

## АНАЛІЗ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОГО РИЗИКУ В МЕЖАХ НЕЧІТКО-МНОЖИННОГО ПІДХОДУ

©2023 КОЦЮБА О. С.

УДК 519.81  
JEL: C65; D81

### Коцюба О. С. Аналіз альтернативних методів вимірювання економічного ризику в межах нечітко-множинного підходу

Стаття присвячена проблематиці вимірювання економічного ризику на основі засобів нечітких множин. Здійснено аналіз та подальший розвиток методичного апарату кількісного оцінювання ступеня економічного ризику в межах інтерпретації міри ризику як ступеня можливості невідповідності значення критеріального показника його нормативному рівню. Як безпосередній предмет розгляду взято випадок, коли має місце одночасна нечіткість оцінок критерію та нормативу. Принциповий акцент у дослідженні зроблено на обчислювальному аспекті (обчислювальних версіях) аналізованих методів оцінювання ступеня економічного ризику. На початку розглянуто один із наявних методів вимірювання економічного ризику, сферою використання якого є ситуація, коли нечіткі оцінки критеріального економічного показника та його нормативу припускають горизонтальний, тобто за рівнями належності ( $\alpha$ -рівнями), спосіб представлення. За результатами аналізу виразів, які визначають цей метод, запропоновано його модифікацію, яка ґрунтується на  $\alpha$ -рівневому зважуванні його базових конструктивних складових. Комплексну увагу в дослідженні приділено методу оцінювання ступеня ризику для нечіткої оцінки критеріального економічного показника стосовно нечіткої оцінки нормативу, в основі якого лежить теоретико-ймовірнісна аналогія. У межах цього систематизовано та доповнено формули, які утворюють обчислювальний апарат даного методичного підходу. Серед іншого, доповнено узагальнені обчислювальні формули коментованого методу. Для умовної ситуації на основі серії імітаційних обчислень було здійснено порівняльний аналіз досліджуваних альтернативних методів вимірювання економічного ризику. Проведений аналіз дозволив виявити певні закономірності взаємного розподілу значень ступеня ризику, одержуваних при їх одночасному застосуванні.

**Ключові слова:** невизначеність, нечіткість, ризик, норматив, нечітка оцінка, ступінь ризику, міра можливості.

**Табл.:** 2. **Формул:** 53. **Бібл.:** 12.

**Коцюба Олексій Станіславович** – доктор економічних наук, доцент, професор кафедри бізнес-економіки та підприємництва, Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана (просп. Берестейський, 54/1, Київ, 03057, Україна)

**E-mail:** [as\\_kotsyuba@ukr.net](mailto:as_kotsyuba@ukr.net)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8159-0772>

**Researcher ID:** <https://www.webofscience.com/wos/author/record/S-8679-2018>

UDC 519.81  
JEL: C65; D81

### Kotsyuba O. S. An Analysis of Alternative Methods of Measuring Economic Risk Within the Fuzzy Set Approach

The article is devoted to the problems of measuring economic risk on the basis of fuzzy sets. An analysis and further development of the methodical apparatus for quantitative assessment of the degree of economic risk is carried out within the framework of the interpretation of the degree of risk as the degree of possibility of discrepancy between the value of the criterion indicator and its normative level. As a direct subject of consideration, the case is taken when there is a simultaneous fuzziness of assessments of the criterion and the normative. The principal emphasis in the study is made on the computational aspect (computational versions) of the analyzed methods for assessing the degree of economic risk. Initially, one of the existing methods for measuring economic risk is considered, the scope of which is the situation when fuzzy assessments of the criterion economic indicator and its normative imply a horizontal, i.e. by levels of affiliation ( $\alpha$ -levels) way of presentation. Based on the results of the analysis of expressions that define this method, its modification is proposed, which is based on the  $\alpha$ -level weighing of its basic structural components. Comprehensive attention in the study is paid to the method of assessing the degree of risk for a fuzzy assessment of a criterion economic indicator in relation to a fuzzy assessment of the normative, which is based on a probabilistic analogy. Within this framework, the formulas that form the computing apparatus of this methodical approach are systematized and supplemented. Among other things, the generalized computational formulas of the commented method have been supplemented. For the conditional situation, on the basis of a series of simulation computations, a comparative analysis of the studied alternative methods of measuring economic risk is carried out. The accomplished analysis made it possible to identify certain regularities of the mutual distribution of values of the degree of risk, obtained when they are applied simultaneously.

**Keywords:** uncertainty, fuzziness, risk, normative, fuzzy assessment, degree of risk, degree of possibility.

**Tabl.:** 2. **Formulae:** 53. **Bibl.:** 12.

**Kotsyuba Oleksiy S.** – D. Sc. (Economics), Associate Professor, Professor of the Department of Business Economics and Entrepreneurship, Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman (54/1 Beresteyskyi Ave., Kyiv, 03057, Ukraine)

**E-mail:** [as\\_kotsyuba@ukr.net](mailto:as_kotsyuba@ukr.net)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8159-0772>

**Researcher ID:** <https://www.webofscience.com/wos/author/record/S-8679-2018>

Невизначеність являє собою одну з найфундаментальніших властивостей світу природи та суспільства. Як фактор дестабілізації невизначеність зумовляє ризик неуспішності, або неефективності, економічної діяльності. Звідси дотримання принципу раціональності в управлінні в економічних системах передбачає аналіз та оптимізацію ризику, який обтяжує їх функціонування та розвиток.

Згідно з нинішніми науковими уявленнями невизначеність у сфері економіки не обмежується тим її видом, який є предметом вивчення класичної теорії імовірностей, а має більш складний характер [7]. Нерідко для моделювання параметрів досліджуваної проблемної ситуації доцільним і коректним є звернення до засобів теорії нечітких множин [12].

Необхідною складовою управління економічним ризиком виступає кількісне оцінювання його ступеня, тобто вимірювання. Розроблення даної проблеми в межах концепції нечіткої (розпливчастої) невизначеності є предметом систематичних зусиль з боку вчених.

Як репрезентативні дослідження за згаданою проблематикою можна назвати роботи Ю. П. Зайченка і М. О. Мурги [2], Ф. Любан [8], А. В. Матвійчука [6], О. О. Недосекіна і А. М. Кокоша [9], П. Севастьянова та ін. [10], О. В. Тарасової зі співавторами [11], а також інших. З їх змісту можна бачити, що в основі формування системи нечітко-множинних мір економічного ризику лежить використання як відправного пункту апарату кількісного оцінювання ступеня ризику, розробленого в межах теорії ймовірностей.

