

**Моделювання системи підтримки прийняття рішень
щодо оцінювання ефективності інвестиційних проектів
на основі нечіткої логіки**

У даній статті проведено моделювання системи підтримки прийняття рішень щодо оцінювання множини інвестиційних рішень на основі використання системи переваг інвестора. Розроблено модель оцінювання змішаних вхідних показників на основі апарату нечітких множин та запропоновано здійснювати оптимізацію побудованої системи на базі генетичних алгоритмів.

Постановка проблеми. Високі темпи економічного зростання добробуту України можливі як наслідок інвестиційної активності. Інвестиції в економіку мають перевищувати темпи збільшення ВВП, забезпечуючи належний рівень капіталомісткості. Для цього необхідно створити належний інвестиційний клімат та підготувати науково-практичну базу щодо оцінювання ефективності інвестиційних проектів. Прийняття рішення (ПР) у більшості випадків полягає в генерації можливих варіантів рішень, їх оцінюванні та виборі найкращого. Поняття “кращого варіанта рішення” є досить неоднозначним і може бути об’єктивно оцінене лише з точки зору максимального сприяння досягненню мети функціонування системи. Інвестор повинен обрати із запропонованої множини проектів той, що задовольнить його в розрізі прибутковості та в ступені ризикованості щодо можливих втрат. Але суперечливість вимог, неоднозначність оцінювання ситуації, похибки в обранні пріоритетів суттєво ускладнюють прийняття рішень. Таким чином, проблема оцінювання ефективності інвестиційних проектів є надзвичайно актуальною та потребує детального вивчення. Одним із можливих підходів до вирішення цієї проблеми є розроблення відповідної системи підтримки прийняття рішень (СППР), яка дозволить особі що приймає рішення (ОПР), безпомилково обрати найкращий варіант інвестиційного проекту.

Останні дослідження. Серед вітчизняних дослідників шляхів покращання інвестиційних умов можна виокремити А. Гальчинського, С. Львовичкіна, М. Бутка, О.В. Мороза та ін.

Питаннями ефективного використання апарату нечітких множин та генетичних алгоритмів в економіці займались О.П. Ротштейн, С.В. Юхимчук, Р.Н. Кветний, С.В. Козловський та ін.

Існуючі моделі оцінювання інвестиційних проектів (ІП), що побудовані в основному на використанні статистичних даних, є занадто трудомісткими і складними, а також враховуючи необхідність оцінювання як якісних, так і кількісних параметрів та

Азарова Анжеліка Олексіївна, кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи Інституту менеджменту Вінницького національного технічного університету; Бершов Дмитро Миколайович, аспірант Вінницького національного технічного університету, економіст приватного малого науково-виробничого інноваційного підприємства „Струм”.

відсутність повної множини аналітичних залежностей, що описують зв'язок вхідних змінних із вихідними, можна зробити висновок про непридатність класичних методів оцінювання ІП.

Постановка задачі. Необхідно побудувати СППР щодо оцінювання варіантів інвестиційних рішень на основі використання системи переваг ОПР та обмежень середовища.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставленої задачі застосовується апарат теорії нечітких множин, який дозволяє формалізувати природні причинно-наслідкові зв'язки та вирішити вищезокреслені проблеми. Першим кроком до побудови математичної моделі економічного процесу є складання структурної моделі процесу інвестування (рис. 1) [1].

