

## СЕКЦІЯ 8 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 004.832

Іванченко Н.О.

кандидат економічних наук,  
доцент кафедри економічної кібернетики  
Національного авіаційного університету

### ПРЕДСТАВЛЕННЯ СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ ТА АКТИВАЦІЇ НЕЧІТКИХ ПРАВИЛ БАЗИ ЗНАТЬ ДОМЕННОГО ПРОСТОРУ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВА

Розглянуто метод, що відповідає спрощеному методу нечіткого логічного виведення, але відрізняється від останнього тим, що нечітка база знань не залишається фіксованою, а модернізується в міру надходження експериментальних даних. Зазначено, що системи нечіткого висновку доменного простору економічної безпеки підприємства призначена для перетворення значень вхідних змінних ідентифікаторів потенціалів у вихідні змінні процеси управління на основі використання нечітких правил продукційного вигляду. Запропоновано модель бази нечітких знань як об'єднання часткових баз потенціалів економічної безпеки підприємства. Розглянуто продукційну нечітку систему доменного простору економічної безпеки підприємства, яка є деякою узгодженою множиною окремих нечітких продукцій або правил нечітких продукцій.

**Ключові слова:** доменний простір, економічна безпека підприємства, нечітка база знань, продукційна нечітка система, системи нечіткого висновку.

#### Іванченко Н.А. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА И АКТИВАЦИИ НЕЧЕТКИХ ПРАВИЛ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДОМЕННОГО ПРОСТРАНСТВА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрено метод, который соответствует упрощенному методу нечеткого логического вывода, но отличается от последнего тем, что нечеткая база знаний не остается фиксированной, а модернизируется по мере поступления экспериментальных данных. Указано, что система нечеткого вывода доменного пространства экономической безопасности предприятия предназначена для преобразования значений входных переменных идентификаторов потенциалов в выходные переменные процесса управления на основе использования нечетких правил продукционного вида. Предложена модель базы нечетких знаний как объединение частных баз потенциалов экономической безопасности предприятия. Рассмотрено продукционную нечеткую систему доменного пространства экономической безопасности предприятия, которая является некоторым согласованным множеством отдельных нечетких продукций или правил нечетких продукций.

**Ключевые слова:** доменное пространство, экономическая безопасность предприятия, нечеткая база знаний, продукционная нечеткая система, система нечеткого вывода.

#### Ivanchenko N.O. PRESENTATION OF FUZZY INFERENCE AND ACTIVATE FUZZY RULES KNOWLEDGE BASE DOMAIN SPACE ECONOMIC SECURITY

The article is devoted to the method corresponding to a simplified method of fuzzy inference, but differs from the latter in that fuzzy knowledge base remains fixed and upgraded as revenue experimental data. Indicated that fuzzy inference system domain space of economic security is designed to convert the value of the input variable identifiers potential output variables in the management process through the use of fuzzy rules of the production form. The model of fuzzy knowledge bases as potential bases of association partial economic security. Considered productive fuzzy system domain space of economic security, which is somewhat consistent set of individual fuzzy rules or productions productions.

**Keywords:** blast space, economic security, fuzzy knowledge base, productive fuzzy systems, fuzzy inference.

**Постановка проблеми.** За аналогією із звичайними продукційними системами важливим компонентом систем нечітких продукцій є так званий метод виведення висновків на основі нечітких умов в базі правил нечітких продукцій. Основою для проведення операції нечіткого логічного висновку є база правил, що містить нечіткі вислови у формі «Якщо – то» і функцій приналежності для відповідних лінгвістичних термів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз низки наукових праць, зокрема [1–4] стосовно використання нечіткої логіки у найрізноманітніших застосуваннях свідчить, що нечітка логіка забезпечила комерційний успіх систем заснованих на знаннях. Нечітка логіка сьогодні все частіше використовується в пристроях повсякденного використання, де вона більше не асоціюється зі штучним інтелектом.

**Мета статті.** Невизначеність процесів в умовах трансформаційної економіки потребують розвитку та вдосконалення системи управління доменним простором економічної безпеки підприємства (ДП ЕкБП) з використанням нечіткої логіки, що зумовило мету статті.

