

ment of Business Technologies in Entrepreneurship]. *Problemy ekonomiky*, no. 3 (2017): 170-174.

Fagerstrom, A. "The behavioural perspective model: A proposed theoretical framework to understand and predict online consumer behaviour". *Perspective*, no. 1 (2014): 1-11.

Hurianova, L. S. et al. *Ekonometryka* [Econometrics]. Kharkiv: KhNEU im. S. Kuznetsia, 2015.

Hurianova, L. S. et al. *Prykladna ekonometryka* [Applied Econometrics], part 1. Kharkiv: KhNEU im. S. Kuznetsia, 2016.

Hurianova, L. S. et al. *Prykladna ekonometryka* [Applied Econometrics], part 2. Kharkiv: KhNEU im. S. Kuznetsia, 2016.

Jiang, L., Yang, Zh., and Jun, M. "Measuring consumer perceptions of online shopping convenience". *Journal of Service Management*, vol. 24, no. 2 (2013): 191-214.

"Kak razvivayetsya e-sommerse v Ukraine" [How e-commerce is developing in Ukraine]. <https://sostav.ua/publication/kak-razvivaetsya-e-commerce-v-ukraine-81610.html>

Klebanova, T. S. et al. *Prohnozuvannya sotsialno-ekonomichnykh protsesiv* [Predicting Socio-economic Processes]. Kharkiv: KhNEU im. S. Kuznetsia, 2015.

Litovchenko, I. L. "Vlianiye povedeniya potrebiteley v Internet-srede na marketingovuyu deyatelnost" [The Influence

of Consumer Behavior in the Internet Environment on Marketing Activities]. *Biznes Inform*, no. 5 (2010): 61-63.

Melnychuk, O. "Rozvytok elektronnoi komertsii u strukturi informatsiinoi ekonomiky Ukrainy" [E-Commerce Development in the Structure of the Information Economy of Ukraine]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriya «Ekonomika»*, no. 8 (2014): 93-97.

Purskyi, O. I., Mazokha, D. P., and Zharii, I. O. "Funktsionalna model Web-pidpriemstva z merezheiu Internet-mahazyniv" [The Functional Model of a Web-enterprise with Internet Shopping Network]. *Problemy ekonomiky*, no. 2 (2015): 166-171.

Yatsenko, R. M., and Polevych, O. V. "Metody i modeli kolaborativnoi filtratsii v onlain-servisakh" [Collaborative Filtering Methods and Models in Online Services]. *Suchasni problemy modeliuвання sotsialno-ekonomichnykh system*. Kharkiv: FOP Aleksandrova K. M.; VD «INZhEK», 2012.342-343.

Yevtushenko, D. D. "Elektronnyi biznes, elektronna komertsii, Internet-torhivlia: sutnist ta vzaiemozviazok poniat" [E-business, E-commerce, Internet Commerce: the Nature and Interrelation of Concepts]. *Biznes Inform*, no. 8 (2014): 184-188.

УДК 519.866:519.816

JEL: D80; D81

РОЗВИТОК ІНСТРУМЕНТАРІЮ ВИМІРЮВАННЯ РИЗИКУ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЧІТКО-МНОЖИННОГО ПІДХОДУ

©2019 КОЦЮБА О. С.

УДК 519.866:519.816

JEL: D80; D81

Коцюба О. С. Розвиток інструментарію вимірювання ризику при моделюванні невизначеності за допомогою нечітко-множинного підходу

Мета статті полягає в розвитку методичного апарату вимірювання ризику в разі використання теорії нечітких множин для формалізації невизначеності. Проблемне поле дослідження обмежується ситуацією, коли економічний показник, який виконує функцію критерію прийняття рішення, описується нечітким числом, у розумінні останнього як нечіткої величини з нормальною й опуклою функцією належності. Виходячи з інтервального за рівнями належності способу представлення нечіткої оцінки критеріального показника у роботі було розглянуто такі показники ступеня ризику, як середнє абсолютне відхилення, середній розмах варіації, семівідхилення (середнє абсолютне семівідхилення), середній однобічний розмах варіації. Сформульовані у дослідженні, в межах нечіткої множинної методології, версії останніх двох показників виступають як результат доопрацювання їх прототипів, запропонованих у попередніх публікаціях автора. Свідченням логічної коректності доопрацьованих версій семівідхилення та середнього однобічного розмаху варіації служать відповідні рівності, які відображають зв'язок цих показників з показниками середнього абсолютного відхилення та середнього розмаху варіації, відповідно. У цілому одержані у пропонуваному дослідженні результати слід розцінювати як окремі складові єдиної системи інструментальних засобів кількісного оцінювання ступеня ризику в ситуації нечітких даних, формування якої ще не завершено і припускає подальше розроблення.