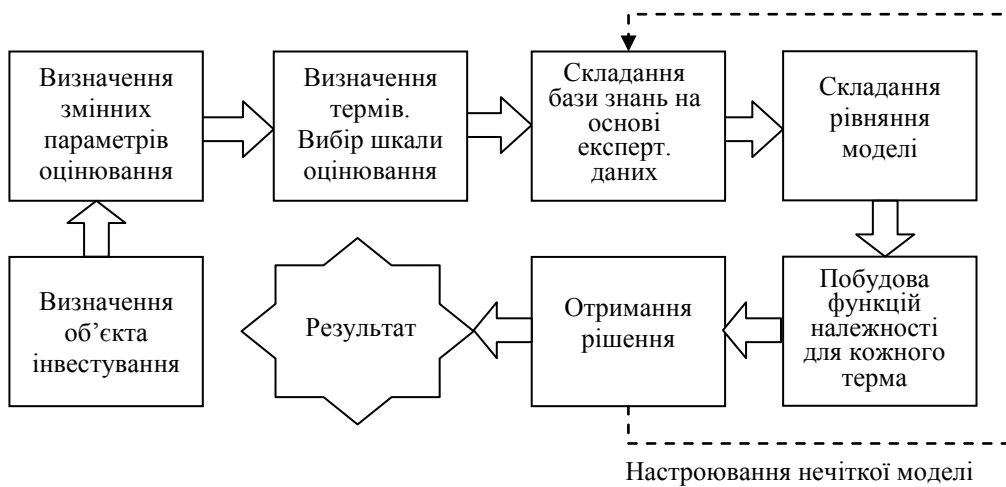


Рисунок 1 – Структурна модель процесу інвестування

Структура дерева логічного висновку для побудови СППР схематично представлена на рисунку 2.

З даного рисунка видно, що параметри $Z_1^* - Z_{25}^*$ – є вхідними параметрами моделі, що наведені нижче у таблиці 1.

Вхідні параметри підлягають узагальненню шляхом їх зведення та підстановки у відповідні рівняння.

З метою своєчасного виявлення тенденцій формування незадовільної структури балансу у прибутково працюючого суб'єкта підприємницької діяльності і вжиття випереджувальних заходів, спрямованих на запобігання банкрутству, проводиться системний експрес-аналіз фінансового стану підприємства за допомогою коефіцієнтів Бівера, моделі Альтмана, Ліса і Таффлера.

Так, початкові параметри $Z_1^* - Z_4^*$ використовуються для розрахунку показника Z_1 – коефіцієнта Бівера.

Початкові показники $Z_5^* - Z_{14}^*$ використовуються для розрахунку показника Z_2 , що розраховується за моделлю Альтмана.

Початкові показники $Z_6^*, Z_7^*, Z_9^*, Z_{10}^*, Z_{12}^*, Z_{13}^*$ використовуються для розрахунку показника Z_3 , що розраховується за моделлю Ліса.

Початкові показники Z_4^* , Z_6^* , Z_{11}^* , Z_{13}^* , Z_{14}^* , Z_{15}^* використовуються для розрахунку показника Z_3 , що розраховується за моделлю Таффлера.

Для оцінки співвідношення ризик-прибутковості використовуються початкові показники Z_{16}^* – очікувана доходність та Z_{17}^* – коефіцієнт ризику.

