, & 75000 \leq x \leq 82000 \\ 0, & x \geq 82000 \end{cases}, \quad \mu_S = \begin{cases} 0, & x \leq 75000 \\ \frac{x}{40000} - 1,875, & 75000 \leq x \leq 115000 \\ 1, & 115000 \leq x \leq 195000 \\ 8,8 - \frac{x}{25000}, & 195000 \leq x \leq 220000 \\ 0, & x \geq 220000 \end{cases}$$

$$\mu_V = \begin{cases} 0, & x \leq 195000 \\ \frac{x-195000}{55000}, & 195000 \leq x \leq 250000 \\ 1, & 250000 \leq x \leq 500000 \\ 0, & x \geq 500000 \end{cases} \quad (1)$$

Друга вхідна змінна – «Відсоток забезпечення кредиту». Даний коефіцієнт розраховується як відношення ліквідаційної вартості забезпечення до суми кредиту і відсотків, що нараховуються на тіло кредиту. Як терм-множина для цієї змінної використано множину  $T_2 = \{\text{«без застави»}, \text{«вартість застави менше, ніж обсяг кредиту»}, \text{«оціночна вартість застави приблизно рівна величині кредиту»}, \text{«вартість застави значно перевищує обсяг кредиту»}\}$ , яка представлена в символічному вигляді  $T_2 = \{\text{«BZ»}, \text{«S»}, \text{«VS»}, \text{«V»}\}$ . Дані терми формують наступні діапазони значень  $BZ \in [0; 45]$ ,  $S \in [40; 75]$ ,  $VS \in [70; 120]$ ,  $V \in [110; 200]$ . Як функція належності для термів «BZ» та «V» використано трапецієвидну функцію належності, оскільки їх значення формують інтервал, на яких функції належності  $\mu$  є рівною 1. Для двох інших термів «S» та «VS» використано трикутну функцію належності.

Як третю вхідну змінну  $x_3$  використано «Відсоток платоспроможності позичальника». Значення даної змінної може змінюватись в межах  $[0; 200]$  та

розраховується як відношення різниці середньомісячного доходу та витрат позичальника до максимального місячного платежу, включаючи відсотки. До складу терм-множини цієї вхідної змінної включено наступні терми  $T_3 = \{\text{«місячний дохід позичальника менший за місячний платіж по кредиту»}, \text{«місячний дохід позичальника практично рівний місячному платежу по кредиту»}, \text{«місячний дохід позичальника значно перевищує місячний платіж по кредиту»}\}$  або в символічному вигляді  $T_3 = \{\text{«N»}, \text{«S»}, \text{«V»}\}$ . Дані терми формують наступні діапазони значень:  $N \in [0; 110]$ ,  $S \in [100; 120]$ ,  $V \in [110; 200]$ . Як функція належності для термів «N» і «V», виходячи із тих же міркувань, що наведені при визначенні функцій належності для змінних  $x_1$  та  $x_2$ , використано трапецієвидну функцію належності, а для терму «S» – трикутну.

Четверта вхідна змінна ( $x_4$ ) – «Відсоток платоспроможності сім'ї позичальника». Ця змінна визначає співвідношення середньомісячного чистого доходу сім'ї до максимального платежу по кредиту, включаючи відсотки за користування ним. Значення  $x_4$  може змінюватись у межах від 0 до 200, що відповідає термам із множини  $T_4 = \{\text{«низький»}, \text{«середній»}, \text{«високий»}\}$  або в символічному вигляді  $T_4 = \{\text{«N»}, \text{«S»}, \text{«V»}\}$ . Кожен із термів, які входять у множину значень даної змінної, формують окремі діапазони значень:  $N = [0; 100]$ ,  $S = [95; 140]$ ,  $V = [130; 200]$ . Для термів «N» та «V» використано трапецієвидну, а для терму «S» – трикутну функцію належності.

