

О. С. Коцюба,
к. е. н., доцент, доцент кафедри стратегії підприємств,
Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана

ВИМІРЮВАННЯ ГОСПОДАРСЬКОГО РИЗИКУ ЗА НЕЧІТКО-ІНТЕРВАЛЬНИМИ ОЦІНКАМИ КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ

O. Kotsyuba,
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of Business Strategy Chair,
Kyiv National Economic University named after Vadym Getman

MEASUREMENT OF ECONOMIC RISK BASED ON FUZZY INTERVAL ESTIMATES OF EFFICIENCY CRITERIA

Велике значення для результативності діяльності підприємства має якість інформаційно-аналітичної підтримки управлінських рішень, що приймаються. Одна з ключових перешкод для ефективної реалізації цього завдання пов'язана з дестабілізуючим впливом фактору невизначеності та породженого нею ризику. Звідси раціональний підхід до управління підприємством, забезпечення досягнення ним довгострокового успіху означає обов'язкове врахування феноменів невизначеності та ризику.

Поряд з інформаційними ситуаціями, що моделюються за допомогою теорії ймовірностей, сучасна наука про ризик оперує ситуацією, яка задається нечіткою множиною станів економічного середовища. Її формалізований опис здійснюється на основі математичного апарату нечітких множин.

Нечіткість вихідних даних зумовлює нечіткість результуючих показників (критеріїв) привабливості (ефективності) аналізованого господарського заходу і, відповідно, його ризикований характер. У багатьох випадках нечіткі величини критеріальних економічних показників мають характер нечітко-інтервальних оцінок.

У публікації здійснено спробу розроблення спеціального методичного апарату для вимірювання ризику за нечітко-інтервальними оцінками критеріїв ефективності господарської діяльності. В межах цього як показники міри ризику в абсолютному вираженні запропоновано середньозважений розмах варіації і семівідхилення, структура яких ґрунтується на конструктивних та інтерпретаційних (змістовних) особливостях величин, які мають нечітко-інтервальний характер. На основі зазначених абсолютних показників сформульовано відповідні коефіцієнти. При цьому вихідні версії таких коефіцієнтів доповнені їх модифікаціями, які не мають обмеження щодо знака інгредієнта для аналізованого критеріального показника. На основі інструментарію модифікованих коефіцієнтів ступеня ризику сформульовано модель вибору найкращого інвестиційного проекту з множини альтернатив.

Quality of information analytical support of management decision-making is highly relevant to productivity of business operation. A key barrier to efficient accomplishment of this task is related to a disturbing effect of uncertainty and the risk it produces. Therefore, a rational approach towards business management and ensuring that a business achieves success in the long-term imply that uncertainty and risk should always be taken into account.

In addition to information situations modeled based on the probability theory, modern science of risks deals with a situation, which is defined as a fuzzy set of states of the economic environment and is formally described using the mathematical apparatus of fuzzy sets.

Fuzzy input data lead to fuzzy output indicators (criteria) of appeal (efficiency) of a business operation under analysis and, accordingly, its risk exposure. More often than not, economic criteria are defined as fuzzy interval estimates.

The paper tries to devise a special technique to measure risk based on fuzzy interval estimates of economic efficiency criteria. In this framework, average range and semideviation are proposed as risk level indicators in absolute terms. Their structure is based on constructive and interpretative (representative) characteristics of fuzzy interval values. The relevant ratios are defined based on the said absolute indicators. That being said, the input versions of such ratios are augmented with their modifications, which are free from constraints related to the sign of ingredient (component) for the criterion indicator under analysis. Modified risk level ratios are used to define a model for selection of the best investment project from a set of alternatives.

Ключові слова: невизначеність, ризик, міра ризику, нечіткі множини, нечітко-інтервальна оцінка, розмах варіації, семівідхилення.

Key words: uncertainty, risk, measure of risk, fuzzy sets, fuzzy interval estimate, range, semideviation.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Фундаментальними характеристиками економіки, які входять до складу ключових детермінант діяльності

підприємства, є невизначеність та породжений нею ризик. "Туман" невизначеності огортає процес управління підприємством на всіх рівнях, в усіх його підсисте-

мах, призводить до того, що суб'єкти управління не можуть бути впевненими ані в тому, що сформульовано правильні цільові настанови та способи їх досягнення, ані в наслідках прийнятих до виконання дій. Звідси раціональний підхід до управління підприємством, забезпечення досягнення ним довгострокового успіху означає обов'язкове врахування феноменів невизначеності та ризику.

Поряд з інформаційними ситуаціями, що моделюються за допомогою теорії ймовірностей, сучасна наука про ризик (ризикологія) оперує ситуацією, яка задається нечіткою (розпливчастою) множиною станів економічного середовища. Її формалізований опис здійснюється на основі математичного апарату нечітких множин.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Стосовно застосування теорії нечітких множин до аналізу та моделювання господарського ризику, як цілком слушно зауважується у [1, с. 69], на сьогодні зроблені істотні, проте лише перші кроки. В цьому контексті заслуговують на увагу результати досліджень проблематики вимірювання ризику за допомогою нечітко-множинної методології, які належать В.П. Бочарникову, О.О. Недосєкіну, П.В. Севастьянову, Л.Г. Димовій, П.М. Дерев'янку, В.Г. Чернову, О.С. Птускіну та ін. [2—7].