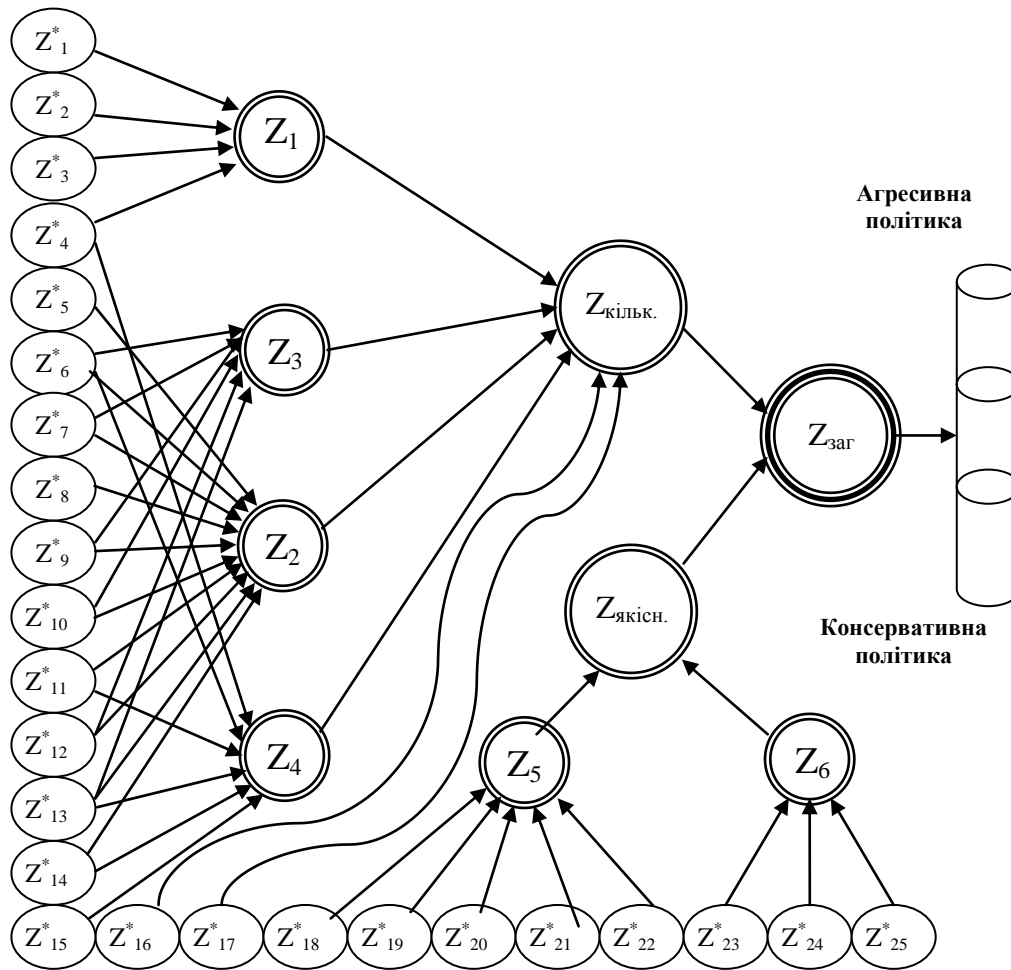


Рисунок 2 – Структура дерева логічного висновку для побудови СППР

Таблиця 1 – Вхідні параметри моделі

Параметр	Назва
1	2
Z_1^*	Чистий прибуток
Z_2^*	Амортизація
Z_3^*	Довгострокова заборгованість

1	2
Z ₄ *	Поточні зобов'язання
Z ₅ *	Власний оборотний капітал
Z ₆ *	Валюта балансу
Z ₇ *	Нерозподілений прибуток
Z ₈ *	Фінансові результати від звичайної діяльності до оподаткування
Z ₉ *	Власний капітал
Z ₁₀ *	Залучений капітал
Z ₁₁ *	Чистий дохід (виручка) від реалізації
Z ₁₂ *	Чистий оборотний капітал
Z ₁₃ *	Валовий прибуток
Z ₁₄ *	Оборотні активи
Z ₁₅ *	Сума зобов'язань
Z ₁₆ *	Очікувана доходність
Z ₁₇ *	Коефіцієнт ризику
Z ₁₈ *	Рівень спеціальних знань і компетентність керівництва
Z ₁₉ *	Досвід роботи на ринку
Z ₂₀ *	Середньоспискова чисельність персоналу підприємства
Z ₂₁ *	Загальна кількість прибулих за звітний період
Z ₂₂ *	Загальна кількість вибулих за звітний період
Z ₂₃ *	Наявність правопорушень, судимостей керівництва фірми
Z ₂₄ *	Точність виконання укладених раніше договорів
Z ₂₅ *	Повнота та коректність наданих у банк фінансових звітів

У таблиці 2 наведемо терми, які використовуються для лінгвістичної оцінки цих змінних, та їх діапазон.

Таблиця 2 – Терми лінгвістичної оцінки змінних та їх діапазон

Параметри	Назва	Діапазон зміни	Терм
1	2	3	4
Z ₁	Коефіцієнт Бівера	до 0,2 0,21-0,4 0,41 і більше	Високий Середній Низький
Z ₂	Модель Альтмана	до 1,8 1,8-2,99 3,0 і більше	Високий Середній Низький
Z ₃	Модель Ліса	до 0,037 0,038-0,057 0,058 і більше	Високий Середній Низький
Z ₄	Модель Таффлера	до 0,2 0,21-2,99 3,0 і більше	Високий Середній Низький

1	2	3	4
Z_{16}^*	Очікувана доходність	0,426 і більше 0,126-0,425 до 0,125	Високий Середній Низький
Z_{17}^*	Коефіцієнт ризику	0,61 і більше 0,21-0,6 До 0,2	Високий Середній Низький

Таким чином, для оцінювальних параметрів Z_1-Z_4 та Z_{16}^* і Z_{17}^* будемо використовувати єдину шкалу лінгвістичних термів: В – високий, С – середній, Н – низький.

Побудуємо графік функцій належності даних змінних (рис. 3).