П'ятою вхідною якісною змінною ( $x_5$ ) є «Кредитна історія», множина значень якої включає в себе наступні терми:  $T_5 = \{\text{«наявність пролонгованого кредиту терміном більше 30 днів»}, \text{«наявність пролонгованого кредиту терміном від 7 до 30 днів»}, \text{«кредит погашено в повному обсязі і вчасно»}\}$  або в символічному вигляді  $T_5 = \{\text{«III-klas»}, \text{«II-klas»}, \text{«I-klas»}\}$ . Кожен із термів утворює наступний діапазон значень:  $III - klas \in [0; 3.5]$ ,  $II - klas \in [2.8; 7.5]$ ,  $I - klas \in [6; 10]$ .

Присвоєна кількість балів – це оцінка кредитної історії, скоригована на певну величину, яка відповідає суб'єктивній оцінці кредитного експерта щодо надійності потенційного позичальника. Таким чином, ця змінна поєднує в собі кредитну історію позичальника та точку зору кредитного експерта щодо надійності потенційного позичальника.

Якщо позичальник вперше має намір взяти кредит, то йому присвоюється кількість балів, яка, на думку кредитного експерта, визначає рівень його надійності.

Останньою, шостою, вхідною змінною є «Наявність поручителя та рівень його надійності (або вартість додаткової застави)». Значення цієї змінної присвоюється кредитним експертом від 0 до 10, залежно від надійності поручителя або вартості додаткової застави. Значення цієї змінної, аналогічно до попередньої, також коригується на певну величину, залежно від класу надійності поручителя. До змінної включено наступні нечіткі висловлювання  $T_6 = \{\text{«фізична особа з низьким класом надійності»}, \text{«фізична особа з високим класом надійності або юридична}$

особа з низьким класом надійності», «юридична особа з високим класом надійності»} або в символічному вигляді  $T_6 = \{\text{«FN»}, \text{«FVUN»}, \text{«UV»}\}$ . Кожен із термів утворює діапазон значень:  $FN \in [0; 3.5]$ ,  $FVUN \in [2.7; 7]$ ,  $UV \in [6.5; 10]$ . Для термів цієї змінної використано трапецієвидну функцію належності.

Якщо обсяг кредиту не перевищує 82 000 грн., то наявність поручителя є необов'язковим. Значення ж нуль, для цієї змінної, при видачі середнього чи великого за обсягом кредиту, може значно понизити клас надійності позичальника, що було враховано при побудові евристичних правил.

Вихідною змінною (Y) є «Клас надійності позичальника». Терм-множина  $T_y$  цієї змінної включає в себе п'ять термів, які визначені відповідною постановою НБУ і відповідають класам надійності позичальників – фізичних осіб.  $T_y = \{\text{«високий рівень надійності»}, \text{«рівень надійності вище середнього»}, \text{«рівень надійності – задовільний»}, \text{«низький рівень надійності»}, \text{«рівень надійності – незадовільний»}\}$  або в символічному вигляді  $T_y = \{\text{«А»}, \text{«Б»}, \text{«В»}, \text{«Г»}, \text{«Д»}\}$ . Оскільки кожний із термів цієї змінної формує діапазон значень, на якому  $\mu_{T_y} = 1$ , то в якості функції належності для кожного із термів доцільно буде використати трапецієвидну функцію належності (рис. 1).

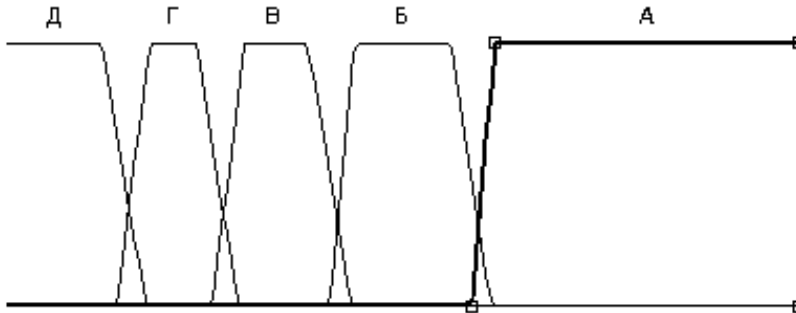


Рис. 1. Функція належності для термів змінної «Клас надійності позичальника»

Використавши відповідну формулу, визначимо значення  $\mu$  для кожного з термів вихідної змінної «Клас надійності позичальника» (2).