**Виклад основного матеріалу.** Нечітким логічним виведенням (*fuzzy logic inference*) в ДП ЕкБП є апроксимація залежності  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  за допомогою нечіткої бази знань (НБЗ) і операцій над нечіткими множинами.

Нечіткий висновок здійснюється на основі НБЗ<sup>потенціал</sup> ДП ЕкБП. Системи нечіткого висновку ДП ЕкБП призначена для перетворення значень вхідних змінних ідентифікаторів потенціалів у вихідні змінні процеси управління ЕкБП<sup>рішень</sup> на основі використання нечітких правил продукційного вигляду. Для цьо-

го системи нечіткого висновку повинні містити базу правил нечітких продукцій і реалізувати нечітке виведення висновків на основі посилянь та умов представлених у формі нечітких лінгвістичних висловів.

*Продукційна нечітка система ЕкБП* або ж *система з нечіткими правилами продукцій ЕкБП* є деякою узгодженою множиною окремих нечітких продукцій або правил нечітких продукцій.

Нечіткі правила продукцій багато в чому близькі логічним моделям представлення знань. У загальному під правилом *нечіткої продукції* або просто *нечіткою продукцією* розуміється вираз такоговигляду:

$$(i): Q; P; A \Rightarrow B; S, W, N$$

де (i) – ім'я нечіткої продукції. За аналогією із звичайним правилом продукції як ім'я (i) нечіткої продукції може виступати сукупність індикаторів, що дозволяє однозначно ідентифікувати нечітку продукцію в системі нечіткого висновку або в базі нечітких правил. Як ім'я нечіткої продукції може використовуватися її номер в системі.

$Q$  – сфера застосування нечіткої продукції;

$P$  – умова застосовності ядра нечіткої продукції;

$A \Rightarrow B$  – ядро нечіткої продукції, в якому  $A$  – умова ядра (або антецедент), *Антецедентом* правила називають множину нечітких термів, визначених для входів, що є умовою спрацьовування правила;

« $\Rightarrow$ » – знак логічної секвенції (або проходження);

$S$  – метод або спосіб визначення кількісного значення ступеня істинності висновку ядра;  $S$  – метод або спосіб визначення кількісного значення ступеня істинності висновку  $B$  на основі відомого значення ступеня істинності умови  $V$ . Цей спосіб загалом визначає, так звану, *схему* або алгоритм нечіткого висновку в продукційних нечітких системах і є *методом композиції* або *методом активації*.

$W$  – коефіцієнт визначеності або упевненості нечіткої продукції;  $W$  – коефіцієнт визначеності або упевненості виражає кількісну оцінку ступеня істинності або відносну вагу нечіткої продукції. Коефіцієнт упевненості набуває свого значення з інтервалу  $[0,1]$  і часто називається ваговим коефіцієнтом нечіткого правила продукції.

$N$  – постумова продукції, що мають вид процедур, які виконуються, в тому випадку, якщо ядро продукції реалізувалося  $E$  – зв'язки з іншими продукціями.

Сфера застосування нечіткої продукції  $Q$ , умова застосовності ядра нечіткої продукції  $P$  і постумова нечіткої продукції  $N$  визначаються аналогічно класичній продукції. Також і ядро  $A \Rightarrow B$  є центральним компонентом нечіткої продукції. Ядро продукції записується в тій же формі: «Якщо  $A$ , то  $B$ », де  $A$  і  $B$  – деякі вирази нечіткої логіки, які найчастіше виражаються у формі нечітких висловів, водночас секвенція інтерпретується в звичайному логічному сенсі як знак логічного проходження висновку  $B$  з умови  $A$ . Як вирази  $A$  і  $B$  можуть використовуватися складені логічні нечіткі вислови, тобто елементарні нечіткі вислови, сполучені нечіткими логічними зв'язками, такими, як нечітке заперечення, НЕ, нечітка кон'юнкція І, нечітка диз'юнкція АБО.

Основна проблема наближених міркувань з використанням нечітких правил продукцій полягає в тому, щоб на основі деяких нечітких висловів з відомим ступенем упевненості, які є умовами нечітких правил продукцій, оцінити ступінь істинності інших нечітких висловів, відповідних нечітких правил продукцій, що є висновками.