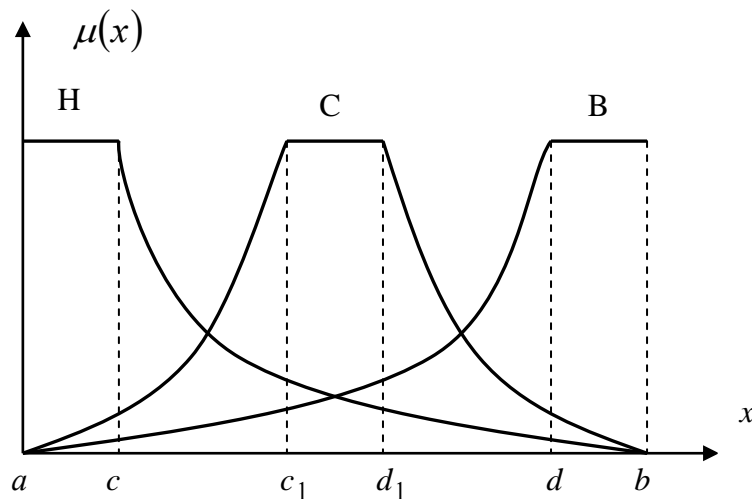


Рисунок 3 – Функції належності трьох нечітких термів для кількісних параметрів Z_1-Z_4 та Z_{16}^* , Z_{17}^*

Особливість обраних кількісних параметрів полягає в тому, що при зміні цих параметрів в певному проміжку значення функції не змінюється, а за межами цього проміжку існує нелінійна залежність. У цих функціях візьмемо маємо $k=1,25$, який наближує їх до функціональних залежностей, обраних на базі реальних даних та експертних оцінок.

Визначимо математичні вирази, що описують функції належності параметрів:

$$\mu^H(x) = \begin{cases} 1, & x \in [a, c); \\ \left(\frac{b-x}{b-c}\right)^{1,25}, & x \in [c, b], \end{cases}$$

$$\mu^c(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-a}{c_1-a}\right)^{1,25}, & x \in [a, c_1]; \\ 1, & x \in (c_1, d_1); \\ \left(\frac{b-x}{b-d_1}\right)^{1,25}, & x \in [d_1, b]. \end{cases}$$

$$\mu^e(x) = \begin{cases} \left(\frac{x-a}{d-a}\right)^{1,25}, & x \in [a, d]. \\ 1, & x \in (d, b), \end{cases}$$

Складемо матрицю знань (табл. 3) для комплексних коефіцієнтів Z_1 - Z_4 та початкових показників Z_{16}^* і Z_{17}^* і отримання узагальненого кількісного показника $Z_{\text{кільк}}$.

Таблиця 3 – Матриця знань для кількісних показників Z_1, \dots, Z_4 та Z_{16}^*, Z_{17}^*

Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_{16}^*	Z_{17}^*	$Z_{\text{кільк}}$
Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
Н	С	Н	С	Н	Н	
Н	Н	С	Н	С	Н	
Н	Н	Н	С	Н	Н	
Н	С	Н	Н	С	Н	
Н	С	Н	С	Н	Н	
С	С	Н	С	С	С	С
С	В	С	В	С	С	
С	С	С	С	В	С	
С	С	С	В	С	С	
С	В	С	С	В	С	
С	В	С	В	С	С	
С	В	С	В	С	В	В
С	С	В	В	В	С	
В	В	С	С	С	В	
В	С	В	С	В	С	
В	С	В	В	С	В	
В	В	В	В	В	В	

Початкові показники Z_{18}^* - Z_{22}^* використовуються для розрахунку показника Z_5 – рівень професіоналізму.

Початкові показники Z_{23}^* - Z_{25}^* використовуються для розрахунку показника Z_6 – порядність об'єкта.

Оскільки показники Z_5 та Z_6 є якісними, то для їх формалізації використовується апарат нечітких множин і в результаті одержуємо узагальнений якісний показник $Z_{\text{якісн}}$.

Побудуємо графіки функцій належності значень якісних параметрів Z_5 , Z_6 лінгвістичним термам у загальному вигляді (рис. 4).