Однією з базових мір ризику, якими оперує сучасна ризикологія, є ступінь можливості (ймовірність, якщо використовується теорія ймовірностей) невідповідності значення досліджуваного показника його нормативному рівню (нормативу) [1]. На відміну від теоретико-ймовірнісної методології в межах нечітко-множинного підходу для зазначеної міри ризику не існує якогось єдиного принципу побудови, а пропонуються різні математичні конструкції.

Найзагальніша версія задачі нечітко-множинного вимірювання економічного ризику ґрунтується на припущенні, що поряд із нечіткістю критеріального економічного показника, який аналізується стосовно ступеня ризику, має місце нечіткість його нормативного рівня. На цей час зберігається доцільність дослідження того, як співвідносяться між собою альтернативні методи вимірювання економічного ризику для наведеної постановки даної проблеми. Це й ставиться за основну мету пропонованої роботи.

Для потреб подальшого аналізу за замовчуванням будемо виходити з припущення, що економічний показник, який виконує функцію критерію прийняття рішення, а також його норматив моделюються нечіткими оцінками, які припускають сегментний (інтер-

вальний) за рівнями належності спосіб опису, в межах чого для них є справедливими такі властивості:

$$1.1) \max \left\{ \alpha \mid [\underline{K}^\alpha, \overline{K}^\alpha] \subset \tilde{K}, \alpha \in [0, 1] \right\} = 1,$$

$$\max \left\{ \alpha \mid [\underline{G}^\alpha, \overline{G}^\alpha] \subset \tilde{G}, \alpha \in [0, 1] \right\} = 1;$$

$$1.2) \tilde{K} = \bigcup_{\alpha \in [0, 1]} [\underline{K}^\alpha, \overline{K}^\alpha], \tilde{G} = \bigcup_{\alpha \in [0, 1]} [\underline{G}^\alpha, \overline{G}^\alpha];$$

$$1.3) \underline{K}^\alpha < \overline{K}^\alpha, \underline{G}^\alpha < \overline{G}^\alpha, \alpha \in [0, 1);$$

$$1.4) \underline{K}^{1,0} \leq \overline{K}^{1,0}, \underline{G}^{1,0} \leq \overline{G}^{1,0};$$

$$1.5) \forall \{ \alpha^*, \alpha^{**} \} \in [0, 1], \alpha^* < \alpha^{**} \Rightarrow \underline{K}^{\alpha^*} \leq \underline{K}^{\alpha^{**}} \ \& \ \overline{K}^{\alpha^{**}} \leq \overline{K}^{\alpha^*}, \underline{G}^{\alpha^*} \leq \underline{G}^{\alpha^{**}} \ \& \ \overline{G}^{\alpha^{**}} \leq \overline{G}^{\alpha^*},$$

де  $K$  – критеріальний економічний показник (критерій);

$G$  – норматив критеріального економічного показника  $K$ ;

$\tilde{K}$  – нечітка оцінка критерію  $K$ ;

$\tilde{G}$  – нечітка оцінка нормативу  $G$ ;

$\underline{K}^\alpha, \overline{K}^\alpha$  – відповідно нижня та верхня границя інтервалу нечіткої оцінки критерію  $K$ , який відповідає рівню належності  $\alpha$ ;

$\underline{G}^\alpha, \overline{G}^\alpha$  – відповідно нижня та верхня границя інтервалу для нечіткої оцінки нормативу  $G$ , який відповідає рівню належності  $\alpha$ .

Також домовимося під  $K_{\min}, K_{\max}$  розуміти відповідно мінімальне та максимальне значення замикання носія нечіткої оцінки критерію  $K$ , а під  $G_{\min}, G_{\max}$  – відповідно мінімальне та максимальне значення замикання носія нечіткої оцінки нормативу  $G$ . Окрім цього, покладемо, що аналізований стосовно ступеня ризику критерій  $K$  оптимізується в напрямі максимуму.

Як було зазначено вище, порушена в цьому дослідженні проблема припускає різні підходи до свого розв'язання. Зокрема, у роботі [5] з опорою на використовуваний у межах нечітко-множинної методології  $\alpha$ -рівневий принцип здійснення операцій (як арифметичних, так й інших) над нечіткими числами було запропоновано метод кількісного оцінювання ступеня ризику для нечіткої оцінки критерію  $K$  відносно нечіткої оцінки його нормативного рівня  $G$ , який виражають формули:

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^* = \frac{\int_0^1 \varphi_{\tilde{K}\tilde{G}}^*(\alpha) d\alpha}{\int_0^1 \varphi_{\tilde{K}\tilde{G}}^{**}(\alpha) d\alpha}; \quad (1)$$

$$\varphi_{\bar{K}\bar{G}}^*(\alpha) = \begin{cases} 0, \bar{G}^\alpha \leq \underline{K}^\alpha \\ \frac{1}{2}(\bar{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha)^2, \underline{G}^\alpha < \underline{K}^\alpha < \bar{G}^\alpha < \bar{K}^\alpha \\ \frac{1}{2}(\bar{G}^\alpha - \underline{G}^\alpha)[(\underline{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha) + (\bar{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha)], \\ \underline{K}^\alpha \leq \underline{G}^\alpha \leq \bar{G}^\alpha \leq \bar{K}^\alpha \ \& \ \underline{K}^\alpha < \bar{K}^\alpha \\ \frac{1}{2}(\bar{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha)[(\bar{G}^\alpha - \bar{K}^\alpha) + (\bar{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha)], \\ \underline{G}^\alpha \leq \underline{K}^\alpha \leq \bar{K}^\alpha \leq \bar{G}^\alpha \ \& \ \underline{G}^\alpha < \bar{G}^\alpha \\ (\bar{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha)(\bar{G}^\alpha - \underline{G}^\alpha) - \frac{1}{2}(\bar{K}^\alpha - \underline{G}^\alpha)^2, \\ \underline{K}^\alpha < \underline{G}^\alpha < \bar{K}^\alpha < \bar{G}^\alpha \\ (\bar{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha)(\bar{G}^\alpha - \underline{G}^\alpha), \bar{K}^\alpha \leq \underline{G}^\alpha \ \& \ \underline{K}^\alpha < \bar{G}^\alpha; \end{cases} \quad (2)$$

$$\varphi_{\bar{K}\bar{G}}^{**}(\alpha) = (\bar{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha)(\bar{G}^\alpha - \underline{G}^\alpha); \quad (3)$$

$$\alpha \in [0, 1]; \quad (4)$$

де  $Risk_{\bar{K}\bar{G}}^*$  – ступінь ризику для нечіткої оцінки критерію  $K$  відносно нечіткої оцінки його нормативу  $G$ ;

$\varphi_{\bar{K}\bar{G}}^*(\alpha)$  – площа зони ризику для рівня належності  $\alpha$ , де остання являє собою фігуру, утворену можливими комбінаціями параметрів  $K$  та  $G$  у межах зазначеного рівня належності, для яких виконується умова:  $K < G$ ;

$\varphi_{\bar{K}\bar{G}}^{**}(\alpha)$  – площа зони усіх можливих комбінацій параметрів  $K$  та  $G$  для рівня належності  $\alpha$ .