Взаємозв'язок між умовою і висновком в нечіткому правилі продукції в загальному випадку є деяким бінарним нечітким відношенням на декартовому добутку універсальної множини відповідних лінгвістичних змінних. Цей підхід і використовуватиметься надалі для визначення різних схем або методів нечіткого висновку на основі продукційних нечітких систем.

Загалом для формального визначення різних методів нечіткого висновку стосовно нечіткого правила продукції розглянемо дві нечітких множини  $A$  і  $B$ , задану відповідно до універсальних множин  $U$  і  $V$ . Водночас нечітка множину  $A$  інтерпретується як умова деякого нечіткого правила продукції, а нечітка множину  $B$  – як висновок цього ж правила.

Основна ідея полягає в тому, що нечітку множину  $A$  можна розглядати як унарне відношення на універсальній множині  $U$ , а нечітку множину  $B$  можна розглядати як унарне відношення на універсальній множині  $V$ . В цьому випадку перше відношення визначається функцією приналежності  $\mu_A(u)$ , а друге відношення – функцією приналежності  $\mu_B(v)$ .

Тепер припустимо, що деяким способом визначено бінарне нечітке відношення на декартовому добутку універсальних множини  $V: Q = \{\mu_Q(u,v)/(u,v)\}$ , де  $u \in U$  і  $v \in V$ . Якщо додатково відомі значення функції приналежності множини  $A$   $\mu_A(u)$ , то функція приналежності  $\mu_B(v)$  другої множини може бути визначена в результаті нечіткої композиції відповідних нечітких відносин з використанням будь-якої з наведених нижче композицій.

Відтак кожне продукційне правило може бути представлено у вигляді дерева. Причому дерево формується на основі конструкцій, кожна з яких складається з двох вершин і поміченої дуги. Вершини, що містять конкретні поняття, зв'язані дугою з заданою семантичним відношенням. Допустимо з'єднання конструктивів задається за допомогою описів гілок дерева.

З цього розуміємо, що специфікація продукційного правила включає множину:

- понять  $T_k$ , використовуваних в методі;
- конструкторів  $K_{hc}$ , що визначає зв'язок між двома поняттями;
- графів  $K_{hg}$  у вигляді множини альтернативних кортежів, компоненти яких складають вершини першого рівня графа і множину можливих варіантів побудови гілок.

Цієї інформації достатньо для генерації ядер продукційних правил, що належать до системи продукцій, з декларативним представленням методу.

Для реалізації аналізу відношення  $Y \cap X \neq \emptyset$  добре підходять методи нечіткого регулювання. Розглянемо основні аспекти їх застосування.

Відношення  $Y \cap X \neq \emptyset$  може бути істинно для  $\forall(Y, \forall X)$  де  $l=1 \div 5$ . Індекс  $l$  послідовно нумерує множини в такому порядку: множину властивостей, множину родових термінів, множину видових термінів, множину термінів, що означають «ціле» і множину термінів, що означають «частину». На практиці можуть простежуватися різні комбінації істинності відношення  $Y \cap X \neq \emptyset$ . Двома найцікавішими є випадки, коли відношення  $Y \cap X \neq \emptyset$  істинно при  $l \in \{1,2,3\}$  і  $l \in \{1,4,5\}$ .

Відношення  $R$  можна розглядати як нечітку підмножину прямого добутку  $X \times B$  повної множини передумов  $X$  і висновків  $B$ . Відтак процес одержання (нечіткого) результату виведення  $B'$  з використанням спостереження  $A'$  і знання  $A \rightarrow B$  можна подати у виді композиційного правила *нечіткий «modus ponens»*:  $B' = A' \cdot R = A' \cdot (A \rightarrow B)$ , де « $\cdot$ » – операція згортки.

Знання експерта  $A \rightarrow B$ , де « $\cdot$ » нечітка імплікація відображає нечітке причинне відношення передумови і висновку, тому його можна назвати нечітким відношенням і позначити через  $R$ :  $R = A \rightarrow B$ .