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Ядро методології кількісного аналізу ризику становлять схеми і підходи, закладені та розвинені в межах теорії ймовірностей. Після появи теорії нечітких множин і впровадження її методів в економіку серед іншого стало завдання відповідної нечітко-множинної адаптації теоретико-ймовірнісних моделей та методів оцінювання ступеня ризику. В цьому напрямі була проведена значна дослідницька робота. Разом з тим наявні напрацювання не охоплюють всього предметного поля за порушеною проблемою. Зокрема недостатньо дослідженим і таким, що потребує належного теоретичного розвитку, є питання вимірювання ризику за нечітко-інтервальними оцінками економічних показників. Це й взято за мету роботи.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Нечіткість вихідних даних, транслуючись уздовж всього ланцюжка обчислювальних процедур, зумовлює нечіткість результуючих показників (критеріїв) привабливості (ефективності) аналізованого господарського заходу і, відповідно, його ризикований характер. У багатьох випадках нечіткі величини критеріальних економічних показників мають характер нечітких інтервалів або нечітко-інтервальних оцінок. В межах вимірювання ризику за зазначеними оцінками виникає потреба в розробленні спеціального методичного апарату, який би якнайкраще враховував їх формально-конструктивні та змістовно-інтерпретаційні особливості.

Згідно з визначенням, яке наводиться в [8, с. 138], нечітким інтервалом є будь-яка нечітка величина з опуклою функцією належності. Очевидно, що така трактов-

ка є доволі широкою. Для потреб цього дослідження доцільно виокремити підмножину нечітко-інтервальних величин або оцінок, для яких виконуються умови.

У ситуації дискретного представлення нечіткої величини критеріального економічного показника:

$$1) \tilde{K} = \bigcup_{i=0}^n [\underline{K}^{\alpha_i}, \bar{K}^{\alpha_i}], \quad \alpha_i = i/n, \quad i = \overline{0, n};$$

$$2) \underline{K}^{\alpha_i} < \bar{K}^{\alpha_i}, \quad \alpha_i = i/n, \quad i = \overline{0, n-1};$$

$$3) \underline{K}^{1,0} \leq \bar{K}^{1,0};$$

$$4) \underline{K}^{\alpha_i} \leq \underline{K}^{\alpha_{i+1}}, \quad \bar{K}^{\alpha_{i+1}} \leq \bar{K}^{\alpha_i}, \quad \alpha_i = i/n, \quad i = \overline{0, n-1};$$

де K — критеріальний економічний показник (критерій); $\tilde{K}$ — нечітка величина (оцінка) критерію K ; i — індекс інтервалу достовірності в дискретно-інтервальному за рівнями належності представленні нечіткого критерію K ; n — кількість кроків дискретизації в дискретно-інтервальному за рівнями належності представленні нечіткого критерію K ; α_i — значення функції належності для i -го інтервалу достовірності; $\underline{K}^{\alpha_i}$, $\bar{K}^{\alpha_i}$ — відповідно мінімальне і максимальне значення в межах інтервалу для нечіткої оцінки критерію K , який відповідає рівню належності α_i .

Для неперервної постановки:

$$1) \tilde{K} = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} [\underline{K}^{\alpha}, \bar{K}^{\alpha}];$$

$$2) \underline{K}^{\alpha} < \bar{K}^{\alpha}, \quad \alpha \in [0, 1);$$

$$3) \underline{K}^{1,0} \leq \bar{K}^{1,0};$$

$$4) \forall \{\alpha^*, \alpha^{**}\} \in [0, 1]: \alpha^* < \alpha^{**} \Rightarrow \underline{K}^{\alpha^*} \leq \underline{K}^{\alpha^{**}} \text{ \& \& } \bar{K}^{\alpha^{**}} \leq \bar{K}^{\alpha^*};$$

де $\underline{K}^{\alpha}$, $\bar{K}^{\alpha}$ — відповідно мінімальне і максимальне значення в межах інтервалу для нечіткої оцінки критерію K , який відповідає рівню належності α .

Спираючись на кількісні показники ступеня ризику в межах теоретико-ймовірнісної методології, представлені в [1; 9; 10; 11; 12], побудуємо їх нечітко-множинні аналоги для ситуації нечітко-інтервальних оцінок критеріальних показників. При цьому обмежимося концептуальним підходом до вимірювання ризику, який виходить з трактування міри ризику як ступеня мінливості (варіабельності, коливання, нестабільності) результату (критерію).

У системі теоретико-ймовірнісної методології як величина ризику в абсолютному вираженні може використовуватися середньозважене модуля відхилення аналізованого економічного показника (критерію) відносно центра групування його значень (математичного сподівання, моди, медіани та ін.) [1, с. 162—163]. Його нечітко-інтервальна адаптація може бути сформульована як середньозважений розмах варіації значень економічного показника в межах його нечітко-інтервальної оцінки ($AR(\tilde{K})$). Пропонований показник слід обчислювати за формулою.