Обчислювальна версія розглядуваного методу вимірювання ризику може бути сформульована в такий спосіб [5]:

$$Risk_{\bar{K}\bar{G}}^* = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{\bar{K}\bar{G}}^*(\alpha_i)}{\sum_{i=1}^n \varphi_{\bar{K}\bar{G}}^{**}(\alpha_i)}; \quad (5)$$

$$\varphi_{\bar{K}\bar{G}}^*(\alpha_i) = \begin{cases} 0, \bar{G}^{\alpha_i} \leq \underline{K}^{\alpha_i} \\ \frac{1}{2}(\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})^2, \underline{G}^{\alpha_i} < \underline{K}^{\alpha_i} < \bar{G}^{\alpha_i} < \bar{K}^{\alpha_i} \\ \frac{1}{2}(\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i})[(\underline{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}) + (\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})], \\ \underline{K}^{\alpha_i} \leq \underline{G}^{\alpha_i} \leq \bar{G}^{\alpha_i} \leq \bar{K}^{\alpha_i} \ \& \ \underline{K}^{\alpha_i} < \bar{K}^{\alpha_i} \\ \frac{1}{2}(\bar{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})[(\bar{G}^{\alpha_i} - \bar{K}^{\alpha_i}) + (\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})], \\ \underline{G}^{\alpha_i} \leq \underline{K}^{\alpha_i} \leq \bar{K}^{\alpha_i} \leq \bar{G}^{\alpha_i} \ \& \ \underline{G}^{\alpha_i} < \bar{G}^{\alpha_i} \\ (\bar{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})(\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i}) - \frac{1}{2}(\bar{K}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i})^2, \\ \underline{K}^{\alpha_i} < \underline{G}^{\alpha_i} < \bar{K}^{\alpha_i} < \bar{G}^{\alpha_i} \\ (\bar{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})(\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i}), \\ \bar{K}^{\alpha_i} \leq \underline{G}^{\alpha_i} \ \& \ \underline{K}^{\alpha_i} < \bar{G}^{\alpha_i}; \end{cases} \quad (6)$$

$$\varphi_{\bar{K}\bar{G}}^{**}(\alpha_i) = (\bar{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})(\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i}); \quad (7)$$

$$\alpha_i = i/n, \ i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

де  $\varphi_{\bar{K}\bar{G}}^*(\alpha_i)$  – площа зони ризику для рівня належності  $\alpha_i$ , де остання являє собою фігуру, утворену можливими комбінаціями параметрів  $K$  та  $G$  у межах зазначеного рівня належності, для яких є справедливою умова:  $K < G$ ;

$\varphi_{\bar{K}\bar{G}}^{**}(\alpha_i)$  – площа зони усіх можливих комбінацій параметрів  $K$  та  $G$  для рівня належності  $\alpha_i$ ;

$\underline{K}^{\alpha_i}, \bar{K}^{\alpha_i}$  – відповідно нижня та верхня границя інтервалу нечіткої оцінки критерію  $K$ , який відповідає рівню належності  $\alpha_i$ ;

$\underline{G}^{\alpha_i}, \bar{G}^{\alpha_i}$  – відповідно нижня та верхня границя інтервалу для нечіткої оцінки нормативу  $G$ , який відповідає рівню належності  $\alpha_i$ .

Відповідно до конструкції описуваного методу значення функції  $\varphi_{\bar{K}\bar{G}}^*(\alpha)$ ,  $\alpha \in [0, 1]$ , які відповідають різним рівням належності, виступають як рівнозначущі, або рівноцінні. Це ж справедливо і для функції  $\varphi_{\bar{K}\bar{G}}^{**}(\alpha)$ ,  $\alpha \in [0, 1]$ . Очевидно, що цей аспект припускає й інше розуміння. Якщо вважати зазначені значення нерівноцінними, що означає необхідність їх відповідного зважування, тоді аналізований метод вимірювання ризику може бути трансформований до такої своєї модифікації:

$$Risk_{\bar{K}\bar{G}}^{**} = \frac{\int_0^1 \alpha \varphi_{\bar{K}\bar{G}}^*(\alpha) d\alpha}{\int_0^1 \alpha \varphi_{\bar{K}\bar{G}}^{**}(\alpha) d\alpha}; \quad (9)$$

де  $Risk_{\bar{K}\bar{G}}^{**}$  – ступінь ризику для нечіткої оцінки критерію  $K$  відносно нечіткої оцінки його нормативу  $G$  на основі модифікування попереднього методу.

Обчислювальну версію вищевказаного модифікованого методу оцінювання ступеня ризику можна сформулювати так:

$$Risk_{\bar{K}\bar{G}}^{**} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \times \varphi_{\bar{K}\bar{G}}^*(\alpha_i)}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \times \varphi_{\bar{K}\bar{G}}^{**}(\alpha_i)}. \quad (10)$$

**П**редставлені вище методи доцільно доповнити нечітко-множинною версією розглядуваної в цьому дослідженні міри ризику, яка максимально зорієнтована на теоретико-ймовірнісну схему, тобто ґрунтується на теоретико-ймовірнісній аналогії.