Нехай  $\mu_{j_p}(x_i)$  – функція приналежності входу  $\{x_i\}$  нечіткому терму  $a_i^{j_p}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $p = 1, 2, \dots, k_j$ ;  $\mu_{d_j}(y)$  – функція приналежності виходу у нечіткому терму  $d_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ .  $a_i^{j_p} = \int \mu^{j_p}(x_i) |x_i|$ , де  $\int$  сукупність пар елементів підмножини,  $\mu^{d_j}(y)$  – функція приналежності виходу  $y$  нечіткому терму  $d_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $d_j = \int \mu^{d_j}(y) |y|$  – ступінь приналежності входу  $\{x_i\}$  нечіткому терму з бази знань. Тоді ступінь приналежності конкретного вхідного вектора індикаторів  $x^* = \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*\}$  нечітким термам  $d_j$  з бази знань визначається такою системою нечітких логічних рівнянь:

$$\mu_{d_j}(x^*) = \max_{p=1,2,\dots,k_j} \min_{i=1,2,\dots,n} (\mu_{j_p}(x_i^*)), j=1,2,\dots,m.$$

Нечітка множина  $y$ , відповідна вхідному вектору  $x^*$ , яка має верхню і нижню межі діапазону значень  $\bar{y}$  та  $\underline{y}$ , відповідно, визначається як:

$$y = \bigcup_{j=1}^m \int \min(\mu_{d_j}(x^*), \mu_{d_j}(y)) dy.$$

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

Чітке значення виходу  $y^*$ , що відповідає вхідному вектору  $x^*$ , визначається в результаті дефазифікації нечіткого  $y$ .

Операцію композиції і операцію імплікації в алгебрі нечітких множин можна реалізувати порізно (водночас буде відрізняться й одержуваний результат).

В статті використано метод нечіткого виведення Е. Мамдані, який використовує ДП ЕкБП із правилами та передбачає виконання таких дій. За своєю суттю цей алгоритм спричиняє розглянуті етапи, оскільки найбільшою мірою відповідає їх параметрам:

1) уведення нечіткості (виконання антецедентів правил). Знаходяться ступені істинності для передумов кожного правила:  $\mu_{j_p}(x_i^*)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $p = 1, 2, \dots, k_j$ . На етапі фазифікації визначаються ступені істинності умов ядра кожного правила;

2) логічне виведення. Знаходяться рівні «відтінання» для передумов кожного з правил (з використанням операції мінімум):

$$\mu_j(y) = \min_{i,p} \mu_{j_p}(x_i^*), i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m; p=1,2,\dots,k_j.$$

Потім знаходяться «усічені» функції приналежності:

$$\mu_{j'}(y) = \min(\mu_j(y), \mu_{d_j}(y)), j = 1, 2, \dots, m;$$

3) композиція. Здійснюється об'єднання знайдених усічених функцій з використанням операції максимум, що призводить до одержання підсумкової нечіткої підмножини для змінної виходу з функцією приналежності:

$$\mu(y) = \max_j (\mu_{j'}(y)), j = 1, 2, \dots, m;$$

4) приведення до чіткості (дефазифікація) – проводиться для отримання  $y^*$ , наприклад, центроїдним методом.

– *центр тяжіння* (COG – center of gravity, центроїд – centroid):

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^k y_i \mu_Y(y_i)}{\sum_{i=1}^k \mu_Y(y_i)};$$

де  $y_i$  –  $i$ -й *сінгльтон* (одноточкова нечітка множина),  $\mu_Y(y_i)$  – значення функції приналежності для  $i$ -го елемента нечіткої множини  $Y$ ;

Елементи нечіткої множини, для котрих значення функції приналежності менше, ніж певний рівень  $\alpha$ , до розрахунків не беруться.

Мета дефазифікації полягає в тому, щоб, використовуючи результати акумуляції всіх вихідних лінгвістичних змінних, набути звичайного кількісного значення кожної з вихідних змінних, яке може бути використане спеціальними програмами, зовнішніми щодо системи нечіткого висновку.

Етап дефазифікації вважається закінченим, коли для кожної з вихідних лінгвістичних змінних потенціалів ЕкБП будуть визначені підсумкові кількісні значення у формі деякого дійсного числа  $EkBP_{потенціал}^g$ ,  $g=1,\dots,9$ , тобто у вигляді  $EkBP_{потенціал}^{фінансовий}$ ,  $EkBP_{потенціал}^{сізовий}$ ,  $\dots$ , де  $G$  – загальна кількість вихідних лінгвістичних змінних в базі правил системи нечіткого висновку.