$$\mu_A = \begin{cases} 0, & x \leq 147 \\ \frac{x}{7} - 21, & 147 \leq x \leq 154 \\ 1, & 154 \leq x \leq 250 \\ 0, & x \geq 250 \end{cases}, \quad \mu_B = \begin{cases} 0, & x \leq 102 \\ \frac{x}{8} - 12,75, & 102 \leq x \leq 110 \\ 1, & 110 \leq x \leq 140 \\ \frac{153-x}{13}, & 140 \leq x \leq 153 \\ 0, & x \geq 153 \end{cases}$$

$$\mu_B = \begin{cases} 0, & x \leq 65 \\ \frac{x}{10} - 6,5, & 65 \leq x \leq 75 \\ 1, & 75 \leq x \leq 95 \\ \frac{109-x}{14}, & 95 \leq x \leq 109 \\ 0, & x \geq 109 \end{cases}, \quad \mu_T = \begin{cases} 0, & x \leq 35 \\ \frac{x}{10} - 3,5, & 35 \leq x \leq 45 \\ 1, & 45 \leq x \leq 60 \\ \frac{73-x}{13}, & 60 \leq x \leq 73 \\ 0, & x \geq 73 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_D = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & 0 \leq x \leq 30 \\ \frac{44-x}{14}, & 30 \leq x \leq 44 \\ 0, & x \geq 44 \end{cases}$$

Як граничні значення, для побудови кожного із обмежень, по окремо взятому терму вхідної змінної використано методику розрахунку кредитоспроможності позичальника, яку використовує ПАТ КБ «ПриватБанк».

Після завершення етапу фазифікації по кожному із лінгвістичних термів вхідних змінних визначено значення функцій належності, які надалі були використані при побудові підумов бази правил системи нечіткого виводу Мамдані. Даний метод доцільно використовувати при застосуванні методу логічної диз'юнкції – бінарної логічної операції, результатом виконання якої є нечітке висловлювання, яке набуває значення одного із тверджень, значення функції належності якого є максимальним (3) [2].

$$y = \arg_{\{d_1, d_2, \dots, d_m\}} \max_{j=1, \dots, m} [\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_6)] \quad (3)$$

Вибір на користь системи нечіткого виводу Мамдані пояснюється легкістю інтерпретації функцій належності за допомогою лінгвістичних змінних, що є досить складним процесом при використанні моделі типу Сугено.

Наступним етапом побудови нечіткої моделі є формування бази правил системи нечіткого виводу, або формування системи нечітких знань, яка є сукупністю нечітких експертно-лінгвістичних правил «ЯКЩО – ТО», та зв'язує між собою лінгвістичні оцінки вхідних змінних ( $x_1, \dots, x_6$ ) з вихідною змінною  $Y$ .

Експертна система, при побудові якої використовувалась база нечітких знань, містить механізм нечіткого логічного висновку, що дає змогу визначити клас надійності позичальника – фізичної особи. До складу системи нечітких знань увійшло 78 лінгвістичних правил (табл. 1).

Застосування методу активації, при формуванні евристичних правил, – це процедура або процес знаходження ступеня належності кожного із підзаключень в загальному списку нечітких правил і є завершеним у випадку, коли для кожного із вихідних лінгвістичних змінних будуть визначені функції належності нечітких множин та їх значень [3].

Метод розрахунку значень функції належності для термів вихідної змінної називається методом агрегування підумов та дозволяє визначити ступень

належності умови по кожному із правил системи нечіткого виводу [4]. Оскільки у всіх правилах як логічна зв'язка для підумов використана нечітка кон'юнкція (операція «And»), то як метод агрегування доцільно застосувати операцію  $\min$  ( $\min$ -кон'юнкція) (4).