Нехай критеріальний економічний показник ( $K$ ), а також його норматив ( $G$ ) описуються нечіткими оцінками (відповідно  $\tilde{K}$  та  $\tilde{G}$ ) з неперервними функціями належності, для яких також є справедливими такі властивості:

$$2.1) \quad \max \left\{ \mu_{\tilde{K}}(K) \mid K \in \mathfrak{R}, \mu_{\tilde{K}}(K) \in [0, 1] \right\} = 1, \\ \max \left\{ \mu_{\tilde{G}}(G) \mid G \in \mathfrak{R}, \mu_{\tilde{G}}(G) \in [0, 1] \right\} = 1;$$

$$2.2) \quad \text{supp} \tilde{K} = (K_{\min}, K_{\max}), \\ \text{supp} \tilde{G} = (G_{\min}, G_{\max}),$$

де  $\mu_{\tilde{K}}, \mu_{\tilde{G}}$  – функція належності для нечіткої оцінки відповідно критерію  $K$  та нормативу  $G$ ;

$K_{\min}, K_{\max}$  – відповідно мінімальне та максимальне значення замикання носія нечіткої оцінки критерію  $K$ ;

$G_{\min}, G_{\max}$  – відповідно мінімальне та максимальне значення замикання носія нечіткої оцінки нормативу  $G$ .

Формула міри ризику для нечіткої оцінки критерію  $K$  стосовно нечіткої оцінки нормативу  $G$ , в основі якої лежить ідея теоретико-ймовірнісної аналогії, має вигляд (на основі [4]):

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \frac{\iint_{(ZR)} \mu_{\tilde{K}}(K) \mu_{\tilde{G}}(G) dZR}{\iint_{(TZ)} \mu_{\tilde{K}}(K) \mu_{\tilde{G}}(G) dTZ}, \quad (11)$$

де  $Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P$  – ступінь ризику невідповідності значення критерію  $K$  нормативному рівню  $G$  згідно з методом на основі теоретико-ймовірнісної аналогії при одночасній нечіткості параметрів  $K$  та  $G$ ;

( $ZR$ ) – зона ризику, в якій виконується:  $K < G$ ,  $K \in [K_{\min}, K_{\max}]$ ,  $G \in [G_{\min}, G_{\max}]$ ;

( $TZ$ ) – загальна зона припустимих комбінацій параметрів  $K$  ( $K \in [K_{\min}, K_{\max}]$ ) та  $G$  ( $G \in [G_{\min}, G_{\max}]$ ).

Обчислювальну версію описуваного методу вимірювання ризику можна сформулювати в такий спосіб (див. також [3]):

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \frac{\sum_{v=1}^V \sum_{u=1}^U \beta_{vu} \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1}) \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})}{\sum_{v=1}^V \sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1}) \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})}; \quad (12)$$

$$\beta_{vu} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_u \geq G_v; \\ 1, & \text{якщо } K_u < G_v; \end{cases} \quad (13)$$

$$v = \overline{1, V}, u = \overline{1, U},$$

де  $U, V$  – кількість часткових проміжків розбиття замикання носія нечіткої оцінки відповідно критерію  $K$  ( $K_U = K_{\max}$ ) і нормативу  $G$  ( $G_V = G_{\max}$ );

$K_0, G_0$  – початкове значення (точка) розбиття замикання носія нечіткої оцінки відповідно до критерію  $K$  ( $K_0 = K_{\min}$ ) і нормативу  $G$  ( $G_0 = G_{\min}$ );

$K_u, u = \overline{1, U}$  –  $u$ -те значення розбиття замикання носія нечіткої оцінки критерію  $K$  ( $K_{u-1} < K_u, u = \overline{1, U}$ );

$G_v, v = \overline{1, V}$  –  $v$ -те значення розбиття замикання носія нечіткої оцінки нормативу  $G$  ( $G_{v-1} < G_v, v = \overline{1, V}$ ).

Виконання рівносильних перетворень над виразом (12) дає змогу одержати таке:

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \frac{\sum_{v=1}^V \sum_{u=1}^U \beta_{vu} \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1}) \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})}{\sum_{v=1}^V \sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1}) \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})} = \\ = \frac{\sum_{v=1}^V \left( \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1}) \sum_{u=1}^U \beta_{vu} \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1}) \right)}{\sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1}) \sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})} = \\ = \sum_{v=1}^V \left( \frac{\mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1}) \sum_{u=1}^U \beta_{vu} \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})}{\sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1}) \sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})} \right), \quad (14)$$

або ж

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \frac{\sum_{u=1}^U \sum_{v=1}^V \beta_{vu} \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1}) \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})}{\sum_{u=1}^U \sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1}) \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})} = \\ = \frac{\sum_{u=1}^U \left( \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1}) \sum_{v=1}^V \beta_{vu} \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1}) \right)}{\sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1}) \sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1})} = \\ = \sum_{u=1}^U \left( \frac{\mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1}) \sum_{v=1}^V \beta_{vu} \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1})}{\sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1}) \sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1})} \right). \quad (15)$$

Одержані співвідношення можуть бути записані у формі, яка більш чітко відображає структурні особливості досліджуваного методу визначення ступеня ризику:

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \sum_{v=1}^V q_v Risk^P(\tilde{K}, G_v), \quad (16)$$

при цьому

$$q_v = \frac{\mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1})}{\sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1})}, v = \overline{1, V}; \quad (17)$$



$$Risk^P(\tilde{K}, G_v) = \frac{\sum_{u=1}^U \beta_{vu} \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})}{\sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})}, v = \overline{1, V}, \quad (18)$$

або

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \sum_{u=1}^U r_u Risk^P(K_u, \tilde{G}), \quad (19)$$

при цьому

$$r_u = \frac{\mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})}{\sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})}, u = \overline{1, U}; \quad (20)$$

$$Risk^P(K_u, \tilde{G}) = \frac{\sum_{v=1}^V \beta_{vu} \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1})}{\sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1})}, u = \overline{1, U}, \quad (21)$$

де  $Risk^P(\tilde{K}, G_v)$  – ступінь ризику невідповідності значення критерію  $K$  нормативному рівню  $G$  згідно з методом на основі теоретико-ймовірнісної аналогії за умови, що  $G = G_v$ ,  $K$  – описується нечіткою оцінкою;

$Risk^P(K_u, \tilde{G})$  – ступінь ризику невідповідності значення критерію  $K$  нормативному рівню  $G$  згідно з методом на основі теоретико-ймовірнісної аналогії за умови, що  $K = K_u$ ,  $G$  – задається нечіткою оцінкою.

