

УДК 330.322(045)

Тернавська О. С.
Національний авіаційний університет, Київ

НЕЧІТКІ ПІДХОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

В статті аналізується необхідність використання нечітких підходів в умовах невизначеності вхідної інформації при моделюванні інвестиційних процесів. Запропонована модель нечіткої моделі оцінювання інвестиційного клімату держави чи регіону, яка враховує той факт, що вхідна інформація є наближеною.

Інвестиції є одним із найважливіших чинників зростання економіки. Тому для забезпечення економічного зростання держави чи регіону необхідно стимулювати інвестиційні процеси та вдосконалювати управління інвестиційною діяльністю в межах цих господарських одиниць.

Використання різних методик дозволить точно оцінити інвестиційний клімат держави чи регіону лише за умови достовірності і повноти первинної інформації про стан об'єкта дослідження. Однак виконати ці умови практично неможливо. Причин такого стану справ декілька. Однією з головних серед цих причин є суб'єктивність експертної інформації. Досить часто експерти згладжують чи стискають реальне розсіювання регіональних характеристик. Не вся статистична інформація є повною і достовірною. Крім суб'єктивності експертної інформації, використання її для оцінювання інвестиційного клімату держави чи регіону має й інші недоліки. Зокрема, недоліком цього оцінювання групою експертів є слабка формалізація цього процесу. Поліпшити достовірність статистичної інформації про інвестиційний клімат об'єкта дослідження можна за допомогою розширення статистичної бази, збільшення кількості та періодичності статистичних обстежень, впровадження сучасних інформаційних технологій, але остаточно вирішити цю проблему неможливо. Тому для оцінювання рівня інвестиційної привабливості держави чи регіону необхідні такі методи і моделі, які б менше базувалися на математичній строгості й точності, а були спрямовані на одержання якісних і наближених розв'язків поставлених завдань. Вказані методи і моделі можна розробити, використавши для цього теорію нечітких множин і нечіткої математики.

Постановка завдання. Очевидно, що застосування точних алгоритмів до вирішення будь-якого завдання, зокрема оцінювання інвестиційного клімату держави чи регіону, при використанні наближених вхідних даних не може приве-

сти до точного результату. Для обробки такої інформації досить нечітких (розмитих) алгоритмів, які побудовані з використанням теорії нечіткої логіки. Застосування цієї теорії при вирішенні певних проблем ще не означає прийняття лише наближених рішень. Практика показала, що, налагоджуючи нечітку базу знань, можна досягти точності моделювання, яка не поступається строгим кількісним співвідношенням.

Метою даної роботи є розробка нечіткої моделі оцінювання інвестиційного клімату держави чи регіону, які враховують той факт, що вхідна інформація є наближеною. Для побудови таких моделей скористаємось теорією нечіткої логіки, яка дозволяє формалізувати притаманні цьому процесу властивості суб'єктивності й невизначеності.

Спосіб оцінки ризику інвестицій прямо пов'язаний зі способом опису інформаційної невизначеності в частині вихідних даних проекту. Якщо вихідні параметри мають імовірнісний характер, то показники ефективності інвестицій також мають вигляд випадкових величин зі своїм імплікативним імовірнісним розподілом.

Інструментом, який дозволяє вимірювати можливості (очікування), є теорія нечітких множин. Вперше ми знаходимо її застосування до інвестиційного аналізу. Використовуючи запропонований у цій роботі підхід, побудуємо метод оцінки інвестиційного ризику, як на стадії проекту, так і в ході інвестиційного процесу.

У літературі з інвестиційного аналізу добре відома формула чистої сучасної цінності інвестицій (NPV - Net Present Value). Візьмемо один важливий окремий випадок оцінки NPV, який і будемо використовувати надалі розгляди:

- всі інвестиційні надходження припадають на початок інвестиційного процесу.
- оцінка ліквідаційної вартості проекту проводиться *post factum*, після закінчення терміну життя проекту.