Ключові слова: невизначеність, нечіткість, ступінь ризику, середнє абсолютне відхилення, середній розмах варіації, семівідхилення, середній однобічний розмах варіації.

DOI:

Рис.: 1. **Табл.:** 1. **Формул.:** 42. **Бібл.:** 25.

Коцюба Олексій Станіславович – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри бізнес-економіки та підприємництва, Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана (просп. Перемоги, 54/1, Київ, 03057, Україна)

E-mail: as_kotsyuba@ukr.net

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

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/S-8679-2018>

SPIN: <http://elibrary.ru/3685-5402>

УДК 519.866:519.816

JEL: D80; D81

Коцюба А. С. Развитие инструментария измерения риска при моделировании неопределенности с помощью нечетко-множественного подхода

Цель статьи состоит в развитии методического аппарата измерения риска при использовании теории нечетких множеств для формализации неопределенности. Проблемное поле исследования ограничивается ситуацией, когда экономический показатель, который выполняет

UDC 519.866:519.816

JEL: D80; D81

Kotsyuba O. S. Development of Risk Measurement Instrumentarium in Modeling of Uncertainty Using the Fuzzy Set Approach

The article is aimed at developing a methodical apparatus for risk measurement using the fuzzy set theory in order to formalize uncertainty. The problem field of research is limited to a situation where an economic indicator that serves as a decision-making criterion is described by a fuzzy number,

функцію критерія прийняття рішення, описується нечітким числом, в розумінні останнього як нечіткої величини з нормальною і випуклою функцією належності. Исходя из интервального по уровням принадлежности способа представления нечеткой оценки критериального показателя в работе были рассмотрены такие показатели степени риска, как среднее абсолютное отклонение, средний размах вариации, полуотклонение (среднее абсолютное полуотклонение), средний односторонний размах вариации. Сформулированные в исследовании, в рамках нечетко-множественной методологии, версии последних двух показателей выступают как результат доработки их прототипов, предложенных в предыдущих публикациях автора. В качестве свидетельства логической корректности доработанных версий полуотклонения и среднего одностороннего размаха вариации служат соответствующие равенства, которые отражают связь этих показателей с показателями среднего абсолютного отклонения и среднего размаха вариации, соответственно. В целом, полученные в предлагаемом исследовании результаты следует расценивать как отдельные составляющие единой системы инструментальных средств количественного оценивания степени риска в ситуации нечетких данных, формирование которой еще не завершено и предполагает дальнейшую разработку.

Ключевые слова: неопределенность, нечеткость, степень риска, среднее абсолютное отклонение, средний размах вариации, полуотклонение, средний односторонний размах вариации.

Рис.: 1. **Табл.:** 1. **Формул.:** 42. **Библ.:** 25.

Коцюба Алексей Станиславович – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры бизнес-экономики и предпринимательства, Киевский национальный экономический университет им. В. Гетьмана (просп. Победы, 54/1, Киев, 03057, Украина) **E-mail:** as_kotsyuba@ukr.net **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8159-0772> **Researcher ID:** <http://www.researcherid.com/rid/S-8679-2018> **SPIN:** <http://elibrary.ru/3685-5402>

understanding the latter as a fuzzy value with normal and convex membership function. Based on the interval (by the levels of membership) method of presenting a fuzzy assessment of the criterion indicator, the publication considers such indicators of the risk degree as average absolute deviation, average range of variation, half-deviation (average absolute half-deviation), the average one-sided variation. The versions of the last two indicators, formulated in the study in terms of the fuzzy-set methodology, are the result of the refinement of their prototypes proposed in previous publications of the author. As evidence of the logical correctness of the revised versions of the half-deviation and the average one-sided variation are the corresponding equalities, which reflect the relationship of these indicators with the indicators of the average absolute deviation and average range variation, respectively. In general, the results of the proposed study should be regarded as separate components of a single system of instrumental means for quantifying the risk degree in a fuzzy data situation, the formation of which has not yet been completed and suggests further development.