У разі дискретної форми представлення нечітко-інтервальної оцінки критеріального економічного показника:

$$AR(\tilde{K}) = \sum_{i=1}^n w(\alpha_i) \times (\bar{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}) \quad (1),$$

при цьому

$$w(\alpha_i) = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad \alpha_i = i/n, \quad i = \overline{1, n} \quad (2-3).$$

Для неперервної постановки:

$$AR(\tilde{K}) = \int_0^1 w(\alpha) \times (\bar{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha) d\alpha \quad (4),$$

при цьому

$$w(\alpha) = \alpha \int_0^1 \alpha d\alpha, \alpha \in [0, 1] \quad (5),$$

У певних ситуаціях може виявитися доцільним використання середнього (середньозваженого) піврозмаху (семірозмаху) варіації ($SAR(\tilde{K})$):

$$SAR(\tilde{K}) = \frac{1}{2} AR(\tilde{K}) \quad (6).$$

Якщо як ризикові трактувати не будь-які коливання (варіювання) значень досліджуваного економічного показника, а лише ті, що виступають як несприятливі (небажані) по відношенню до деякої бази зіставлення, то така концепція міри ризику, так само, як і в разі використання теоретико-ймовірнісної методології, в ситуації нечітко-інтервальних оцінок критеріїв може бути змодельована за допомогою показника семівідхилення (семідевіації) [11; 12], з урахуванням відповідних формально-конструктивних та змістовно-інтерпретаційних нюансів для останніх. Відповідні аналітичні співвідношення можуть бути подані в такий спосіб.

Для дискретної постановки:

$$SeD_z(\tilde{K}) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n \alpha_i \times \varphi_{KZ}^-(\alpha_i), & \text{якщо } K = K^+ \\ \sum_{i=1}^n \alpha_i \times \varphi_{KZ}^+(\alpha_i), & \text{якщо } K = K^- \end{cases} \quad (7),$$

при цьому

$$\varphi_{KZ}^-(\alpha_i) = \begin{cases} 0, & Z \leq \underline{K}^{\alpha_i} \\ Z - \underline{K}^{\alpha_i}, & \underline{K}^{\alpha_i} < Z < \bar{K}^{\alpha_i} \\ \bar{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}, & Z \geq \bar{K}^{\alpha_i} \end{cases} \quad (8),$$

$$\varphi_{KZ}^+(\alpha_i) = \begin{cases} 0, & Z \geq \bar{K}^{\alpha_i} \\ \bar{K}^{\alpha_i} - Z, & \underline{K}^{\alpha_i} < Z < \bar{K}^{\alpha_i} \\ \bar{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}, & Z \leq \underline{K}^{\alpha_i} \end{cases} \quad (9),$$

$$\alpha_i = i/n, i = \overline{1, n} \quad (10),$$

де $Z, Z = Z(\tilde{K})$ — база співставлення (порівняння) значень в межах нечітко-інтервальної оцінки $\tilde{K}$; $SeD_z(\tilde{K})$ — семівідхилення значень в межах нечітко-інтервальної оцінки $\tilde{K}$ від бази співставлення (порівняння) Z .

У разі неперервної форми представлення нечітко-інтервальної оцінки критеріального економічного показника:

$$SeD_z(\tilde{K}) = \begin{cases} \int_0^1 \alpha \times \varphi_{KZ}^-(\alpha) d\alpha, & \text{якщо } K = K^+ \\ \int_0^1 \alpha \times \varphi_{KZ}^+(\alpha) d\alpha, & \text{якщо } K = K^- \end{cases} \quad (11),$$

при цьому

$$\varphi_{KZ}^-(\alpha) = \begin{cases} 0, & Z \leq \underline{K}^\alpha \\ Z - \underline{K}^\alpha, & \underline{K}^\alpha < Z < \bar{K}^\alpha \\ \bar{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha, & Z \geq \bar{K}^\alpha \end{cases} \quad (12),$$

$$\varphi_{KZ}^+(\alpha) = \begin{cases} 0, & Z \geq \bar{K}^\alpha \\ \bar{K}^\alpha - Z, & \underline{K}^\alpha < Z < \bar{K}^\alpha \\ \bar{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha, & Z \leq \underline{K}^\alpha \end{cases} \quad (13),$$

$$\alpha \in [0, 1].$$

Як база співставлення Z у співвідношеннях (7—13) може використовуватися репрезентативне число аналізованої нечіткої величини $\tilde{K}$ — $R, R = R(\tilde{K})$ або деякий нормативний рівень — G , яким може бути задане зацікавленою особою (суб'єктом прийняття рішення, експертом) якесь цільове або порогове (критичне) значення. Нагадаємо, що репрезентативне число деякої нечіткої величини є аналогом центра групування випадкової величини з теорії імовірностей. Репрезентативне число може знаходитися за допомогою різних методів: центра ваги, центра площі, як мода або модальне значення (тобто значення в межах нечіткої величини з максимальним значенням функції належності), а також інших методів [8, с. 197—201; 13, с. 12]. У багатьох випадках доцільним є звернення до методу, пропонованого в роботі [14], який відповідно до його структури можна назвати методом інтервального за рівнями належності центрування (усереднення) із зважуванням. Згідно з даним методом репрезентативне число для деякої нечітко-інтервальної оцінки слід знаходити на основі формули.