Апарат нечіткого висновку виконує нечіткий логічний висновок за алгоритмом Мамдані з вибраною точністю і обґрунтовано вибраними методами активізації, акумуляції і дефазифікації.

Відповідність між значеннями критеріїв оцінювання та термами лінгвістичних змінних описується за допомогою функцій належності (*Membership Function*). Вид функції визначається властивостями об'єкта моделювання.

Дослідження ДП ЕкБП відбувається в умовах, коли немає «реального аналогу». Наприклад, сьогдні немає загальноприйнятних нормативних значень, які б визначали, як саме підприємства розподіляються за тими чи іншими рівнями ЕкБП. У зв'язку з відсутністю загальноприйнятних стандартів та вимірників результуючої змінної та, відповідно, принциповою неможливістю проведення налаштування моделі на реальних значеннях цього показника, пропонуємо використати для побудови функцій належності.

Зважаючи на те, що рішення у ЕкБП доволі часто ухвалюються в умовах обмеженої та неоднорідної НБЗ, використання статистичного методу визначення параметрів функції приналежності є малоефективним.

Задавання функцій приналежності здійснювалось у вигляді *прямих методів* для кожного  $x \in E$  значення  $\mu(x)$ . Прямі методи побудови функції приналежності використовуються для вимірних понять, таких, як значення індикаторів та потенціалів ДП ЕкБП.

Для конкретного об'єкта (індикатора, потенціалу ДП ЕкБП), відповідно до наведеної шкали, задаємо  $\mu_A(x) \in [0, 1]$ , формуючи векторну функцію приналежності  $\{\mu_A(x_1), \mu_A(x_2), \dots, \mu_A(x_n)\}$ .

Щоб визначити вид залежностей функції приналежності нечітких множин нами розглянуті різні види функцій приналежності.

Всі ці характеристики нечіткого ДП ЕкБП дозволяють повною мірою врахувати основні властивості ЕкБП у процесі її моделювання. Назва лінгвістичної змінної індикатора, потенціалу та універсальна множина зазвичай відповідають назві та множини значень певного кількісного критерію оцінювання потенціалу  $НБЗ_{потенціал}^g$ . Що стосується значень лінгвістичних змінних, то для аналізу стану ЕкБП запропоновано використовувати упорядковану терм-множину значень, яка складається з трьох або п'яти термів залежно від потенціалу (табл. 1.). Всі лінгвістичні змінні сформованого комплексу економіко-математичних моделей для ЕкБП визначаються терм-множиною значень, яка складається з 3 (MF1='Low-level', MF2='Middle-level', MF3='High-level') що відповідає «Низький», «Середній», «Високий», або «Високий», «Середній», «Низький», або 5 елементів – (MF1='Low-level', MF2='Low-level-50', MF3='Middle-level', MF4='High-

level-50', MF5='High-level') що відповідає «Дуже низький», «Низький», «Середній», «Високий», і «Дуже високий».

Властивості терм-множини  $НБЗ_{потенціалу}^g$ ,  $g=1, \dots, 9$ , ДП ЕкБП такі:

- упорядкованість термів;
- позитивний або негативний інгредієнт вектора значень;
- симетричність множини значень щодо центру;
- пропорційне зростання сили висловлювань позитивних та негативних значень щодо центру симетрії;
- однакова сила змісту термів «Низький»-«Високий» та абсолютна протилежність їх за знаком. Аналогічна ситуація і з парою термів «Дуже низький» і «Дуже високий».

У результаті численних експериментальних досліджень встановлено, що повною мірою ці властивості задовольняє лінійно впорядкований ряд цілих

чисел {10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90} та {10, 30, 50, 70, 90}. Відповідність між значеннями лінгвістичної змінної фінансового потенціалу ЕкБП та рівнями рейтингової шкали схематично зображено на рис. 1.