Keywords: uncertainty, fuzziness, risk degree, average absolute deviation, average variation, half-deviation, average one-sided variation.

Fig.: 1. **Tabl.:** 1. **Formulae:** 42. **Bibl.:** 25.

Kotsyuba Oleksiy S. – PhD (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Business Economics and Entrepreneurship, Kyiv National Economic University named after V. Hetman (54/1 Peremohy Ave., Kyiv, 03057, Ukraine)

E-mail: as_kotsyuba@ukr.net

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

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/S-8679-2018>

SPIN: <http://elibrary.ru/3685-5402>

Відповідно до сучасних уявлень обов'язковою складовою обґрунтованого управління економічними системами є врахування невизначеності та зумовленого нею ризику. Статус історично першого наукового підходу до кількісного моделювання невизначеності належить теорії імовірностей. Сферою її коректного застосування є масові та однорідні явища. Якщо ж для розглядуваного об'єкта зазначені вимоги не виконуються, то моделювання його характеристик на основі класичної (традиційної) теорії імовірностей має бути визнане неправомірним.

Часто ситуація, з якою доводиться стикатися в ході здійснення економічної діяльності, не відповідає правилам застосування традиційних імовірнісно статистичних методів. Як можливий шлях раціоналізації підтримки прийняття рішень у цьому разі виступає експертний підхід. За теперішнього часу одним із базових варіантів його реалізації є методологія на основі теорії нечітких множин.

У структурі нинішніх досліджень у межах економічної та управлінської наук питанням, пов'язаним з урахуванням невизначеності та ризику під час управління економічними системами, відводиться одне з центральних місць. Серед учених пострадянського простору, які останніми десятиріччями ведуть активну дослідницьку роботу за даним напрямом, заслуговують окремого згадування С. А. Смоляк, В. В. Віталінський, О. О. Недосекін, М. В. Грачова, О. В. Воронцовський, В. В. Подіновський, В. П. Бочарніков, П. В. Севастьянов, А. Г. Димова, О. Є. Алтунін, М. В. Се-

мухін, В. Г. Чернов та ін. [1–10]. У працях названих авторів не лише осмислюються наявні здобутки стосовно моделювання невизначеності та ризику в економіці та бізнесі, але й пропонуються нові значущі ідеї та підходи.

Важливим завданням стосовно розвитку нечітко множинної методології як новітнього підходу до підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності є створення в її межах повномасштабного методичного апарату для кількісного оцінювання ступеня ризику. Різні аспекти порушеної проблематики систематично досліджуються як зарубіжними, так і вітчизняними науковцями, зокрема, такими, як Б. Лю, Дж. Пен, Е. Верчер, Х. Д. Бермудес, Х. В. Сегура, Дж. Кахраман, І. Георгеску, Ф. Любан, О. О. Недосекін, В. Г. Чернов, П. М. Дерев'яно, М. О. Гавриленко, О. С. Мордовцев, С. М. Мордовцев, І. А. Федоренко, В. О. Мясников, О. А. Андренко [3; 10; 11–20]. Її розгляду також присвячено декілька наших робіт [21–23]. Серед іншого в них були сформульовані можлива нечітко множинна адаптація показника середнього (середньозваженого) абсолютного відхилення, показник середнього (середньозваженого) розмаху варіації, а також похідні від них відповідні показники односторонньої варіабельності. Наступний аналіз останніх показав доцільність їх доопрацювання. Це й береться як мета даного дослідження.

Для потреб подальшого викладення будемо виходити з припущення, що економічний показник, який виконує функцію критерію прийняття рішення

та який є об'єктом аналізу стосовно ступеня ризику, моделюється нечіткою оцінкою (числом), яка припускає інтервальний за рівнями належності спосіб опису і для якої в цілому є справедливими такі властивості.

У разі неперервної (неперервно інтервальної за рівнями належності) постановки:

$$1) \max \left\{ \alpha \mid [\underline{K}^\alpha, \bar{K}^\alpha] \subset \tilde{K}, \alpha \in [0, 1] \right\} = 1 \quad (\text{умова нормальності});$$

$$2) \tilde{K} = \bigcup_{\alpha \in [0, 1]} [\underline{K}^\alpha, \bar{K}^\alpha];$$

$$3) \underline{K}^\alpha < \bar{K}^\alpha, \quad \alpha \in [0, 1];$$

$$4) \underline{K}^{1,0} \leq \bar{K}^{1,0};$$

$$5) \forall \{ \alpha^*, \alpha^{**} \} \in [0, 1];$$

$$\alpha^* < \alpha^{**} \Rightarrow \underline{K}^{\alpha^*} \leq \underline{K}^{\alpha^{**}} \ \& \ \bar{K}^{\alpha^{**}} \leq \bar{K}^{\alpha^*},$$

