

Л. М. БАНДОРІНА, Л. М. САВЧУК, Т. О. КЛИМКОВИЧ (НМетАУ,  
Дніпропетровськ)

## ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЕРТНО-АНАЛІТИЧНИХ ЗАВДАНЬ ІЗ УРАХУВАННЯМ ШИРОКОГО СПЕКТРА НЕЧІТКИХ ДАНИХ І ФАКТОРІВ

У статті розглянуто теоретичні аспекти здійснення обґрунтованого переходу від класичних імовірнісних моделей і експертних оцінок до нечітко-множинних описів при моделюванні експертно-аналітичних систем.

В статье рассмотрены теоретические аспекты осуществления обоснованного перехода от классических вероятностных моделей и экспертных оценок к нечетко-множественным описаниям при моделировании экспертно-аналитических систем.

In the paper there are considered the theoretical aspects of realization for well-grounded transition from classic stochastic models and expert judgments to fuzzy-set descriptions at modeling of expert analytic systems.

### ВСТУП

Широкий спектр можливих застосувань теорії нечітких множин – від оцінки ефективності інвестицій до кадрових рішень – з використанням відповідних математичних моделей вже отримав своє визнання в економіці. Активна розробка нових формалізмів теорії нечітких множин і побудова математичних моделей сприяє подальшому вирішенню реальних завдань. З'являються програмні продукти й інформаційні технології, що вирішують економічні завдання з використанням нечітко-множинних описів [1, с. 56], освітлюють проблему моделювання банківських ризиків, маркетингу, логістики, у цілому складних систем і дають можливість рішення експертно-аналітичних завдань на основі нечітких уявлень.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Враховуючи те, що розробки в області нечітких множин здобувають виразну практичну спрямованість, метою даного дослідження є аналіз нових можливостей моделювання і рішення експертно-аналітичних завдань у бізнесі із урахуванням широкого спектра нечітких даних і факторів, що відповідає потребам аналітичної роботи в банках, страхових, інвестиційних й інших компаніях, державних установах і т.д.

Головний напрям застосування теорії нечітких множин в економіці, фінансах та численних прикладних областях (від конкретних технічних рішень до систем організаційного керування у вигляді ситуаційних центрів, розподілених систем керування бізнес-процесами, аналітич-

них програмних продуктів оцінювання й прогнозування, комплексів управління ризиками банків і т.ін.) – це обґрунтування форм функцій приналежності відповідних нечітких чисел і класифікаторів, використовуваних у моделі. Якщо всі вихідні дані моделі, що мають нечітке вираження, обґрунтовані, то існує можливість одержати результуючі показники на основі відповідних методів, а саме: методи, надані в детермінованій постановці завдання, перетворюються до нечіткого виду, а класичні обчислення замінюються «м'якими обчисленнями». Проблема виникає тоді, коли результуючий показник, отриманий у нечіткому виді, вимагає кількісної і якісної інтерпретації.

Незважаючи на значну кількість серйозних наукових досліджень, теоретичних робіт і численних публікацій, проблема ефективного застосування нечітко-множинних описів для рішення експертно-аналітичних завдань освітлена в науці явно недостатньо. У ряді робіт пропонуються моделі, що містять нечітко-множинні описи, однак цим роботам бракує якісної інтерпретації результатів, отриманих на основі запропонованої моделі.

Також недостатньо спеціалізованих програмних засобів вирішення експертно-аналітичних завдань, заснованих на нечітких моделях. Такі програми в Україні повністю відсутні.

На сьогодні реалізовані й можуть бути використані різні варіанти побудови нечітких мір, що описують нечіткі дані. Нечіткі міри надають можливість по формалізації й поданню в аналітичних завданнях нечітких даних з погляду моделювання:

- a) суджень (понять) при використанні каналу спостереження;
- b) інформаційних одиниць для представлення в класичних базах даних;
- c) невизначених оцінок об'єктів.

Всі методи побудови нечітких мір можуть бути розбиті на дві групи [1, с. 54-55]: прямі й непрямі методи. До прямих методів відносяться:

- 1) параметричне настроювання функцій, а саме:
  - трапецієподібні функції;
  - колоколообразні функції «Близько»;
  - сукупність функції «Складні судження»;
  - перетворення функцій «стиск – розтягання»;
  - опуклі оболонки функцій;
- 2) пряме завдання функцій розподілу міри, а саме:
  - настроювання поточкове;
  - апроксимації.

До непрямих методів відносять:

- 1) парні порівняння;
- 2) множинні порівняння.

Існують переваги й недоліки підходів до визначення розподілів нечітких мір. Розглянемо можливість використання методу параметричного настроювання функцій (трапецієподібні функції).