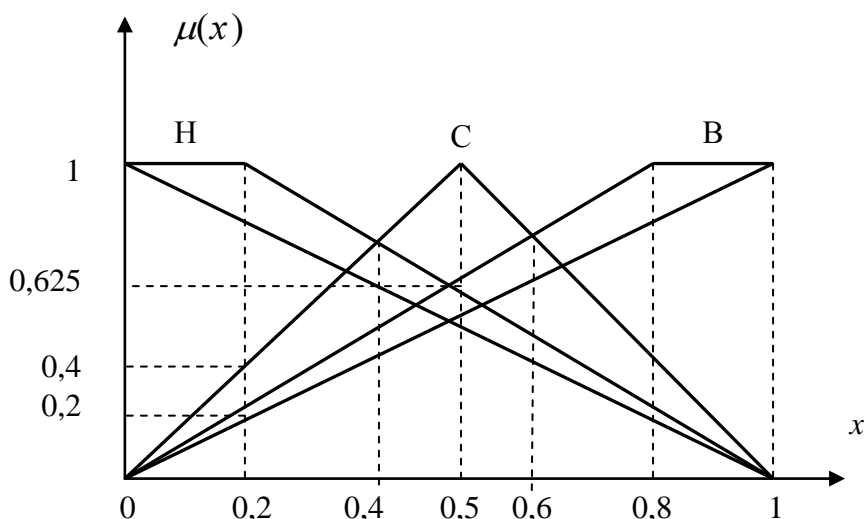


Рисунок 4 – Функції належності якісних параметрів

Значення коефіцієнтів меж k_n, k_g , запропонованих в статті, автори пропонують взяти такими, як зазначено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Значення коефіцієнтів k_n, k_g

Терм	Коефіцієнт	
	k_n	k_g
Низький	0	0,4
Середній	0,4	0,6
Високий	0,6	1,0

Визначимо математичні вирази, що описують функції належності якісних параметрів Z_5, Z_6 .

Виходячи з графіків функцій, значення будемо визначати таким чином. Якщо якісний параметр характеризується термом “низький”, то значення функцій належності визначають при $x=0,2$. При цьому $\mu^H(0,2) = 1$; $\mu^C(0,2) = 0,4$; $\mu^B(0,2) = 0,25$. Якщо якісний параметр описується термом “середній”, то $\mu^C(0,5) = 1$; $\mu^H(0,5) = \mu^B(0,5) = 0,625$. А для терма “високий” – $\mu^B(0,8) = 0,25$; $\mu^C(0,8) = 0,4$; $\mu^H(0,8) = 1$.

Розділ 4 Макроекономічні механізми

Ці точні значення функцій належності отримані, виходячи з аналітичних виразів відповідних функцій при $x = 0,2; 0,5; 0,8$. Вся сукупність значень функцій належності зведена до таблиці 5.

Таблиця 5 – Значення функцій належностей

Терм	$\mu^H(x)$	$\mu^C(x)$	$\mu^6(x)$
Низький	1	0,4	0,25
Середній	0,625	1	0,625
Високий	0,25	0,4	1

Складемо матрицю знань якісних характеристик Z_5, Z_6 і матрицю для вибору інвестиційного рішення.

Таблиця 6 – Матриця знань для якісних показників Z_5, Z_6

Z_5	Z_6	$Z_{якісн}$
Н	Н	Н
С	Н	
Н	С	
С	С	С
С	В	
В	С	В
В	В	

Таблиця 7 – Матриця знань для вибору інвестиційного рішення

$Y_{кільк}$	$Y_{якісн}$	R
Н	Н	R_1
Н	С	
С	Н	
С	С	R_2
В	С	
С	В	R_3
В	В	

Опишемо ці матриці знань логічними рівняннями, що пов'язують функції належності змінних $Z_{кільк}, Z_{якісн}$, та R_f .