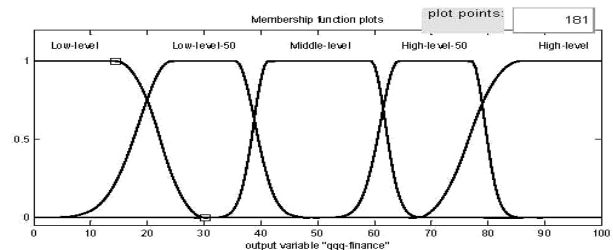


Рис. 1. Графічне відображення функції належності фінансового потенціалу ЕкБП відповідному терму

Таблиця 1

Характеристики вихідних лінгвістичних змінних ДП ЕкБП

	Нечітка база знань потенціалу ЕкБП	Функція приналежності	Терм-множини значень потенціалу
1.	НБЗ фінансового потенціалу ЕкБП	Zmf, gaussmf, smf, gauss2mf	Range=[0 100] NumMFs=5 MF1='Low-level': 'zmf', MF2='Low-level-50': 'gauss2mf', MF3='Middle-level': 'gauss2mf', MF4='High-level-50': 'gauss2mf', MF5='High-level': 'smf'
2.	НБЗ маркетингового потенціалу ЕкБП	Gaussmf, gauss2mf	Range=[0 100] NumMFs=5 MF1='Low-level-50': 'gauss2mf', MF2='Low-level-50': 'gauss2mf', MF3='Middle-level': 'gauss2mf', MF4='High-level-50': 'gauss2mf', MF5='High-level': 'gauss2mf',
3.	НБЗ техніко-технологічного потенціалу ЕкБП	Gaussmf, gbellmf, smf, zmf, gauss2mf	Range=[0 100] NumMFs=5 MF1='Low-level': 'zmf', MF2='Low-level-50': 'gauss2mf', MF3='Middle-level': 'gauss2mf', MF4='High-level-50': 'gauss2mf', MF5='High-level': 'smf',
4.	НБЗ Кадрового потенціалу ЕкБП та інтелектуальний	Zmf, gaussmf, smf, gauss2mf	Range=[0 100] NumMFs=5 MF1='Low-level': 'zmf', MF2='Low-level-50': 'gauss2mf', MF3='Middle-level': 'gauss2mf', MF4='High-level-50': 'gauss2mf', MF5='High-level': 'smf',
5.	НБЗ Політико-правового потенціалу ЕкБП	Zmf, gaussmf, smf, gauss2mf	Range=[0 100] NumMFs=5 MF1='Low-level': 'zmf', MF2='Low-level-50': 'gauss2mf', MF3='Middle-level': 'gauss2mf', MF4='High-level-50': 'gauss2mf', MF5='High-level': 'smf',
6.	НБЗ Інформаційно-аналітичного потенціалу ЕкБП	Zmf, gaussmf, smf, gauss2mf	Range=[0 100] NumMFs=3 MF1='Low-level': 'zmf', MF2='Middle-level': 'gauss2mf', MF3='High-level': 'smf',
7.	НБЗ Екологічного потенціалу ЕкБП	Zmf, gaussmf, smf, gauss2mf	Range=[0 100] NumMFs=3 MF1='Low-level': 'zmf', MF2='Middle-level': 'gauss2mf', MF3='High-level': 'smf',
8.	НБЗ Силового потенціалу ЕкБП	Zmf, gaussmf, smf, gauss2mf	Range=[0 100] NumMFs=3 MF1='Low-level': 'zmf', MF2='Middle-level': 'gauss2mf', MF3='High-level': 'smf',
9.	НБЗ Ринкового потенціалу ЕкБП	gaussmf, trimf	Range=[0 100] NumMFs=3 MF1='mf1': 'trimf', MF2='mf2': 'trimf', MF3='mf3': 'trimf',

Така терм-множина значень є однією з найпоширеніших, коли для опису лінгвістичних змінних застосовуються трапецієподібні чи квазі-дзвоноподібні функції належності. Значною мірою це обумовлено тим, що зазначена терм-множина ділить відповідну універсальну множину на п'ять – дев'ять рівнів. Три – п'ять рівнів характеризуються абсолютною належністю значень вхідного критерію одному з термів лінгвістичної змінної, а два чи чотири описують проміжні стани. Сьогодні п'ятирівневий розподіл якісних оцінок вважається одним з найпростіших та найкращих згідно зі ступенем їх деталізації та сприйняття людиною [4].