Для дискретної постановки:

$$R(\tilde{K}) = \sum_{i=1}^n w(\alpha_i) \times \frac{K^{\alpha_i} + \bar{K}^{\alpha_i}}{2} \quad (14).$$

Для неперервної постановки:

$$R(\tilde{K}) = \int_0^1 w(\alpha) \times \frac{K^\alpha + \bar{K}^\alpha}{2} d\alpha \quad (15).$$

За своїм аналітичним потенціалом представлені вище показники середньозваженого розмаху (піврозмаху) варіації і семівідхилення окрім своїх безпосередніх теоретико-ймовірнісних прототипів аналогічні також показникам з теорії імовірностей відповідно середньоквадратичного та семіквадратичного відхилення [1; 9; 10].

На основі показників $AR(\tilde{K})$, $SAR(\tilde{K})$ і $SeD_z(\tilde{K})$ можна сформулювати показники ступеня ризику у відносному вираженні — коефіцієнт середнього розмаху варіації ($CAR_r(\tilde{K})$), коефіцієнт середнього піврозмаху варіації ($CSAR_r(\tilde{K})$) та коефіцієнт семівідхилення ($CSeD_z(\tilde{K})$):

$$CAR_r(\tilde{K}) = \frac{AR(\tilde{K})}{R(\tilde{K})}, \quad CSAR_r(\tilde{K}) = \frac{SAR(\tilde{K})}{R(\tilde{K})},$$

$$CSeD_z(\tilde{K}) = \frac{SeD_z(\tilde{K})}{Z(\tilde{K})} \quad (16—18).$$

Відповідно до своєї конструкції сферою застосування наведених коефіцієнтів є економічні показники з позитивним знаком інгредієнта (тобто ті з них, що оптимізуються в напрямі максимуму). Позбавитися цього обмеження можна, якщо перейти до модифікованих версій розглядуваних коефіцієнтів, сформулювавши їх аналогічно відповідним модифікаціям в межах теоретико-ймовірнісної методології [10; 12]:

$$CAR_R^m(\tilde{K}) = \begin{cases} \frac{AR(\tilde{K})}{R(\tilde{K}) - Z_0}, & \text{якщо } K = K^+ \\ \frac{AR(\tilde{K})}{Z_0 - R(\tilde{K})}, & \text{якщо } K = K^- \end{cases},$$

$$CSAR_R^m(\tilde{K}) = \begin{cases} \frac{SAR(\tilde{K})}{R(\tilde{K}) - Z_0}, & \text{якщо } K = K^+ \\ \frac{SAR(\tilde{K})}{Z_0 - R(\tilde{K})}, & \text{якщо } K = K^- \end{cases},$$

$$CSeD_Z^m(\tilde{K}) = \begin{cases} \frac{SeD_Z(\tilde{K})}{Z(\tilde{K}) - Z_0}, & \text{якщо } K = K^+ \\ \frac{SeD_Z(\tilde{K})}{Z_0 - Z(\tilde{K})}, & \text{якщо } K = K^- \end{cases} \quad (19-21),$$

де Z_0 — фіксоване (порогове) значення економічного показника.

Поряд з репрезентованими коефіцієнтами ступінь ризику у відносному вираженні в ситуації нечітко-інтервальних оцінок критеріїв можна визначати за допомогою інших показників. Наприклад, на основі такого коефіцієнта (адаптовано за [9, с. 103—104; 10, с. 47]):

$$\omega = \begin{cases} \frac{SeD_Z^-(\tilde{K})}{SeD_Z^-(\tilde{K}) + SeD_Z^+(\tilde{K})}, & \text{якщо } K = K^+ \\ \frac{SeD_Z^+(\tilde{K})}{SeD_Z^-(\tilde{K}) + SeD_Z^+(\tilde{K})}, & \text{якщо } K = K^- \end{cases} \quad (22),$$

при цьому параметри $SeD_Z^-(\tilde{K})$ та $SeD_Z^+(\tilde{K})$ слід знаходити за формулами:

для дискретної постановки:

$$SeD_Z^-(\tilde{K}) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times \varphi_{KZ}^-(\alpha_i), \quad SeD_Z^+(\tilde{K}) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times \varphi_{KZ}^+(\alpha_i) \quad (23-24),$$

для неперервної постановки:

$$SeD_Z^-(\tilde{K}) = \int_0^1 \alpha \times \varphi_{KZ}^-(\alpha) d\alpha, \quad SeD_Z^+(\tilde{K}) = \int_0^1 \alpha \times \varphi_{KZ}^+(\alpha) d\alpha \quad (25-26),$$

де $SeD_Z^-(\tilde{K})$, $SeD_Z^+(\tilde{K})$ — відповідно від'ємне і додатне семівідхилення значень в межах нечітко-інтервальної оцінки $\tilde{K}$ від бази співставлення (порівняння) Z .