Тоді співвідношення для NPV має такий вигляд:

$$NPV = -I + \sum_{i=1}^N \frac{DV_i}{(1+r_i)^i} + \frac{C}{(1+r_{N+1})^{N+1}}, \quad (1)$$

де I – стартовий обсяг інвестицій, N – кількість планових інтервалів (періодів) інвестиційного процесу, відповідних терміну життя проекту, V_i – оборотне сальдо надходжень і платежів до i -го періоду, r_i – ставка дисконтування, обрана для i -го періоду з урахуванням оцінок очікуваної вартості використовуваного в проекті капіталу (наприклад, Очікувана ставка за довгостроковими кредитами), C – ліквідаційна вартість чистих активів, яка склалася в ході інвестиційного процесу (в тому числі залишкова вартість основних засобів на балансі підприємства).

Інвестиційний проект визнається ефективним, коли NPV, оцінена за (1.1), більше проектного рівня G (в найпоширенішому випадку $G = 0$).

Зауваження.

- NPV оцінюється за формулою (1) в постійних (реальних) цінах.
- Ставка дисконтування планується такий, що період нарахувань відсотків на залучений капітал співпадає з відповідним періодом інвестиційного процесу.
- $(N-1)$ -ий інтервал не відноситься до терміну життя проекту, а виділений в моделі для фіксації моменту завершення грошових взаєморозрахунків всіх сторін в інвестиційному процесі (інвесторів, кредиторів та дебіторів) за кредитами, депозитами, дивідендів тощо, коли підсумковий фінансовий результат проекту стане однозначним.

Якщо всі параметри в (1.1) мають «розмитість», тобто їх точне плановане значення невідомо, тоді як вихідних даних доречно використовувати трикутні нечіткі числа з функцією належності наступного виду (рис. 1). Ці числа моделюють висловлювання наступного виду: «Параметр A приблизно дорівнює і однозначно перебуває в діапазоні $[a_{\min}, a_{\max}]$ ».

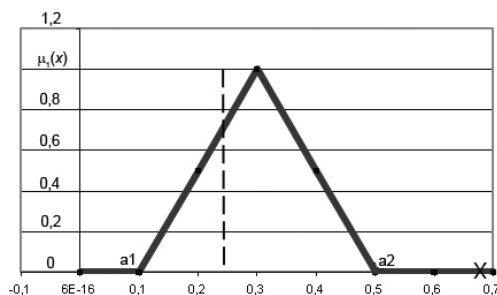


Рис. 1. Трикутне число

Отриманий опис дозволяє розробнику інвестиційного проекту взяти в якості вихідної інформації інтервал параметра $[a_{\min}, a_{\max}]$ і найбільш очікуване значення, і тоді відповідну трикутне число $\underline{A} = (a_{\min}, \bar{a}, a_{\max})$ побудовано. Далі будемо називати параметри (a_{\min}, a_{\max}) значущими точками трикутного нечіткого числа. Взагалі кажучи, виділення трьох значущих точок вихідних даних досить поширене в інвестиційному аналізі. Часто цим точкам зіставляються суб'єктивні ймовірності реалізації відповідних («песимістичного», «нормального» і «оптимістичного») сценаріїв вихідних даних.

Ми можемо задатися наступним набором нечітких чисел для аналізу ефективності проекту:

$\underline{I} = (I_{\min}, \bar{I}, I_{\max})$ – інвестор не може точно оцінити, яким обсягом інвестиційних ресурсів він матиме в своєму розпорядженні на момент прийняття рішення;

$\underline{r_i} = (r_{i \min}, \bar{r}_i, r_{i \max})$ – інвестор не може точно оцінити вартість капіталу, що використовується в проекті (наприклад, співвідношення власних і позикових коштів, а також відсоток за довгостроковими кредитами);

$\underline{\Delta V_i} = (V_{\min}, \bar{\Delta V}_i, V_{\max})$ – інвестор прогнозує діапазон зміни грошових результатів реалізації проекту з урахуванням можливих коливань цін на реалізовану продукцію, вартості споживаних ресурсів, умов оподаткування, впливу інших факторів;