Якщо покласти, що  $K_u - K_{u-1} = \Delta K$  ( $u = \overline{1, U}$ ),  $G_v - G_{v-1} = \Delta G$  ( $v = \overline{1, V}$ ), то формула (12) може бути зведена до такого (див. також [3]):

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \frac{\sum_{v=1}^V \sum_{u=1}^U \beta_{vu} \mu_{\tilde{G}}(G_v) \mu_{\tilde{K}}(K_u)}{\sum_{v=1}^V \sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{G}}(G_v) \mu_{\tilde{K}}(K_u)} = \frac{\sum_{v=1}^V \left( \mu_{\tilde{G}}(G_v) \sum_{u=1}^U \beta_{vu} \mu_{\tilde{K}}(K_u) \right)}{\sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v) \sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)} = \frac{\sum_{v=1}^V \left( \frac{\mu_{\tilde{G}}(G_v)}{\sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)} \sum_{u=1}^U \beta_{vu} \mu_{\tilde{K}}(K_u) \right)}{\sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v) \sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)}, \quad (22)$$

або

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \frac{\sum_{u=1}^U \sum_{v=1}^V \beta_{vu} \mu_{\tilde{G}}(G_v) \mu_{\tilde{K}}(K_u)}{\sum_{u=1}^U \sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v) \mu_{\tilde{K}}(K_u)} = \frac{\sum_{u=1}^U \left( \mu_{\tilde{K}}(K_u) \sum_{v=1}^V \beta_{vu} \mu_{\tilde{G}}(G_v) \right)}{\sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u) \sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)}$$

$$= \sum_{u=1}^U \left( \frac{\mu_{\tilde{K}}(K_u)}{\sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)} \sum_{v=1}^V \beta_{vu} \mu_{\tilde{G}}(G_v) \right). \quad (23)$$

Аналогічно попередньому останні співвідношення можуть бути записані в більш зручному, з точки зору репрезентації структурних особливостей аналізованої версії міри ризику, вигляді:

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \sum_{v=1}^V q_v Risk^P(\tilde{K}, G_v), \quad (24)$$

при цьому

$$q_v = \frac{\mu_{\tilde{G}}(G_v)}{\sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)}, v = \overline{1, V}; \quad (25)$$

$$Risk^P(\tilde{K}, G_v) = \frac{\sum_{u=1}^U \beta_{vu} \mu_{\tilde{K}}(K_u)}{\sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)}, v = \overline{1, V}, \quad (26)$$

або

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \sum_{u=1}^U r_u Risk^P(K_u, \tilde{G}), \quad (27)$$

при цьому

$$r_u = \frac{\mu_{\tilde{K}}(K_u)}{\sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)}, u = \overline{1, U}; \quad (28)$$

$$Risk^P(K_u, \tilde{G}) = \frac{\sum_{v=1}^V \beta_{vu} \mu_{\tilde{G}}(G_v)}{\sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)}, u = \overline{1, U}. \quad (29)$$

Порівняно з двома методами, представленими на початку публікації, розглядуваний метод вимірювання ризику характеризується певною гнучкістю, у сенсі можливості врахування в його межах структурних особливостей нечітких оцінок параметрів  $K$  та  $G$ . Дійсно, нехай нечітка оцінка критеріального економічного показника  $K$  має неперервну функцію належності, яка підпорядковується умовам 2.1 і 2.2 (див. вище), тоді як для функції належності нечіткої оцінки нормативного рівня  $G$ , яка також припускається неперервною, мають місце властивості 1.1–1.5 (див. вище). У цьому разі ступінь ризику невідповідності значення критерію  $K$  його нормативу  $G$  може бути оцінений за допомогою співвідношень (на основі [3]):

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \sum_{u=1}^U r_u Risk^P(K_u, \tilde{G}), \quad (30)$$

при цьому

$$r_u = \frac{\mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})}{\sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)(K_u - K_{u-1})}, u = \overline{1, U}; \quad (31)$$

$$Risk^P(K_u, \tilde{G}) = \frac{\sum_{i=1}^n \psi_1(\alpha_i, K_u)}{\sum_{i=1}^n \psi_2(\alpha_i)}, u = \overline{1, U}; \quad (32)$$

$$\psi_1(\alpha_i, K_u) = \begin{cases} 0, K_u \geq \overline{G}^{\alpha_i} \\ \overline{G}^{\alpha_i} - K_u, \underline{G}^{\alpha_i} < K_u < \overline{G}^{\alpha_i}, u = \overline{1, U}; \\ \overline{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i}, K_u \leq \underline{G}^{\alpha_i} \end{cases} \quad (33)$$

$$\psi_2(\alpha_i) = \overline{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i}; \quad (34)$$

$$\alpha_i = i/n, i = \overline{1, n}. \quad (35)$$

Якщо покласти, що  $K_u - K_{u-1} = \Delta K$  ( $u = \overline{1, U}$ ), то наведені вирази можуть бути зведені до такого:

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \sum_{u=1}^U r_u Risk^P(K_u, \tilde{G}), \quad (36)$$

при цьому

$$r_u = \frac{\mu_{\tilde{K}}(K_u)}{\sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)}, u = \overline{1, U}; \quad (37)$$

$$Risk^P(K_u, \tilde{G}) = \frac{\sum_{i=1}^n \psi_1(\alpha_i, K_u)}{\sum_{i=1}^n \psi_2(\alpha_i)}, u = \overline{1, U}; \quad (38)$$

$$\psi_1(\alpha_i, K_u) = \begin{cases} 0, K_u \geq \overline{G}^{\alpha_i} \\ \overline{G}^{\alpha_i} - K_u, \underline{G}^{\alpha_i} < K_u < \overline{G}^{\alpha_i}, u = \overline{1, U}; \\ \overline{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i}, K_u \leq \underline{G}^{\alpha_i} \end{cases} \quad (39)$$

$$\psi_2(\alpha_i) = \overline{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i}; \quad (40)$$

$$\alpha_i = i/n, i = \overline{1, n}. \quad (41)$$

Припустимо тепер, що нечітка оцінка критеріального економічного показника  $K$  має неперервну функцію належності, для якої виконуються умови 1.1–1.5 (див. вище). Покладемо далі, що функція належності нечіткої оцінки нормативного рівня  $G$  також є неперервною і для неї є справедливими властивості 2.1, 2.2 (див. вище). За зроблених припущень ступінь ризику невідповідності значення критерію  $K$  його нормативу  $G$  може бути оцінений у такий спосіб (на основі [3]):

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \sum_{v=1}^V q_v Risk^P(\tilde{K}, G_v), \quad (42)$$