## РЕЗУЛЬТАТИ

Використання нечітко-множинних описів і моделювання в умовах невизначеності дозволяє сьогодні звернути увагу на ряд переваг від застосування нечітких формалізмів при вирішенні експертно-аналітичних завдань.

По-перше, нечіткі множини повно описують суб'єктну активність осіб, що приймають рішення. Непевність експерта в оцінці може моделюватися функцією приналежності, носієм якої виступає припустима множина значень аналізованого фактору. Крім цього, особа, що приймає рішення, одержує можливість кількісної інтерпретації ознак, які спочатку були сформульовані якісно, у термінах природної мови.

По-друге, нечіткі множини дозволяють планувати фактори в часі, коли їхня майбутня оцінка ускладнена (розмита, не має достатніх імовірнісних підстав). Таким чином, всі сценарії по тих або інших окремих факторах можуть бути зведені в один загальний сценарій у формі, наприклад, трапецієвидного числа [3, с. 61-62], де виділяються чотири точки (рис. 1):

- 1) мінімально можливе значення фактору:

$$\varphi_1^-(x_d) = \min_m \{a_m\};$$

- 2) найбільш очікувані значення фактору:

$$\varphi_2^-(x_d) = \min_m \{\max_m(a_m), \min_m(b_m)\},$$

$$\varphi_2^+(x_d) = \max_m \{\max_m(a_m), \min_m(b_m)\};$$

- 3) максимально можливе значення фактору:

$$\varphi_1^+(x_d) = \max_m \{b_m\}.$$

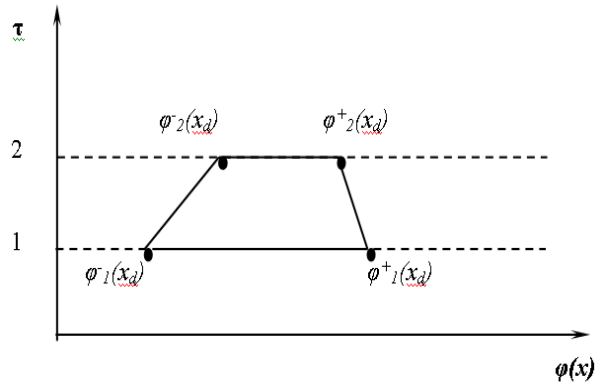


Рис. 1. Інтегральні оцінки у вигляді трапецієподібного нечіткого числа

При цьому ваги окремих сценаріїв у структурі зведеного сценарію визначаються як трапецієвидна функція приналежності рівня фактора нечіткій множині, а  $\tau_i$  – ваговий коефіцієнт пріоритету інтегральної оцінки  $i$ -го ступеня впевненості.

Застосування нечітко-множинних описів створює платформу для інтеграції принципово різномірних знань у рамках однієї аналітичної моделі. Це обумовлено тим, що дослідник може в межах однієї моделі формалізувати і особливості досліджуваного об'єкта, і пізнавальні особливості пов'язаних із цим об'єктом суб'єктів (менеджера, аналітика), створюючи експертну модель у структурі узагальненої аналітичної моделі.

Оскільки при моделюванні випадкових процесів не обійтися без імовірнісних розподілів, існує можливість синтезу імовірнісних і нечітко-множинних описів, яка може бути реалізована у вигляді імовірнісних розподілів з нечіткими параметрами. При такому підході трикутні параметри розподілу встановлюються на основі процедури визначення ступеня правдоподібності.

Виникає реальна можливість одержати принципово новий метод комплексного аналізу, заснований на ув'язуванні ряду окремих показників у єдиний комплексний показник стану досліджуваного об'єкта (системи).

Нечіткі множини надають можливість від-  
 витися й від сценарного моделювання при  
 вирішенні експертно-аналітичних завдань. Пе-  
 редбачається, що всі можливі сценарії розвитку  
 подій, що відображаються у входних парамет-  
 рах моделі (наприклад, рівень витрат, дохід,  
 фактор дисконтування й ін.) враховані у відпо-  
 відних нечітких оцінках, а ваги входження від-  
 повідного сценарію в повну групу характери-  
 зуються функцією приналежності відповідного  
 трапецієподібного нечіткого числа.

Загальнозживаними функціями у випадку  
 трапецієподібного нечіткого числа є трапеціє-  
 подібні функції приналежності. Верхня границя  
 трапеції відповідає повній упевненості експерта  
 в правильності своєї класифікації і функція  
 приналежності  $\mu(x)$  у цій зоні приймає значення  
 рівне 1. Нижня границя трапеції відповідає  
 упевненості в тім, що ніякі інші значення ін-  
 тервалу (0, 1) не попадають в обрану нечітку  
 підмножину (рис. 2). Функція приналежності  
 $\mu(x)$  у цій зоні приймає значення рівне 0.