Крім того, така структура терм-множини є раціональною у випадках економічної інтерпретації результатів моделювання на основі рейтингового підходу. Адже такий набір термів дозволяє поставити їх у відповідність певній рейтинговій шкалі, яка зазвичай складається з 5–9-ти рівнів.

Аналіз результатів моделювання  $НБЗ^g_{потенціал}$ ,  $g=1, \dots, 9$ , ДП ЕкБП охоплює економічну інтерпретацію результатів оцінювання  $НБЗ^g_{потенціал}$ ,  $g=1, \dots, 9$ , ДП ЕкБП. Задля цього використовується рейтинговий підхід, у межах якого в розроблено рейтингову шкалу ЕкБП – рівень. Детальний опис результатів оцінювання, у процесі якого аналізуються значення проміжних індикаторів, які характеризують ЕкБП. Ця процедура дозволяє встановити, які саме фактори підтримують чи обмежують ЕкБП. Ця інформація значно підвищує цінність результатів оцінювання, адже дозволяє не лише проводити постійний моніторинг рівня ЕкБП, але й керувати ним шляхом усунення/послаблення негативних і підсилення позитивних чинників.

Для побудови  $НБЗ^g_{потенціал}$ ,  $g=1, \dots, 9$ , ДП ЕкБП необхідно вирішити важливе завдання знаходження відповідних нечітких правил, що відображають специфіку ДП ЕкБП. Ця проблема може бути вирішена двома способами. Перший полягає у отриманні необхідних знань безпосередньо від експертів певної предметної області та трансляції цих знань в нечіткі правила. Проте це важкий шлях, оскільки експерти, як правило, не знають нечіткої теорії, а інженерні знання не завжди адекватні дійсності.

Другий спосіб пов'язаний з автоматичним отриманням знань з даних, які є прикладами вирішення конкретних завдань. Нині існує доволі велика кількість методів, що дозволяють автоматично отримувати знання з даних: нейронні мережі, алгоритми класифікації і кластеризації, еволюційні методи і генетичні алгоритми [1; 3].

Істотним недоліком методів скорочення правил НБЗ є необхідність спочатку працювати зі свідомо надлишковою за обсягом базою знань, що обумовлює в деяких випадках повільну роботу методів.

Максимальна кількість таких комбінацій сягає  $K=L^I$ , де  $I$  – кількість вхідних лінгвістичних змінних,  $L$  – кількість термів у терм-множині значень кожної лінгвістичної змінної. До того ж, це композиційне правило потребує проведення процедури дефазифікації вихідної лінгвістичної змінної, від вибору якої суттєво залежить остаточний результат розрахунку.

Під час дослідження  $НБЗ^g_{потенціал}$ ,  $g=1, \dots, 9$ , ДП ЕкБП формується нечітка система, що містить свідомо надлишкове число продукційних правил. У процесі роботи методу зайві продукційні правила виключаються.

**Висновки.** Описаний метод відповідає спрощеному методу нечіткого логічного виведення, але відрізняється від останнього тим, що НБЗ не залишається фіксованою, а модернізується в міру надходження експериментальних даних. Причому несуперечність нового продукційного правила щодо набору правил з бази знань гарантується процедурою її поповнення.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Когнітивні технології в економіці : [підруч. для студ. вищ. навч. закл.] / Л. І. Антошкіна, О. Ю. Чубукова, Н. О. Іванченко. – Донецьк : Юго-Восток, 2014. – 439 с.
2. Люгер Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / [Л. Ф. Люгер] ; пер. с англ. – 4-е изд. – М. : Вильямс, 2003. – 864 с.
3. Когнитивная бизнес-аналитика : [учебник] / под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. Н. М. Абдикеева. – М. : ИНФРА-М, 2011. – 511 с.
4. Іванченко Н. О. Нечітка семантико-онтологічна модель бази знань доменного простору економічної безпеки підприємства // Науковий вісник Херсонського державного університету. – 2014. – Вип. 5. – Ч. 5. – С. 231–235.