$$\begin{aligned} \mu^H(Z_{кільк}) &= \mu^H(Z_1) * \mu^H(Z_2) * \mu^H(Z_3) * \mu^H(Z_4) * \mu^H(Z_{16}^*) * \mu^H(Z_{17}^*) \vee \\ &\mu^H(Z_1) * \mu^C(Z_2) * \mu^H(Z_3) * \mu^C(Z_4) * \mu^H(Z_{16}^*) * \mu^H(Z_{17}^*) \vee \\ &\mu^H(Z_1) * \mu^H(Z_2) * \mu^C(Z_3) * \mu^H(Z_4) * \mu^C(Z_{16}^*) * \mu^H(Z_{17}^*) \vee \\ &\mu^H(Z_1) * \mu^H(Z_2) * \mu^H(Z_3) * \mu^C(Z_4) * \mu^H(Z_{16}^*) * \mu^H(Z_{17}^*) \vee \\ &\mu^H(Z_1) * \mu^C(Z_2) * \mu^H(Z_3) * \mu^H(Z_4) * \mu^C(Z_{16}^*) * \mu^H(Z_{17}^*) \vee \\ &\mu^H(Z_1) * \mu^C(Z_2) * \mu^H(Z_3) * \mu^C(Z_4) * \mu^H(Z_{16}^*) * \mu^H(Z_{17}^*) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^c(Z_{\text{кільк}}) &= \mu^c(Z_1) * \mu^c(Z_2) * \mu^h(Z_3) * \mu^c(Z_4) * \mu^c(Z_{16}^*) * \mu^c(Z_{17}^*) \vee \\ \mu^c(Z_1) * \mu^b(Z_2) * \mu^c(Z_3) * \mu^b(Z_4) * \mu^c(Z_{16}^*) * \mu^c(Z_{17}^*) \vee \\ \mu^c(Z_1) * \mu^c(Z_2) * \mu^c(Z_3) * \mu^c(Z_4) * \mu^b(Z_{16}^*) * \mu^c(Z_{17}^*) \vee \\ \mu^c(Z_1) * \mu^c(Z_2) * \mu^c(Z_3) * \mu^b(Z_4) * \mu^c(Z_{16}^*) * \mu^c(Z_{17}^*) \vee \\ \mu^c(Z_1) * \mu^c(Z_2) * \mu^c(Z_3) * \mu^c(Z_4) * \mu^b(Z_{16}^*) * \mu^c(Z_{17}^*) \vee \\ \mu^c(Z_1) * \mu^b(Z_2) * \mu^c(Z_3) * \mu^b(Z_4) * \mu^c(Z_{16}^*) * \mu^c(Z_{17}^*) \vee \\ \mu^b(Z_{\text{кільк}}) &= \mu^c(Z_1) * \mu^b(Z_2) * \mu^c(Z_3) * \mu^b(Z_4) * \mu^c(Z_{16}^*) * \mu^b(Z_{17}^*) \vee \\ \mu^c(Z_1) * \mu^c(Z_2) * \mu^b(Z_3) * \mu^b(Z_4) * \mu^b(Z_{16}^*) * \mu^c(Z_{17}^*) \vee \\ \mu^b(Z_1) * \mu^b(Z_2) * \mu^c(Z_3) * \mu^c(Z_4) * \mu^c(Z_{16}^*) * \mu^b(Z_{17}^*) \vee \\ \mu^b(Z_1) * \mu^c(Z_2) * \mu^b(Z_3) * \mu^c(Z_4) * \mu^b(Z_{16}^*) * \mu^c(Z_{17}^*) \vee \\ \mu^b(Z_1) * \mu^c(Z_2) * \mu^b(Z_3) * \mu^b(Z_4) * \mu^c(Z_{16}^*) * \mu^b(Z_{17}^*) \vee \\ \mu^b(Z_1) * \mu^b(Z_2) * \mu^b(Z_3) * \mu^b(Z_4) * \mu^b(Z_{16}^*) * \mu^b(Z_{17}^*) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^h(Z_{\text{якісн}}) &= \mu^h(Z_5) * \mu^h(Z_6) \vee \mu^c(Z_5) * \mu^h(Z_6) \vee \mu^h(Z_5) * \mu^c(Z_6) \\ \mu^c(Z_{\text{якісн}}) &= \mu^c(Z_5) * \mu^c(Z_6) \vee \mu^c(Z_5) * \mu^b(Z_6) \\ \mu^b(Z_{\text{якісн}}) &= \mu^b(Z_5) * \mu^c(Z_6) \vee \mu^b(Z_5) * \mu^b(Z_6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^{R1}(Z_{\text{заг}}) &= \mu^c(Z_{\text{кільк}}) * \mu^h(Z_{\text{якісн}}) \vee \mu^h(Z_{\text{кільк}}) * \mu^c(Z_{\text{якісн}}) \vee \mu^h(Z_{\text{кільк}}) * \mu^h(Z_{\text{якісн}}) \\ \mu^{R2}(Z_{\text{заг}}) &= \mu^c(Z_{\text{кільк}}) * \mu^b(Z_{\text{якісн}}) \vee \mu^b(Z_{\text{кільк}}) * \mu^c(Z_{\text{якісн}}) \vee \mu^c(Z_{\text{кільк}}) * \mu^c(Z_{\text{якісн}}) \\ \mu^{R3}(Z_{\text{заг}}) &= \mu^b(Z_{\text{кільк}}) * \mu^b(Z_{\text{якісн}}) \end{aligned}$$