$\underline{C} = (C_{\min}, \bar{C}, C_{\max})$ – інвестор нечітко уявляє собі потенційні умови майбутнього продажу діючого бізнесу або його ліквідації;

$\underline{G} = (G_{\min}, \bar{G}, G_{\max})$ – інвестор нечітко уявляє собі критерій, за яким проект може бути визнаний ефективним, або не до кінця віддає собі звіт у тому, що можна буде розуміти під «ефективністю» на момент завершення інвестиційного процесу.

Для побудови моделей оцінювання інвестиційного клімату, які враховують той факт, що вхідна інформація є наближеною, користуються теорією нечіткої логіки, яка дозволяє формалізувати притаманні цьому процесу властивості суб'єктивності й невизначеності.

На противагу класичній (чіткій) теорії множин, в якій будь-який елемент належить або не належить множині, в теорії нечітких множин елемент може належати множині на половину, на чверть, на шістнадцять відсотків тощо. Тобто, вводиться функція належності $\mu(x)$, яка для чіткої множини може приймати тільки два значення

– нуль чи один, а для нечіткої – довільне значення із відрізка $[0, 1]$. Нечітку множину \tilde{A} визначають як сукупність пар виду

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)), x \in X\} \quad (2)$$

де X – універсальна множина (базова шкала), $\mu_{\tilde{A}}(x)$ – функція належності множини \tilde{A} .

Функція належності визначає суб'єктивну міру впевненості експерта у тому, що задане конкретне значення базової шкали відповідає нечіткій множині. Міру належності не можна отожднювати з імовірністю, тому що невідома функція розподілу, не має повторюваності експериментів. Значення цієї функції можуть бути знайдені тільки за допомогою опитування експертів, їхнього досвіду та інтуїції. Функція належності може бути дискретною чи неперервною. Серед нечітких множин з неперервними функціями належності найбільш поширеними в практичному використанні є нечіткі числа.

Нечітким числом називають нечітку множину \tilde{A} , визначену на множині дійсних чисел \mathbf{R} (універсальна множина $X=\mathbf{R}$), функція належності якої випукла і нормалізована, тобто

$$x \leq y \leq z \Rightarrow \mu_{\tilde{A}}(y) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x) * \mu_{\tilde{A}}(z))$$

$$\text{і } \sup_{x \in \mathbf{R}} \mu_{\tilde{A}}(x) = 1. \quad (3)$$

На практиці для зображення нечітких чисел найчастіше використовують функції належності трикутного чи трапецієподібного типу, а також квазідзвоноподібну функцію належності нечіткого параметра q , яка має вигляд:

$$\mu_q(q) = 1 / (1 + ((q - b) / c)^2) \quad (4)$$

де c – коефіцієнт концентрації-розтягування функції;

b – координата максимуму функції належності ($\mu_q(b) = 1$).

Позначимо через $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ – показники (кількісні і якісні), які визначають інвестиційний клімат держави чи регіону. Тоді наше завдання буде полягати в пошуку функціонального відображення виду $X \rightarrow S \in [0, 1]$, де S – комплексний показник стану інвестиційного клімату, причому чим більше значення S , тим інвестиційний клімат «кращий». Тобто зв'язок між вхідними показниками і станом інвестиційного клімату подамо співвідношенням:

$$S = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (5)$$

Для оцінки лінгвістичних змінних $x_i, i = \overline{1, n}$ і S використовуватимемо якісні терми з таких терм-множин:

$A_i = \{a_i^1, a_i^2, \dots, a_i^{k_i}\}$ – терм-множина вхідної змінної $x_i, i = \overline{1, n}$;

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ – терм-множина вихідної змінної S ,

де a_i^p – p -ий лінгвістичний терм змінної $x_i, p = \overline{1, k_i}, i = \overline{1, n}$;

d_j – j -ий лінгвістичний терм змінної S .