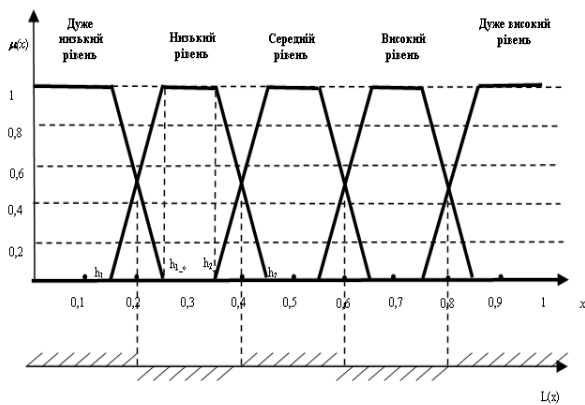


Рис. 2. П'ятирівневий класифікатор станів  
 параметра і лінгвістична шкала

Вузлові точки класифікації (див. рис. 2) мо-  
 жна визначити за принципом:

$$\alpha = \left\{ \begin{array}{l} \frac{h_{i1} + h_{i2} + 2 \frac{h_{i1\_o} + h_{i2\_o}}{2}}{3} = \\ = \frac{h_{i1} + h_{i2} + 2h_{i1\_o} + 2h_{i2\_o}}{6} \end{array} \right\},$$

де  $h_{i1\_o}, h_{i2\_o}$  – абсциси максимумів відповід-  
 них  $i$ -тих функцій приналежності на  $[0, 1]$ -носії;  
 $h_{i1}, h_{i2}$  – абсциси мінімумів відповідних  
 $i$ -тих функцій приналежності на  $[0, 1]$ -носії.

Результати обчислень дозволяють отримати  
 множину вузлових точок  $\alpha_j = (0.1, 0.3, 0.5, 0.7,$

$0.9)$ , які також є абсцисами максимумів відпо-  
 відних функцій приналежності на  $[0, 1]$ -носії.

На п'ятирівневому класифікаторі можливо,  
 наприклад, реконструювати результуюче нечіт-  
 ке число  $NPV$  шляхом апроксимації (заміни)  
 його функції приналежності  $\mu_{NPV}$  ламаною кри-  
 вою по інтервальних точках. У результаті такої  
 реконструкції експертам надається можливість  
 одержати висновок, що чиста поточна вартість  
 проекту перебуває в тому або іншому інтервалі  
 значень, який може бути визначений лінгвісти-  
 чними змінними [Дуже низький рівень, Низький  
 рівень, Середній рівень, Високий рівень, Дуже  
 високий рівень] (рис. 3). Така класифікація до-  
 зволяє виділити інтервал неприйнятних значень  
 результуючого нечіткого числа  $NPV$ .

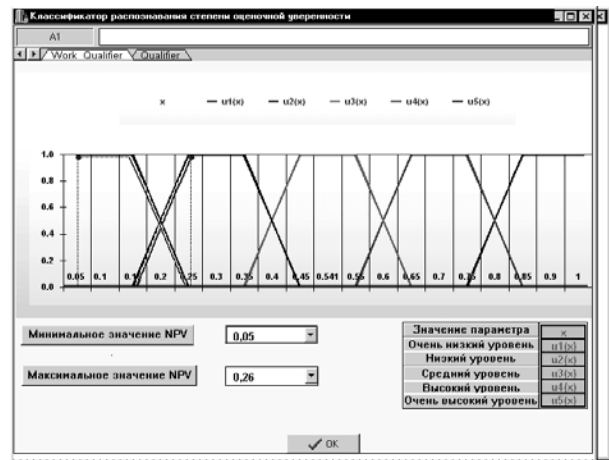


Рис. 3. Реконструйоване результуюче нечітке  
 число  $NPV$

Матричний метод агрегування даних на ос-  
 нові нечіткого класифікатора дозволяє перехо-  
 дити від кількісних і якісних значень окремих  
 факторів до єдиного комплексного показника  
 стану системи і відповідного ступеня ризику.  
 Можна, наприклад, скористатися матричною  
 схемою для побудови методів експертно-  
 аналітичної оцінки якісного рівня цінних папе-  
 рів – рейтингу облігацій, скорінгу акцій.

Суть матричних методів агрегування даних  
 на основі нечіткого класифікатора полягає в  
 тім, що будується матриця, де по рядках розта-  
 шовуються окремі *кількісні* показники, які ха-  
 рактеризують різні сторони системи, а по стов-  
 пцях розташовуються *якісні* рівні даних пока-  
 зників, виражені природною мовою (наприклад,  
 «низький», «середній», «високий»). На перети-  
 нанні рядків і стовпців розташовується ступінь  
 приналежності поточного кількісного рівня  
 критерію якісній підмножині, що обмірювана  
 певним чином.