$$\mu(a) \wedge \mu(b) = \min[\mu(a), \mu(b)] \tag{4}$$

Таблиця 1

Побудова лінгвістичних правил

№ п/п	Обсяг кредиту	Відсоток забезпечення кредиту	Відсоток платоспроможності позичальника	Відсоток платоспроможності сім'ї позичальника	Кредитна історія	Наявність поручителя	Клас надійності позичальника	Коефіцієнт відповідності
1	M	V	V	V	I-klas	UV	A	1
2	M	VS	V	V	I-klas	FN	A	0.8
3	M	VS	V	V	I-klas	FN	Б	0.2
4	M	VS	S	V	I-klas	FVUN	Б	1
5	M	BZ	S	V	I-klas	FVUN	Б	0.8
6	M	BZ	S	V	I-klas	FVUN	В	0.2
7	M	S	S	V	II-klas	FN	В	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...
57	V	VS	S	S	I-klas	FVUN	Б	0.9
58	V	VS	S	S	I-klas	FVUN	В	0.1
59	V	S	S	S	II-klas	UV	В	1
60	V	S	N	S	II-klas	UV	Г	1
61	V	S	N	S	II-klas	FN	Г	0.8
62	V	S	N	S	II-klas	FN	Д	0.2
63	V	S	N	N	III-klas	UV	Д	1
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Отже, розроблена нами нечітка модель спочатку знаходитиме мінімальні значення функцій належності по кожному з лінгвістичних правил, а потім серед них визначатиме те правило, значення функції належності якого є максимальним. Цей результат і ставитиметься у відповідність вихідній змінній Y.

Даний процес є процесом акумулювання і представляє собою процедуру або процес розрахунку значення функції належності для кожної із вихідних лінгвістичних змінних множини  $Y = \{y_1, \dots, y_5\}$ .

Завершальний етап побудови моделі – процедура дефазифікації або процес знаходження звичайного (не нечіткого) значення для кожної із вихідних лінгвістичних змінних множини  $Y = \{y_1, \dots, y_5\}$ . Метою виконання даного етапу є одержання на основі вхідного вектора  $X^*$  звичайного, кількісного значення кожного з термів, що належать вихідній змінній Y. В аналітичному вигляді можна представити процес дефазифікації за допомогою формули (5).

$$Y = \text{agg}_{j=1, \dots, m} \left( \int_{\underline{y}}^{\bar{y}} \frac{\text{imp}(\mu_{T_{y_j}}(X^*), \mu_{T_{y_j}}(y))}{y} \right), \tag{5}$$

де  $\text{imp}$  – імплікація, або операція знаходження  $\min$  значення;  $\text{agg}$  –

агрегування нечітких множин, що відповідає операції знаходження  $\max$  [2].

Після проведення низки експериментів визначено, що похибка є мінімальною, якщо як метод дефазифікації в системах нечіткого виводу застосовувати метод центру ваги (COG, Centre of Gravity). Згідно з ним, значення вихідної змінної дорівнює абсцисі ваги площі, обмеженої графіком кривої функції належності, яка відповідає вихідній змінній. В аналітичному виді даний метод подано як рівняння (6).

$$y = \frac{\int_{\underline{y}}^{\bar{y}} y \cdot \mu_{T_y}(y) dy}{\int_{\underline{y}}^{\bar{y}} \mu_{T_y}(y) dy}, \quad (6)$$

де  $y$  – результат дефазифікації;  $T_y$  – терм, який належить вихідній

лінгвістичній змінній  $y_i$   $i = \overline{1,5}$ ;  $\mu(x)$  – функція належності даного терму нечіткій множині  $Y$  [5].

У результаті застосування запропонованого методу побудовано нечітку модель, яка дозволяє визначити клас надійності потенційного позичальника щодо виконання ним зобов'язань, згідно з укладеним кредитним договором, та присвоєння йому одного з п'яти визначених класів надійності.

#### Список використаних джерел:

1. Матвійчук А. Моделювання фінансових ризиків: Монографія / А.Матвійчук. – К.: Либідь, 2007. – 343с.
2. Борисов А. Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. / А.Н.Борисов, О.А.Крумберг, И.П.Федоров – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
3. Бочарников В.П. Fuzzy-Технология: математические основы практика моделирования в экономике. / В.П.Бочарников. – СПб.: Питер, 2001. – 328 с.
4. Леоненко А.В. нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech / А.В.Леоненко. – СПб.: ПХВ-Петербург, 2005. – 736с.
5. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А.Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432с.