де K – критеріальний економічний показник (критерій);

\tilde{K} – нечітка оцінка (число) критерію K ;

$\underline{K}^\alpha, \bar{K}^\alpha$ – відповідно нижня і верхня границя інтервалу нечіткої оцінки критерію K , який відповідає рівню належності α (такі інтервали прийнято також називати інтервалами достовірності).

Для дискретного (дискретно інтервального за рівнями належності) представлення нечіткої оцінки критерію (тут і нижче покладемо, що дискретизація здійснюється через рівні проміжки):

$$1) \max \left\{ \alpha_i \mid \alpha_i = \Delta\alpha \cdot i, \Delta\alpha > 0, i = \overline{0, n} \right\} = 1$$

(звідси $\alpha_i = i/n, i = \overline{0, n}$);

$$2) \tilde{K} = \bigcup_{i=0}^n [\underline{K}^{\alpha_i}, \bar{K}^{\alpha_i}], \quad \alpha_i = i/n, \quad i = \overline{0, n};$$

$$3) \underline{K}^{\alpha_i} < \bar{K}^{\alpha_i}, \quad \alpha_i = i/n, \quad i = \overline{0, n-1};$$

$$4) \underline{K}^{1,0} \leq \bar{K}^{1,0};$$

$$5) \underline{K}^{\alpha_i} \leq \underline{K}^{\alpha_{i+1}}, \quad \bar{K}^{\alpha_{i+1}} \leq \bar{K}^{\alpha_i}, \\ \alpha_i = i/n, \quad i = \overline{0, n-1},$$

де i – індекс інтервалу достовірності в дискретно інтервальному за рівнями належності представленні нечіткої оцінки критерію K ;

n – кількість кроків дискретизації в дискретно інтервальному за рівнями належності представленні нечіткої оцінки критерію K ;

α – значення функції належності для i -го інтервалу достовірності;

$\Delta\alpha$ – крок дискретизації в дискретно інтервальному за рівнями належності представленні нечіткої оцінки критерію K ;

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

У загальному випадку, у межах тієї чи іншої проблемної ситуації, вимірювання ризику передбачає використання різних показників ступеня ризику, серед яких своє місце займає показник середнього (середньозваженого) абсолютного відхилення (*Mean Absolute Deviation – MAD*). Його нечітко множинна адаптація може бути сформульована в такий спосіб [22].

Для неперервної постановки:

$$MAD(\tilde{K}) = \frac{MAD^{(-)}(\tilde{K}) + MAD^{(+)}(\tilde{K})}{2}, \quad (1)$$

$$MAD^{(-)}(\tilde{K}) = \int_0^1 w(\alpha) \cdot |Re(\tilde{K}) - \underline{K}^\alpha| d\alpha, \quad (2)$$

$$MAD^{(+)}(\tilde{K}) = \int_0^1 w(\alpha) \cdot |\bar{K}^\alpha - Re(\tilde{K})| d\alpha, \quad (3)$$

$$w(\alpha) = \frac{\alpha}{\int_0^1 \alpha d\alpha} = 2\alpha, \quad (4)$$

$$\alpha \in [0, 1], \quad (5)$$

звідки

$$MAD(\tilde{K}) = \int_0^1 \alpha \cdot |Re(\tilde{K}) - \underline{K}^\alpha| d\alpha + \\ + \int_0^1 \alpha \cdot |\bar{K}^\alpha - Re(\tilde{K})| d\alpha, \quad (6)$$

де $MAD(\tilde{K})$ – середнє (середньозважене) абсолютне відхилення для нечіткої оцінки критерію K ;

$MAD^{(-)}(\tilde{K}), MAD^{(+)}(\tilde{K})$ – відповідно від'ємне (нижнє) і додатне (верхнє) середнє абсолютне відхилення для нечіткої оцінки критерію K ;

$Re(\tilde{K})$ – репрезентативне число нечіткої оцінки критерію K .