при цьому

$$q_v = \frac{\mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1})}{\sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)(G_v - G_{v-1})}, v = \overline{1, V}; \quad (43)$$

$$Risk^P(\tilde{K}, G_v) = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_1(\alpha_i, G_v)}{\sum_{i=1}^n \phi_2(\alpha_i)}, v = \overline{1, V}; \quad (44)$$

$$\phi_1(\alpha_i, G_v) = \begin{cases} 0, G_v \leq \underline{K}^{\alpha_i} \\ G_v - \underline{K}^{\alpha_i}, \underline{K}^{\alpha_i} < G_v < \overline{K}^{\alpha_i}, v = \overline{1, V}; \\ \overline{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}, G_v \geq \overline{K}^{\alpha_i} \end{cases} \quad (45)$$

$$\phi_2(\alpha_i) = \overline{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}; \quad (46)$$

$$\alpha_i = i/n, i = \overline{1, n}. \quad (47)$$

Якщо припустити, що  $G_v - G_{v-1} = \Delta G$  ( $v = \overline{1, V}$ ), то наведені співвідношення можуть бути зведені до такого:

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \sum_{v=1}^V q_v Risk^P(\tilde{K}, G_v), \quad (48)$$

при цьому

$$q_v = \frac{\mu_{\tilde{G}}(G_v)}{\sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)}, v = \overline{1, V}; \quad (49)$$

$$Risk^P(\tilde{K}, G_v) = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_1(\alpha_i, G_v)}{\sum_{i=1}^n \phi_2(\alpha_i)}, v = \overline{1, V}; \quad (50)$$

$$\phi_1(\alpha_i, G_v) = \begin{cases} 0, G_v \leq \underline{K}^{\alpha_i} \\ G_v - \underline{K}^{\alpha_i}, \underline{K}^{\alpha_i} < G_v < \overline{K}^{\alpha_i}, v = \overline{1, V}; \\ \overline{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}, G_v \geq \overline{K}^{\alpha_i} \end{cases} \quad (51)$$

$$\phi_2(\alpha_i) = \overline{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}; \quad (52)$$

$$\alpha_i = i/n, i = \overline{1, n}. \quad (53)$$

Здійсимо порівняльний аналіз викладених методів на умовному розрахунковому прикладі. Нехай оцінки критерію та нормативу економічної ефективності деякого господарського заходу характеризуються трикутною нечіткістю (відповідно, для них виконуються умови 1.1–1.5), млн гр. од.:  $\tilde{K} = (-450, 300, 750)$ ,  $\tilde{G} = (-150, 0, 150)$ .

Необхідно знайти величину ризику аналізованого господарського заходу відносно критеріального показника за допомогою альтернативних методів.

У табл. 1 відображено результати обчислень шуканого показника ступеня ризику згідно з методами, розглянутими вище. При цьому додатково до зроблених в умові припущень було покладено:  $n = 10$ ,  $\Delta K = 50$  (млн гр. од.),  $\Delta G = 25$  (млн гр. од.).

Таблиця 1

**Ступінь ризику неефективності господарського заходу згідно з альтернативними методами**

№ з/п	Базові формули, які визначають суть методу	Використані розрахункові формули	Ступінь ризику
1	(1)–(4)	(5)–(8)	0,254
2	(9), (2)–(4)	(10), (6)–(8)	0,189
3.1	(11)	(36)–(41)	0,228
3.2		(48)–(53)	0,222

Джерело: розраховано автором.

Згідно з даними табл. 1 для методу на основі співвідношень (1)–(4) ступінь ризику в межах розглядуваної умовної ситуації є максимальним і дорівнює 0,254, тоді як використання його модифікованої версії приводить до найнижчої величини ризику – 0,189. Для методу, який ґрунтується на теоретико-ймовірнісній аналогії, мають місце проміжні, по відношенню до мінімального та максимального, значення ступеня ризику. А саме, при зверненні до розрахункових формул (36)–(41) величина ризику становить 0,228, у разі ж використання формул (48)–(53) вона дорівнює 0,222.

Для розширення уявлень щодо досліджуваного питання доцільно провести серію імітаційних оцінювань ступеня ризику за допомогою альтернативних методів. У межах цього оцінку критеріального економічного показника залишимо тією ж, що була задана

в прикладі вище, тобто  $\tilde{K} = (-450, 300, 750)$  (млн гр. од.). Що ж до оцінки нормативу критеріального економічного показника, то покладемо, що вона змінюється від  $\tilde{G} = (-450, -300, -150)$  (млн гр. од.) до  $\tilde{G} = (450, 600, 750)$  (млн гр. од.) з кроком збільшення в 150 (млн гр. од.).

Після виконання відповідних розрахункових процедур можна одержати значення ступеня ризику, наведені в табл. 2.

Аналіз одержаних результатів дозволяє констатувати таке:

- 1) екстремальні (мінімальні та максимальні) значення ступеня ризику в межах проведеної серії обчислень, за винятком ситуації, коли  $\tilde{G} = (150, 300, 450)$ , мають місце для методів, які визначаються співвідношеннями (1)–(4), а також (9) і (2)–(4), відповідно;
- 2) згідно з попереднім пунктом, результати реалізації методу, в основі якого лежить теоретико-ймовірнісна аналогія, демонструють проміжні, по відношенню до екстремальних, значення ступеня ризику (виняток становить знову ж таки ситуація, коли  $\tilde{G} = (150, 300, 450)$ ). При цьому розбіжності між оцінками ступеня ризику, одержаними при використанні різних розрахункових формул у межах даного методу, в цілому є дуже малими (максимальна з них становить близько 0,006);

Таблиця 2

**Значення ступеня ризику неефективності господарського заходу згідно з альтернативними методами в межах серії імітаційних обчислень**