Тоді нечітку базу знань можна подати у вигляді системи логічних висловлювань типу «ЯКЩО – ТОДІ, ІНАКШЕ», які пов'язують значення вхідних змінних x_1, x_2, \dots, x_n з одним із можливих значень виходу $d_j, j = \overline{1, m}$

Із використанням операцій Y (АБО) й I (ТА) цю систему логічних висловлювань можна записати таким чином:

$$Y_{p-1} [I_{i=1} (x_i = a_i^{i^p})] \rightarrow s = d_j, j = \overline{1, m}, \quad (6)$$

де $a_i^{i^p}$ – лінгвістична оцінка вхідної змінної x_i у p -му рядку j -ої диз'юнкції матриці знань, яка вибирається із відповідної терм-множини $A_p, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, l_j}$,

l_j – кількість правил, які визначають значення змінної $S = d_j$.

Виходячи з цього, співвідношенню (4) можна поставити у відповідність систему логічних рівнянь такого виду:

$$\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n) = V_{p=1}^{l_j} [\wedge_{i=1}^n \mu^{a_i^{i^p}}(x_i)],$$

$$j = \overline{1, m}, \quad (7)$$

де $\mu^{a_i^{i^p}}(x_i)$ – функція належності параметра x_i нечіткому терму $a_i^{i^p}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, l_j}$,

$\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – функція належності вектора вхідних змінних $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ значенню вихідної змінної $S = d_j, j = \overline{1, m}$.

Використовуючи теорію нечітких множин, одержимо таку модель нечіткої апроксимації об'єкта:

$$\mu^{d_j}(S) = \max_{p=\overline{1, l_j}} (\min_{i=\overline{1, n}} \mu^{a_i^{i^p}}(x_i)),$$

$$j = \overline{1, m}. \quad (8)$$

Для формалізації лінгвістичних термів можна взяти функцію належності виду (4). Таким чином, співвідношення (5), яке встановлює зв'язок між вхідними змінними X_i і вихідною змінною S , може бути формалізовано у вигляді нечітких логічних висловлювань, які ґрунтуються на матри-

ці знань. Її потрібно побудувати на підставі статистичних і експертних даних.

Для запропонованої моделі кількість і склад первинних показників не має суттєвого значення. Тому аналітики можуть застосовувати цю модель при використанні наявної в їхньому розпорядженні інформації, яка подана за допомогою значень статистичних і експертних показників.

Висновки. Використання наближених вхідних даних при оцінюванні інвестиційного клімату держави чи регіону не може привести до точного результату. Крім того, недоліком цього оцінювання при використанні експертної інформації є слабка формалізація цього процесу. Запропонована методика оцінювання інвестиційної привабливості економічних суб'єктів дозволяє позбутися цих недоліків. Вона ґрунтується на застосуванні теорії нечіткої логіки.

Вміючи грамотно описати нечіткість вихідних даних, ми логічним шляхом переходимо до нечіткості результуючих показників. Оцінка інвестиційного ризику – це оцінка, заходи, можливості несприятливих подій у ході інвестиційного процесу, коли очікування таких подій, що задається функцією приналежності відповідних нечітких чисел, відома або визначається спеціальними методами.

Підхід, заснований на нечіткості, долає недоліки імовірнісного і мінімаксного підходів, пов'язані з урахуванням невизначеності. По-перше, тут формується повний спектр можливих сценаріїв інвестиційного процесу. По-друге, рішення приймається не на основі двох оцінок ефективності проекту, а по всій сукупності оцінок. По-третє, очікувана ефективність проекту не є точковим показником, а являє собою поле інтервальних значень зі своїм розподілом очікувань, що характеризується функцією приналежності відповідного нечіткого числа. А виражена повна сукупність очікувань дозволяє оцінити інтегральну міру очікування негативних результатів інвестиційного процесу, тобто ступінь інвестиційного ризику.

*Науковий керівник – Лецинський О.Л.,
канд. фіз.-мат. наук, доц.*