Для дискретної постановки:

$$MAD(\tilde{K}) = \frac{MAD^{(-)}(\tilde{K}) + MAD^{(+)}(\tilde{K})}{2}, \quad (7)$$

$$MAD^{(-)}(\tilde{K}) = \sum_{i=1}^n w(\alpha_i) \cdot |Re(\tilde{K}) - \underline{K}^{\alpha_i}|, \quad (8)$$

$$MAD^{(+)}(\tilde{K}) = \sum_{i=1}^n w(\alpha_i) \cdot |\bar{K}^{\alpha_i} - Re(\tilde{K})|, \quad (9)$$

$$w(\alpha_i) = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad (10)$$

$$\alpha_i = i/n, i = \overline{1, n}. \quad (11)$$

Зазначимо, що показник репрезентативного числа, який входить до складу виразів (1–6), (7–11), у нечітко множинній методології відіграє роль, аналогічну ролі показників центра групування (центральної тенденції) значень випадкової величини в теорії ймовірностей. Цей формалізм може знаходитися за допомогою різних методів: як центр ваги, як центр площі, як мода, а також на основі інших підходів [24, с. 197–201].

Похідним від середнього абсолютного відхилення показником варіабельності, який виступає як важлива міра ризику небажаних відхилень, є показник семівідхилення (піввідхилення) (інші можливі назви: середнє (середньозважене) абсолютне семівідхилення (*Mean Absolute Semideviation – MASD*), середнє піввідхилення). Нечітко множинна версія семівідхилення припускає різні підходи до свого визначення. Якщо ставити за мету реалізацію максимальної подібності до теоретико ймовірнісної схеми даного показника, то можна одержати таку його конструкцію в межах нечітко множинної методології (з урахуванням результатів щодо цього, зафіксованих в [23]).

Для неперервної постановки:

$$SeD_Z(\tilde{K}) = \begin{cases} SeD_Z^{(-)}(\tilde{K}), K = K^+ \\ SeD_Z^{(+)}(\tilde{K}), K = K^- \end{cases} = \begin{cases} \int_0^1 \alpha \cdot ({}^-\phi_{\tilde{K}Z}^L(\alpha) + {}^-\phi_{\tilde{K}Z}^R(\alpha)) d\alpha, K = K^+ \\ \int_0^1 \alpha \cdot ({}^+\phi_{\tilde{K}Z}^L(\alpha) + {}^+\phi_{\tilde{K}Z}^R(\alpha)) d\alpha, K = K^- \end{cases}, \quad (12)$$

$${}^-\phi_{\tilde{K}Z}^L(\alpha) = \begin{cases} 0, Z \leq \underline{K}^\alpha \\ Z - \underline{K}^\alpha, \underline{K}^\alpha < Z \end{cases}, \quad (13)$$

$${}^-\phi_{\tilde{K}Z}^R(\alpha) = \begin{cases} 0, Z \leq \overline{K}^\alpha \\ Z - \overline{K}^\alpha, \overline{K}^\alpha < Z \end{cases}, \quad (14)$$

$${}^+\phi_{\tilde{K}Z}^L(\alpha) = \begin{cases} 0, \underline{K}^\alpha \leq Z \\ \underline{K}^\alpha - Z, Z < \underline{K}^\alpha \end{cases}, \quad (15)$$

$${}^+\phi_{\tilde{K}Z}^R(\alpha) = \begin{cases} 0, \overline{K}^\alpha \leq Z \\ \overline{K}^\alpha - Z, Z < \overline{K}^\alpha \end{cases}, \quad (16)$$

$$\alpha \in [0, 1], \quad (17)$$

$$Z \in \{Re(\tilde{K}), G(K)\},$$

де $SeD_Z(\tilde{K})$ – семівідхилення для нечіткої оцінки критерію K відносно бази зіставлення (порівняння) Z ;

$SeD_Z^{(-)}(\tilde{K}), SeD_Z^{(+)}(\tilde{K})$ – відповідно від'ємне (нижнє) і додатне (верхнє) семівідхилення значень в межах нечіткої оцінки по відношенню до бази Z ;

$K = K^+, K = K^-$ – фіксація відповідно додатного (позитивного) і від'ємного (негативного) інгредієнта (напрямку оптимізації) для критерію K ;

$G(K)$ – нормативний (граничний припустимий, або цільовий) рівень (норматив) критерію K .