Співвідношення імовірнісних, нечітко-множинних та експертних описів стосовно до ефективності вирішення експертно-аналітичних завдань доводить, що в міру посилення інформаційної невизначеності класичні імовірнісні описи поступаються місцем, з одного боку, суб'єктивним ймовірностям, заснованим на експертній оцінці, а, з іншого боку, ймовірностям, визначеним не кількісно, а якісно (приблизно). При цьому точкові оцінки імовірнісних розподілів для експертних методів будуть замінюватися інтервальними оцінками, а для методів теорії нечітких множин – трикутно-нечіткими оцінками.

Якщо потік вихідних даних математичної моделі можливо спостерігати як статистику, то можна досліджувати цю статистику на основі імовірнісних моделей. Але, якщо статистики нема, то в експерта з'являється необхідність урахувати інформаційну невизначеність із застосуванням нечітких формалізмів. Величезна кількість інформації з експертно-аналітичної оцінки систем міститься у важко формалізованих інтуїтивних перевагах особи, що приймає рішення. Якщо ці переваги і допущення обумовити через вербальну (усну) форму, вони відразу ж можуть одержати кількісну оцінку на базі формалізмів теорії нечітких множин і скласти відособлений блок первинної інформації (експертну модель). Таким чином, експерт має можливість вирішити поставлену задачу шляхом заміщення кількісних ймовірностей якісними (лінгвістичними в значенні Л. Заде [2, с. 14]) і шляхом розпізнавання стану досліджуваних систем з використанням нечітких класифікаторів. У цих випадках ключовим модельним формалізмом є функція приналежності нечіткої підмножини лінгвістичній змінній, заданій на відповідному речовинному носії.

Комплексний аналіз в рамках однієї експертно-аналітичної моделі на основі так званих матричних методів може об'єднувати якісні й кількісні оцінки рівня досліджуваних показників. Нечіткі описи в структурі експертно-аналітичної моделі з'являються у зв'язку з непевністю експерта, що виникає в ході класифікації рівня факторів.

Інформація такої експертно-аналітичної моделі породжує інформаційну ситуацію щодо рівня вхідної невизначеності моделі системи. Вона виступає як фільтр для первинних оцінок факторів, перетворюючи їх з ряду спостережень у функції приналежності відповідного носія тим або іншим нечітко описаним станам рівня факторів. Тому від нечіткої оцінки вхідних параметрів після ряду перетворень є мож-

ливість перейти до єдиного комплексного показника стану досліджуваної системи, що забезпечить оптимізацію прийняття рішень і підвищить їх обґрунтованість.

## ВИСНОВКИ

Застосування теорії нечітких множин для вирішення експертно-аналітичних завдань дозволяє одержати принципово нові моделі й методи. При цьому евристичний характер використовуваних прийомів моделювання експертної активності не свідчить проти цих прийомів, але встановлює границю наукового дослідження, що може відсуватися в міру одержання нової ринкової інформації, а сама модель – уточнюватися.

Дослідження стану теорії нечітких множин показує, що вже створено всі необхідні формалізми для моделювання експертно-аналітичних систем, однак нинішній рівень модельних подань відстає від запитів практики.

Оскільки для експертно-аналітичних систем модель предметної області є направленою системою, що визначає відображення вхідних параметрів у вихідні, то застосування нечітко-множинних описів дозволяє одержати принципово нові знання на виході моделі у відповідності до особливостей змодельованої предметної області. При цьому можливо здійснити обґрунтований перехід від класичних імовірнісних моделей і експертних оцінок до нечітко-множинних описів. Так, класичний імовірнісний розподіл у моделі може бути заміщено імовірнісним розподілом з нечіткими параметрами, а сукупність експертних оцінок може бути інтерпретована набором функцій приналежності, що утворюють нечіткий класифікатор.

## БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бочарников, В. П. Fuzzy Technology: основы моделирования и решения экспертно-аналитических задач [Текст] / В. П. Бочарников, С. В. Свешников. – К.: Эльга, Ника-центр, 2003. – 296 с.
2. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст] / Л. Заде [пер. с англ.] – М.: Прогресс, 1976.
3. Ковальчук, К. Ф. Оцінка ефективності інформаційно-інтелектуальних технологій [Текст] : монографія / К. Ф. Ковальчук, Л. М. Савчук, Л. М. Бандоріна. – Д.: ІМА-прес, 2007. – 132 с.

Надійшла до редколегії 18.03.2009.

Прийнята до друку 26.03.2009.