Продемонструємо розглянуті абсолютні і відносні показники ступеня ризику за нечітко-інтервальними оцінками критеріальних економічних показників на числовому прикладі.

Нехай оцінка критерію ефективності діяльності або деякого господарського заходу підприємства K має нечітко-інтервальний характер, її параметри відображені в таблиці 1. Також припустимо, що даний критерій має позитивний знак інгредієнта: $K = K^+$. Для критерію K необхідно знайти показники ступеня ризику: $AR(\tilde{K})$, $SeD_Z(\tilde{K})$, $CAR_R(\tilde{K})$, $CSeD_Z(\tilde{K})$.

Для візуалізації нечітко-інтервальної оцінки критерію доцільно побудувати її графік. Його зображує рисунок 1.

Виберемо як базу співставлення моду аналізованої нечітко-інтервальної оцінки, тобто $Z(\tilde{K}) = R(\tilde{K}) = 15,2$. Після виконання необхідних обчислювальних процедур отримуємо такі значення шуканих показників: $AR(\tilde{K}) = 16,222$, $SeD_Z(\tilde{K}) = 31,960$, $CAR_R(\tilde{K}) = 1,067$, $CSeD_Z(\tilde{K}) = 2,103$.

Покладемо тепер як базу порівняння репрезентативне число розглядуваної нечітко-інтервальної оцінки,

знайдене за допомогою методу інтервального за рівнями належності центрування (усереднення) із зважуванням. У цьому разі $Z(\tilde{K}) = R(\tilde{K}) = 17,5$. Тоді досліджувані показники набудуть значень: $AR(\tilde{K}) = 16,222$, $SeD_Z(\tilde{K}) = 42,310$, $CAR_R(\tilde{K}) = 0,927$, $CSeD_Z(\tilde{K}) = 2,418$.

Представлені вище показники ступеня ризику на основі нечітко-множинної методології, наслідуючи аналітичні можливості їх теоретико-ймовірнісних прототипів, можуть використовуватися для широкого спектра задач економіки підприємства. В цьому контексті як показову в аспекті розкриття зазначеного потенціалу доцільно розглянути задачу вибору найкращого інвестиційного проекту з множини альтернатив (варіантів проекту) в межах її нечітко-множинної (нечітко-інтервальної) постановки.

Нехай суб'єкт економічної діяльності розглядає сукупність з m інвестиційних проектів (варіантів проекту), з яких може або має бути реалізований лише один. Початкові кількісні параметри інвестиційних проектів описуються нечітко-інтервальними величинами (оцінками). Потрібно вибрати оптимальний інвестиційний проект з наявних альтернатив.

Модель для вирішення цієї задачі може бути побудована з використанням модифікованих коефіцієнтів середнього піврозмаху варіації $CSAR_R^m(\tilde{K})$ та семівідхилення $CSeD_Z^m(\tilde{K})$. Звернемося спочатку до першого з цих коефіцієнтів. Враховуючи відповідні результати, одержані за порушеною проблемою в межах теоретико-ймовірнісного підходу [12], шукана модель може бути сформульована в такий спосіб:

$$FI_j = \sum_{l=1}^L a_l (b_{l1}^H R(\tilde{K}_{lj}) + b_{l2}^H CSAR_R^m(\tilde{K}_{lj})), \quad j = \overline{1, m} \quad (27),$$

при цьому

$${}^H R(\tilde{K}_{lj}) = \begin{cases} \frac{R(\tilde{K}_{lj}) - R_{\min l}}{R_{\max l} - R_{\min l}}, & \text{якщо } K_{lj} = K_j^+ \\ \frac{R_{\max l} - R(\tilde{K}_{lj})}{R_{\max l} - R_{\min l}}, & \text{якщо } K_{lj} = K_j^-, \quad l = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, m} \end{cases} \quad (28),$$

$${}^H CSAR_R^m(\tilde{K}_{lj}) = 1 - CSAR_R^m(\tilde{K}_{lj}^-), \quad l = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, m} \quad (29),$$

$$R_{\min l} = \min\{R(\tilde{K}_{lj}) - SAR(\tilde{K}_{lj}) \mid j = \overline{1, m}\}, \quad l = \overline{1, L} \quad (30),$$

$$R_{\max l} = \max\{R(\tilde{K}_{lj}) + SAR(\tilde{K}_{lj}) \mid j = \overline{1, m}\}, \quad l = \overline{1, L} \quad (31),$$

$$CSAR_R^m(\tilde{K}_{lj}) = \begin{cases} \frac{SAR(\tilde{K}_{lj})}{R(\tilde{K}_{lj}) - Z_0^{(l)}}, & \text{якщо } K_{lj} = K_j^+ \\ \frac{SAR(\tilde{K}_{lj})}{Z_0^{(l)} - R(\tilde{K}_{lj})}, & \text{якщо } K_{lj} = K_j^-, \quad l = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, m} \end{cases} \quad (32),$$

$$Z_0^{(l)} = \begin{cases} R_{\min l}, & \text{якщо } K_{lj} = K_j^+ \\ R_{\max l}, & \text{якщо } K_{lj} = K_j^-, \quad l = \overline{1, L} \end{cases} \quad (33),$$