№ з/п	Формули для розрахунку	Нечітка оцінка нормативу	Ступінь ризику	№ з/п	Формули для розрахунку	Нечітка оцінка нормативу	Ступінь ризику
1.1	(5)–(8)	(-450, -300, -150)	0,029	3.1.1	(36)–(41)	(-450, -300, -150)	0,028
1.2		(-300, -150, 0)	0,114	3.1.2		(-300, -150, 0)	0,103
1.3		(-150, 0, 150)	0,254	3.1.3		(-150, 0, 150)	0,228
1.4		(0, 150, 300)	0,430	3.1.4		(0, 150, 300)	0,403
1.5		(150, 300, 450)	0,625	3.1.5		(150, 300, 450)	0,624
1.6		(300, 450, 600)	0,814	3.1.6		(300, 450, 600)	0,828
1.7		(450, 600, 750)	0,947	3.1.7		(450, 600, 750)	0,953
2.1	(10), (6)–(8)	(-450, -300, -150)	0,013	3.2.1	(48)–(53)	(-450, -300, -150)	0,024
2.2		(-300, -150, 0)	0,067	3.2.2		(-300, -150, 0)	0,097
2.3		(-150, 0, 150)	0,189	3.2.3		(-150, 0, 150)	0,222
2.4		(0, 150, 300)	0,383	3.2.4		(0, 150, 300)	0,399
2.5		(150, 300, 450)	0,625	3.2.5		(150, 300, 450)	0,624
2.6		(300, 450, 600)	0,851	3.2.6		(300, 450, 600)	0,830
2.7		(450, 600, 750)	0,970	3.2.7		(450, 600, 750)	0,955

Джерело: розраховано автором.

- 3) окремого зауваження заслугове випадок, коли  $\tilde{G} = (150, 300, 450)$ , тобто модальні значення нечітких оцінок нормативу  $G$  та критеріального економічного показника  $K$  збігаються між собою. У цій ситуації реалізація методів, описуваних співвідношеннями (1)–(4), а також (9) і (2)–(4), приводить до однакових значень ступеня ризику – 0,625. Майже таким самим при цьому є результат використання методу на основі теоретико-ймовірнісної аналогії. А саме, як у разі проведення розрахунків за допомогою формул (36)–(41), так і при використанні розрахункових формул (48)–(53) ступінь ризику становить близько 0,624.

## ВИСНОВКИ

Підбиваючи підсумки проведеного дослідження, можна зазначити таке.

Невизначеність, яка є предметом вивчення класичної теорії ймовірностей, не охоплює всього розмаїття невизначеності, якою обтяжена економічна діяльність. Нині одним із основних підходів до моделювання ймовірнісної невизначеності в економіці та бізнесі є методологія на основі теорії нечітких множин.

Важливим проблемним питанням у складі проблематики економіко-управлінських застосувань засобів нечітких множин є вимірювання економічного ризику. У роботі було здійснено аналіз і подальший розвиток методичного апарату кількісного оцінювання ступеня економічного ризику в межах інтерпретації міри ризику як ступеня можливості невідповідності значення критеріального показника його нормативному рівню. При цьому як безпосередній предмет розгляду було взято випадок, коли має місце одночасна нечіткість оцінок критерію та нормативу.

Для зазначеної вище постановки проблеми було розглянуто один із наявних методів вимірювання економічного ризику, сферою використання якого є ситуація, коли нечіткі оцінки критеріального економічного показника та його нормативу припускають горизонтальний, тобто за рівнями належності ( $\alpha$ -рівнями), спосіб представлення. За результатами аналізу виразів, які визначають цей метод, було запропоновано його модифікацію, яка ґрунтується на  $\alpha$ -рівневому зважуванні його базових конструктивних складових.

Комплексну увагу було приділено методу оцінювання ступеня ризику для нечіткої оцінки критеріального економічного показника стосовно нечіткої оцінки нормативу, в основі якого лежить теоретико-ймовірнісна аналогія. В межах цього було систематизовано та доповнено формули, які утворюють обчислювальний апарат даного методичного підходу. Серед іншого, було доповнено узагальнені обчислювальні формули коментованого методу.

Для умовної ситуації на основі серії імітаційних обчислень було здійснено порівняльний аналіз досліджуваних альтернативних методів вимірювання економічного ризику. Проведений аналіз дозволив

виявити певні закономірності взаємного розподілу значень ступеня ризику, одержуваних при їх одночасному застосуванні.

Слід також додати, що актуальним напрямом подальших наукових розвідок за розглядуваною у статті проблематикою є розвиток підходів та методів для кількісного оцінювання економічного ризику в ситуації комбінованої інформаційної невизначеності. ■

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Вітлінський В. В., Великоіваненко Г. І. Ризикологія в економіці та підприємстві : монографія. Київ : КНЕУ, 2004. 480 с.
2. Зайченко Ю. П., Мурга М. О. Удосконалення методу оптимізації нечіткого фондового портфелю з новими функціями ризику. *Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка*. 2011. № 54. С. 54–63.
3. Коцюба О. С. Вимірювання економічного ризику для ймовірнісної постановки задачі. *Бізнес Інформ*. 2021. № 9. С. 52–58. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-9-52-58>
4. Коцюба О. С. Моделювання ризику інвестиційної діяльності. *Фінанси України*. 2004. № 7. С. 56–67.
5. Коцюба О. С. Розвиток нечітко-множинного апарату вимірювання ризику: випадок одночасної нечіткості критеріального показника та його нормативу. *Проблеми економіки*. 2019. № 4. С. 264–271. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2019-4-264-271>
6. Матвійчук А. В. Економічні ризики в інвестиційній діяльності : монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 202 с.
7. Köhn J. *Uncertainty in Economics: A New Approach*. Cham: Springer, 2017. 199 p.
8. Luban F. Fuzzy model for risk analysis. *Journal of Industrial Engineering International*. 2007. Vol. 3. Iss. 5. P. 19–26. URL: [https://jiei.stb.iau.ir/article\\_511079\\_ab49ee3cabe830a9ab5421cdae0dba54.pdf](https://jiei.stb.iau.ir/article_511079_ab49ee3cabe830a9ab5421cdae0dba54.pdf)
9. Nedosekin A., Kokosh A. Investment risk estimation for arbitrary fuzzy factors of investment project. *International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economics and Finance FSSCEF 2004*. St. Petersburg: Instituto Mexicano del Petróleo; RFSA, 2004. Vol. 2. P. 423–437.
10. Sevastjanov P., Dimova L., Sevastianov D. Fuzzy Capital Budgeting: Investment Project Evaluation and Optimization. *Fuzzy Applications in Industrial Engineering / Ed. C. Kahraman*. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. Part II. P. 205–228.
11. Tarasova E. V., Nikulina E. N., Moskvicheva N. V. Analysis of risk assessment methods of innovative projects. *Espacios*. 2017. Vol. 38. Iss. 49. URL: <https://www.revistasespacios.com/a17v38n49/a17v38n49p18.pdf>
12. Zopounidis C., Pardalos P. M., Baourakis G. (ed.) *Fuzzy Sets in Management, Economics and Marketing*. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2001. 400 p.