Таким чином, останнім етапом є одержання розв'язку у вигляді показника $Z_{\text{заг}}$ та відповідно автори пропонують віднести оцінюваний ІП до певної групи стратегій R:

R_1 – ІП належить до портфеля з агресивною інвестиційною політикою (ймовірність одержання прибутку нижче середнього, а рівень очікуваного прибутку вищий за середній рівень, що склався у даній галузі);

R_2 – ІП належить до портфеля з помірною інвестиційною політикою (ймовірність одержання прибутку на рівні середнього значення, як і рівень очікуваного прибутку);

R_3 – ІП належить до портфеля з консервативною інвестиційною політикою (ймовірність одержання прибутку вища середнього, а рівень очікуваного прибутку нижчий за середній рівень, що склався у даній галузі).

Отже, результируючою інвестиційною політикою для портфеля буде та, при якій функція належності набуває максимального значення.

$$\mu^{\text{RES}} = \max \{ \mu^{\text{Rf}} \}.$$

Дана модель була апробована на матеріалах кількох вітчизняних фінансових установ. У результаті такої апробації автори отримали підтвердження ефективності запропонованої моделі. Адекватність було засвідчено шляхом порівняння результатів сортування портфелів за існуючими в банківській практиці методиками та запропованою СППР на базі нечітких множин. Потужний експериментальний матеріал дозволив виявити відхилення змодельованих показників від реальних, тому автори дійшли висновку необхідності проведення налагодження моделі – оптимізацію функцій належності параметрів моделі.

Для оптимізації параметрів моделі пропонується використовувати генетичні алгоритми як найбільш ефективний метод оптимізації. Генетичні алгоритми – це

Розділ 4 Макроекономічні механізми

аналітичні технології, що дозволяють розв'язувати задачі прогнозування, класифікації, пошуку оптимальних варіантів; особливо ефективні в тих випадках, коли розв'язання задачі ґрунтується на інтуїції або досвіді, а не на строгому, у математичному розумінні, описі залежностей.

Висновок. Таким чином, побудована СППР щодо оцінювання ефективності інвестиційних проектів на основі нечіткої логіки дозволяє проводити більш точне оцінювання якості проекту, платоспроможності об'єкта інвестування, а також визначення ризику окремого ІП. Використовуючи розроблену систему, можна отримати оптимальний ІП для бажаного рівня прибутку при мінімальному ризику. Дана СППР побудована на сучасних визнаних науковим світом економічних постулатах, що дозволило отримати максимально адаптовану систему до реального середовища, яка може бути використана фінансовими аналітиками і економістами на сучасному етапі розвитку економіки України.

- 1 Кветний Р.Н. Козловський С.В. Математичне моделювання стану валютного ринку на основі нечіткої логіки//Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2001. – № 2. – С. 47-58.
- 2 Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 320 с.
- 3 Козловський С.В. Прогнозування валютного курсу в Україні на основі нечіткої логіки//Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 3. – С. 47-58.
- 4 Азарова А.О., Бершов Д.М. Побудова СППР для оцінювання привабливості інвестиційного проекту на базі апарату нечіткої логіки//Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4, Т.1 (Ч.2). – С. 174-178.
- 5 Азарова А.О., Бершов Д.М. Розробка систем підтримки прийняття рішень щодо оцінки привабливості інвестиційних проектів//Вісник ЖДТУ. Економічні науки. – 2004. – № 4 (30). – С. 300-305.

Отримано 10.02.2006 р.

А.А. Азарова, Д.Н. Бершов

Моделирование системы поддержки принятия решения

для оценки эффективности инвестиционных проектов на базе нечеткой логики

В данной статье выполнено моделирование системы поддержки принятия решения для оценки большого количества инвестиционных проектов на основе использования системы преимуществ инвестора. Разработано модель оценки смешанных входящих показателей на базе аппарата нечетких множеств и предложено выполнить оптимизацию построенной системы на базе генетических алгоритмов.