де FI_j — узагальнений (інтегрований) критерій економічної привабливості (ефективності) j -го інвестиційного проекту; m — число проектів у сукупності, з якої здійснюється вибір найкращого проекту; L — число часткових критеріїв економічної привабливості, за допомогою яких здійснюється вибір оптимального інвестиційного проекту; $\tilde{K}_{lj}$ — нечітко-інтервальна оцінка l -го часткового критерію привабливості j -го інвестиційного проекту; $R(\tilde{K}_{lj})$, $SAR(\tilde{K}_{lj})$ — відповідно репрезен-

тативне число і середній піврозмах варіації для нечітко-інтервальної оцінки l -го часткового критерію привабливості j -го інвестиційного проекту; $CSAR_R^m(\tilde{K}_{lj})$ — модифікований коефіцієнт середнього піврозмаху варіації для нечітко-інтервальної оцінки l -го часткового критерію привабливості j -го інвестиційного проекту; ${}^H R(\tilde{K}_{lj})$, ${}^H CSAR_R^m(\tilde{K}_{lj})$ — нормалізоване значення відповідно репрезентативного числа і модифікованого коефіцієнта середнього піврозмаху варіації для нечітко-інтервальної оцінки l -го часткового критерію привабливості j -го інвестиційного проекту; a_l — ваговий коефіцієнт для l -го часткового критерію привабливості інвестицій ($0 \leq a_l \leq 1$, $\sum_{l=1}^L a_l = 1$); b_{l1}, b_{l2} — ваговий коефіцієнт для відповідно репрезентативного числа і модифікованого коефіцієнта середнього піврозмаху варіації в межах l -го часткового критерію привабливості інвестицій ($0 \leq b_{l1} \leq 1$, $0 \leq b_{l2} \leq 1$, $b_{l1} + b_{l2} = 1$).

Серед порівнюваних проектів найкращим слід вважати проект, для якого узагальнений критерій економічної привабливості набуває найбільшого значення, при цьому $FI_j \in [0, 1]$, $j = 1, m$.

Грунтуючись на схемі, використаній вище, можна побудувати модель інвестиційного вибору за допомогою модифікованого коефіцієнта семівідхилення:

$$FI_j = \sum_{l=1}^L a_l (b_{l1} {}^H R(\tilde{K}_{lj}) + b_{l2} {}^H CSAR_R^m(\tilde{K}_{lj})), \quad j = 1, m \quad (34),$$

при цьому

$${}^H R(\tilde{K}_{lj}) = \begin{cases} \frac{R(\tilde{K}_{lj}) - R_{\min l}}{R_{\max l} - R_{\min l}}, & \text{якщо } K_{lj} = K_{lj}^+ \\ \frac{R_{\max l} - R(\tilde{K}_{lj})}{R_{\max l} - R_{\min l}}, & \text{якщо } K_{lj} = K_{lj}^-, \quad l = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, m} \end{cases} \quad (35),$$

$${}^H CSAR_R^m(\tilde{K}_{lj}) = 1 - CSAR_R^m(\tilde{K}_{lj}), \quad l = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, m} \quad (36),$$

$$R_{\min l} = \min\{R(\tilde{K}_{lj}) - SeD_R^-(\tilde{K}_{lj}) \mid j = \overline{1, m}\}, \quad l = \overline{1, L} \quad (37),$$

$$R_{\max l} = \max\{R(\tilde{K}_{lj}) + SeD_R^+(\tilde{K}_{lj}) \mid j = \overline{1, m}\}, \quad l = \overline{1, L} \quad (38),$$

$$CSAR_R^m(\tilde{K}_{lj}) = \begin{cases} \frac{SeD_R^-(\tilde{K}_{lj})}{R(\tilde{K}_{lj}) - Z_0^{(l)}}, & \text{якщо } K_{lj} = K_{lj}^+ \\ \frac{SeD_R^+(\tilde{K}_{lj})}{Z_0^{(l)} - R(\tilde{K}_{lj})}, & \text{якщо } K_{lj} = K_{lj}^-, \quad l = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, m} \end{cases} \quad (39),$$

$$Z_0^{(l)} = \begin{cases} R_{\min l}, & \text{якщо } K_{lj} = K_{lj}^+ \\ R_{\max l}, & \text{якщо } K_{lj} = K_{lj}^-, \quad l = \overline{1, L} \end{cases} \quad (40),$$

де $SeD_R(\tilde{K}_{lj})$ — семівідхилення значень в межах нечітко-інтервальної оцінки $\tilde{K}_{lj}$ від бази зіставлення (порівняння) R_{lj} , $R_{lj} = R(\tilde{K}_{lj})$; $CSAR_R^m(\tilde{K}_{lj})$, ${}^H CSAR_R^m(\tilde{K}_{lj})$ — відповідно вихідне і нормалізоване значення модифікованого коефіцієнта семівідхилення для нечітко-інтервальної оцінки l -го часткового критерію привабливості j -го інвестиційного проекту в разі бази співставлення R_{lj} ; $SeD_R^-(\tilde{K}_{lj})$, $SeD_R^+(\tilde{K}_{lj})$ — відповідно від'ємне і додатне семівідхилення значень в межах нечітко-інтервальної оцінки $\tilde{K}_{lj}$ від бази співставлення (порівняння) R_{lj} .