## REFERENCES

- Kohn, J. *Uncertainty in Economics: A New Approach*. Cham: Springer, 2017.



Kotsyuba, O. S. "Modeliuvannia ryzyku investytsiinoi diialnosti" [Risk Modeling of Investment Activity]. *Finansy Ukrainy*, no. 7 (2004): 56-67.

Kotsyuba, O. S. "Rozvytok nechitko-mnozhyhynnoho aparatu vymiriuvannia ryzyku: vypadok odnochasnoi nechitkosti kryterialnoho pokaznyka ta yoho normatyvu" [Development of a Fuzzy Set Apparatus for Risk Measurement: The Case of Simultaneous Fuzziness of the Criterion Indicator and Its Standard]. *Problemy ekonomiky*, no. 4 (2019): 264-271.

DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2019-4-264-271>

Kotsyuba, O. S. "Vymiriuvannia ekonomichnoho ryzyku dlia neimovirnisnoi postanovky zadachi" [Measurement of Economic Risk for a Non-Probabilistic Problem Formulation]. *Biznes Inform*, no. 9 (2021): 52-58.

DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-9-52-58>

Luban, F. "Fuzzy model for risk analysis". *Journal of Industrial Engineering International*, vol. 3, iss. 5 (2007): 19-26. [https://jiei.stb.iau.ir/article\\_511079\\_ab49ee3cabe830a9ab5421cdae0dba54.pdf](https://jiei.stb.iau.ir/article_511079_ab49ee3cabe830a9ab5421cdae0dba54.pdf)

Matviichuk, A. V. *Ekonomichni ryzyky v investytsiini diialnosti* [Economic Risks in Investment Activity]. Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia, 2005.

Nedosekin, A., and Kokosh, A. "Investment risk estimation for arbitrary fuzzy factors of investment project".

In *International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economics and Finance FSSCEF 2004*, vol. 2, 423-437. St. Petersburg: Instituto Mexicano del Petroleo; RFSA, 2004.

Sevastjanov, P., Dimova, L., and Sevastianov, D. "Fuzzy Capital Budgeting: Investment Project Evaluation and Optimization". In *Fuzzy Applications in Industrial Engineering*, part II, 205-228. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.

Tarasova, E. V., Nikulina, E. N., and Moskvicheva, N. V. "Analysis of risk assessment methods of innovative projects". *Espacios*, vol. 38, iss. 49 (2017). <https://www.revistaespacios.com/a17v38n49/a17v38n49p18.pdf>

Vitlinskyi, V. V., and Velykoivanenko, H. I. *Ryzykolohiia v ekonomitsi ta pidpriemnytstvi* [Riskology in Economics and Entrepreneurship]. Kyiv: KNEU, 2004.

Zaichenko, Yu. P., and Murha, M. O. "Udoskonalennia metodu optymizatsii nechitkoho fondovoho portfeliiu z novyimi funktsiiami ryzyku" [Improvement of the Fuzzy Stock Portfolio Optimization Method with New Risk Functions]. *Visnyk NTUU «KPI». Informatyka, upravlinnia ta obchysluvalna tekhnika*, no. 54 (2011): 54-63.

Zopounidis, C. et al. *Fuzzy Sets in Management, Economics and Marketing*. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2001.

УДК 330.4

JEL: G17; G33

DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2023-10-149-161>

## СИСТЕМАТИЧНИЙ ОГЛЯД МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ БАНКРУТСТВА ПІДПРИЄМСТВ

©2023 КАНИГІН С. М.

УДК 330.4

JEL: G17; G33

### Канигін С. М. Систематичний огляд моделей прогнозування банкрутства підприємств

Метою даного наукового дослідження є глибокий систематичний аналіз та узагальнення існуючих моделей прогнозування банкрутства підприємств. У контексті непередбачуваності світової економіки забезпечення стабільності підприємств стає вкрай актуальним питанням і вимагає детального аналізу. Для цього було обрано базу даних Scopus, відому своїм значним за кількістю та якістю переліком публікацій. Після системного пошуку за допомогою 18 комбінацій ключових слів удалося виявити 1448 потенційно релевантних публікацій. Проте лише 1127 з них відповідали заданим критеріям і були обрані для подальшого аналізу. Основний акцент дослідження ставився на глибоке вивчення характеристик, переваг та обмежень кожної з розглядуваних моделей. Отримані дані дозволили намітити ключові напрямки для подальших досліджень у цій сфері. Важливим аспектом було також тестування моделей на практиці. Для цього були використані дані за 2019-2020 рр. Стосовно 17907 підприємств. Відзначимо, що 353 з них згодом стали банкрутами в період 2021-2023 рр. Застосовуючи мову програмування Python, було проведено глибокий статистичний аналіз та візуалізація отриманих результатів. На підставі аналізу було встановлено, що деякі моделі, зокрема моделі Альтмана, Ліса, Спрінгейта, Дюрана та Терещенка, показали вражаючу точність у прогнозуванні банкрутства. Особливо слід відзначити ефективність моделі Матвійчука, що показала точність 67,7%. У підсумку дане дослідження внесло значний вклад у розробку та розуміння підходів до прогнозування банкрутства підприємств в Україні. Результати мають велике теоретичне та практичне значення для спеціалістів у фінансовій сфері, а також закладають основу для подальших досліджень у цьому напрямку.

**Ключові слова:** моделі, прогнозування банкрутства, фінансові коефіцієнти, фінансовий менеджмент.

**Рис.: 5. Табл.: 10. Формул.: 5. Бібл.: 30.**

**Канигін Сергій Михайлович** – аспірант кафедри митної справи та фінансових послуг, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця (просп. Науки, 9а, Харків, 61166, Україна)

**E-mail:** [kanygin97@gmail.com](mailto:kanygin97@gmail.com)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8710-275X>

**Scopus Author ID:** <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorid=58266453500>

UDC 330.4

JEL: G17; G33

### Kanyhin S. M. A Systematic Review of Enterprise Bankruptcy Forecasting Models

The purpose of this scientific study is a deep systematic analysis and generalization of existing models for forecasting the bankruptcy of enterprises. In the context of the unpredictability of the world economy, ensuring the stability of enterprises becomes an extremely urgent issue and requires a detailed analysis. For this purpose, the Scopus database was chosen, known for its impressive list of publications in terms of quantity and quality. After a systematic search using