Як і перед цим, найкращим серед порівнюваних проектів згідно з представленою моделлю слід вважати проект, для якого узагальнений критерій економічної

Таблиця 1. Параметри нечітко-інтервальної оцінки критерію ефективності K

α	$\underline{K}^\alpha$	$\overline{K}^\alpha$	α	$\underline{K}^\alpha$	$\overline{K}^\alpha$
0	0	63,4	0,6	7,1	28
0,1	0,9	55,6	0,7	8,8	24,3
0,2	1,9	48,6	0,8	10,7	20,9
0,3	3	42,5	0,9	12,9	17,9
0,4	4,2	37,1	1	15,2	15,2
0,5	5,6	32,3	—	—	—

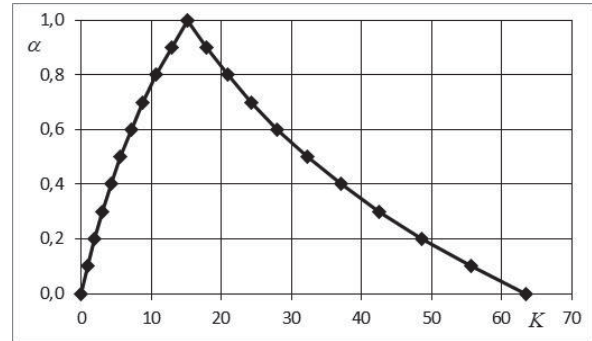


Рис. 1. Графік нечітко-інтервальної оцінки критерію

привабливості набуває найбільшого значення, при цьому $FI_j \in [0, 1]$, $j = 1, m$.

ВИСНОВКИ

У цілому результати проведеного дослідження дають підстави констатувати таке.

Значення концептуальних схем кількісного аналізу ризику, закладених на основі теоретико-ймовірнісної методології, виходить за межі конкретної математичної теорії. Зокрема вони можуть бути використані в разі моделювання невизначеності й ризику за допомогою теорії нечітких множин. Адаптація теоретико-ймовірнісних схем у межах нечітко-множинного підходу зовсім не означає їх просте механічне перенесення в площину подібних у формальному аспекті структур, і потребує врахування формально-конструктивних й змістовно-інтерпретаційних особливостей нечітких величин. Показовою у цьому контексті є ситуація, коли оцінки критеріальних економічних показників мають нечітко-інтервальний характер. Зокрема у цій роботі в результаті нечітко-інтервальної адаптації добре відомого показника середньозваженого модуля відхилення значень економічного показника відносно центра групування було одержано показник середньозваженого розмаху варіації значень економічного показника в межах його нечітко-інтервальної оцінки. З одного боку, між зазначеними показниками зберігається очевидний зв'язок щодо їх концептуальної основи, а з другого боку, безпосередні формальні структури розглядуваних показників не можуть бути визнані ізоморфними у строгому сенсі. Аспектом останнього, зокрема, є те, що знаходження середньозваженого модуля відхилення передбачає обчислення й використання центра групування аналізованого економічного показника, в той час як оперування середньозваженим розмахом варіації цього не потребує.

На завершення доцільно також додати, що серед проблем сучасної ризикології проблема формування цілісної методології кількісного аналізу ризику, яка б охоплювала наявні на сьогодні теорії моделювання невизначеності, незважаючи на весь досягнутий за нею безперечний прогрес, зберігає свою першочергову актуальність.

Література:

1. Вітлінський В.В. Ризикологія в економіці та підприємстві: монографія / В.В. Вітлінський, Г.І. Вєлікоіваненко. — К.: КНЕУ, 2004. — 480 с.
2. Бочарников В.П. Fuzzy-технология: математические основы. Практика моделирования в экономике / В.П. Бочарников. — СПб.: Наука, 2001. — 328 с.
3. Недосекин А.О. Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций / А.О. Недосекин. — СПб.: Типография "Сезам", 2002. — 181 с.
4. Севастьянов П.В. Невероятностная концепция риска в оптимизации портфеля [Электронный ресурс] / П.В. Севастьянов, Л.Г. Дымова. — Режим доступа: <http://www.ifel.ru/br1/12.pdf>
5. Деревянко П.М. Модели и методы принятия стратегических решений по распределению реальных инвестиций предприятия с применением теории нечетких множеств: дис... канд. экон. наук: спец. 08.00.13 / П.М. Деревянко. — Санкт-Петербург, 2006. — 224 с.
6. Чернов В.Г. Модели поддержки принятия решений в инвестиционной деятельности на основе аппарата нечетких множеств / В.Г. Чернов. — М.: Горячая линия-Телеком, 2007. — 312 с.
7. Птускин А.С. Нечеткие модели и методы в менеджменте: учебное пособие / А.С. Птускин. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 216 с.
8. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 736 с.
9. Економічний ризик: ігрові моделі: навч. посібник / [В.В. Вітлінський, П.І. Верченко, А.В. Сігал, Я.С. Наконечний]; ред. В.В. Вітлінський. — К.: КНЕУ, 2002. — 446 с.
10. Верченко П.І. Багатокритеріальність і динаміка економічного ризику (моделі та методи): монографія / П.І. Верченко. — К.: КНЕУ, 2006. — 272 с.
11. Подиновский В.В. Среднее полуклонение как информация для принятия решений в условиях риска / В.В. Подиновский // Научно-техническая информация. — Серия 2: Информационные процессы и системы. — № 5. — 2006. — С. 26—30.
12. Коцюба О.С. Вибір найкращого інвестиційного проекту за умов невизначеності на основі показників варіабельності / О.С. Коцюба // Інвестиції: практика та досвід. — № 10 — 2016. — С. 20—25.
13. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. — М.: Горячая линия-Телеком, 2007. — 288 с.
14. Обобщение метода анализа иерархий Саати для использования нечетко-интервальных экспертных данных [Электронный ресурс] / [Ахрамейко А.А., Железко Б.А., Ксенович Д.В., Ксенович С.В.]. — Режим доступа: http://sedok.narod.ru/s_files/b_281202_1.zip

References:

1. Vitlins'kyj, V.V. and Velykoivanenko, G.I. (2004), *Ryzkolohiia v ekonomitsi ta pidpriemnytstvi* [Riskology in economics and entrepreneurship], KNEU, Kyiv, Ukraine.
2. Bocharnikov, V.P. (2001), *Fuzzy-tehnologija: matematicheskie osnovy. Praktika modelirovaniia v jekonomike* [Fuzzy-technology: the mathematical foundations. Modeling practice in the economy], Nauka, St. Petersburg, Russia.
3. Nedosekin, A.O. (2002), *Nechetko-mnozhestvennyj analiz riska fondovyh investicij* [Fuzzy risk analysis of stock investment], Sezam, St. Petersburg, Russia.
4. Sevast'janov, P.V. and Dymova, L.G. (2007), "Non-probabilistic concept of risk in the portfolio optimization", *Banki i riski*, [Online], no. 4, available at: <http://www.ifel.ru/br1/12.pdf> (Accessed 30 January 2016).
5. Derevjanko, P.M. (2006), "Models and methods for making strategic decisions in distribution of real investment on the basis of fuzzy sets theory", Abstract of Ph.D. dissertation, Mathematical and tool methods of economy, Saint Petersburg State University of Engineering and Economics, St. Petersburg, Russia.
6. Chernov, V.G. (2007), *Modeli podderzhki prinjatija reshenij v investicionnoj dejatel'nosti na osnove apparata nechetkih mnozhestv* [Models of decision support in the investment activities on the basis of fuzzy sets], Gorjachaja linija-Telekom, Moscow, Russia.
7. Ptuskin, A.S. (2008), *Nechetkie modeli i metody v menedzhmente* [Fuzzy models and methods in management], Izdatel'stvo MG TU im. N.Je. Bauman, Moscow, Russia.
8. Leonenkov, A.V. (2003), *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH environment], BHV-Peterburg, St. Petersburg, Russia.
9. Vitlins'kyj, V.V. Verchenko, P.I. Sihal, A.V. and Nakonechnyj, Ya.S. (2002), *Ekonomichnyj ryzik: ihrovi modeli* [Economic risk: game models], KNEU, Kyiv, Ukraine.
10. Verchenko, P.I. (2006), *Bahatokryterial'nist' i dinamika ekonomichnogo ryziku (modeli ta metody)* [Multicriteria and dynamics of economic risk (models and methods)], KNEU, Kyiv, Ukraine.
11. Podinovskij, V.V. (2006), "The average semi-deviation as the information for decision-making under risk", *Nauchno-tehnicheskaja informacija, Series 2: Informacionnye processy i sistemy*, no. 5, pp. 26—30.
12. Kotsyuba, O.S. (2016), "Selecting the best investment project under uncertainty on the basis of relative indicators of variability", *Investytsii: praktyka ta dosvid*, no. 10, pp. 20—25.
13. Shtovba, S.D. (2007), *Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB* [Design of fuzzy systems using MATLAB tools], Gorjachaja linija-Telekom, Moscow, Russia.
14. Ahramejko, A.A. Zhelezko, B.A. Ksenevich, D.V. and Ksenevich, S.V. (2002), "Generalization Saati hierarchies analysis method for the use of fuzzy interval expert data", [Online], available at: http://sedok.narod.ru/s_files/b_281202_1.zip (Accessed 30 January 2016).

Стаття надійшла до редакції 16.06.2016 р.