Для дискретної постановки:

$$SeD_Z(\tilde{K}) = \begin{cases} SeD_Z^{(-)}(\tilde{K}), K = K^+ \\ SeD_Z^{(+)}(\tilde{K}), K = K^- \end{cases} = \begin{cases} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n w(\alpha_i) \cdot ({}^-\phi_{\tilde{K}Z}^L(\alpha_i) + {}^-\phi_{\tilde{K}Z}^R(\alpha_i)), K = K^+ \\ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n w(\alpha_i) \cdot ({}^+\phi_{\tilde{K}Z}^L(\alpha_i) + {}^+\phi_{\tilde{K}Z}^R(\alpha_i)), K = K^- \end{cases}, \quad (18)$$

$${}^-\phi_{\tilde{K}Z}^L(\alpha_i) = \begin{cases} 0, Z \leq \underline{K}^{\alpha_i} \\ Z - \underline{K}^{\alpha_i}, \underline{K}^{\alpha_i} < Z \end{cases}, \quad (19)$$

$${}^-\phi_{\tilde{K}Z}^R(\alpha_i) = \begin{cases} 0, Z \leq \overline{K}^{\alpha_i} \\ Z - \overline{K}^{\alpha_i}, \overline{K}^{\alpha_i} < Z \end{cases}, \quad (20)$$

$${}^+\phi_{\tilde{K}Z}^L(\alpha_i) = \begin{cases} 0, \underline{K}^{\alpha_i} \leq Z \\ \underline{K}^{\alpha_i} - Z, Z < \underline{K}^{\alpha_i} \end{cases}, \quad (21)$$

$${}^+\phi_{\tilde{K}Z}^R(\alpha_i) = \begin{cases} 0, \overline{K}^{\alpha_i} \leq Z \\ \overline{K}^{\alpha_i} - Z, Z < \overline{K}^{\alpha_i} \end{cases}, \quad (22)$$

$$w(\alpha_i) = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad (23)$$

$$\alpha_i = i/n, i = \overline{1, n}, \quad (24)$$

$$Z \in \{Re(\tilde{K}), G(K)\}.$$

У ситуації нечітких оцінок, які припускають інтервальну за рівнями належності форму представлення, як аналітичний еквівалент середнього абсолютного відхилення може бути запропонований до використання показник середнього (середньозваженого) розмаху варіації [21; 22]. Зазначений показник втілюють такі формули.

У разі неперервної постановки:

$$AR(\tilde{K}) = \int_0^1 w(\alpha) \cdot (\overline{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha) d\alpha, \quad (25)$$

$$w(\alpha) = \frac{\alpha}{\int_0^1 \alpha d\alpha} = 2\alpha, \quad (26)$$

$$\alpha \in [0, 1], \quad (27)$$

звідки

$$AR(\tilde{K}) = 2 \int_0^1 \alpha \cdot (\overline{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha) d\alpha, \quad (28)$$

де $AR(\tilde{K})$ – середній розмах варіації для нечіткої оцінки критерію K .

Для дискретної постановки:

$$AR(\tilde{K}) = \sum_{i=1}^n w(\alpha_i) \cdot (\overline{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}), \quad (29)$$

$$w(\alpha_i) = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad (30)$$

$$\alpha_i = i/n, \quad i = \overline{1, n}. \quad (31)$$

Аналогічно до інших показників варіабельності, для середнього розмаху варіації може бути сформульована його однобічна версія, яку доцільно використовувати як можливий різновид міри ризику небажаних відхилень. Зазначений показник логічно і коректно називати середнім (середньозваженим) однобічним розмахом варіації. З урахуванням відповідних напрацювань, представлених у наших попередніх публікаціях [21; 22], розглядуваний показник припускає такий спосіб побудови.

За неперервної постановки:

$$ASR_Z(\tilde{K}) = \begin{cases} ASR_Z^{(-)}(\tilde{K}), K = K^+ \\ ASR_Z^{(+)}(\tilde{K}), K = K^- \end{cases} = \begin{cases} 2 \int_0^1 \alpha \cdot \varphi_{\tilde{K}Z}^-(\alpha) d\alpha, K = K^+ \\ 2 \int_0^1 \alpha \cdot \varphi_{\tilde{K}Z}^+(\alpha) d\alpha, K = K^- \end{cases}, \quad (32)$$

$$\varphi_{\tilde{K}Z}^-(\alpha) = \begin{cases} 0, Z \leq \underline{K}^\alpha \\ Z - \underline{K}^\alpha, \underline{K}^\alpha < Z < \overline{K}^\alpha \\ \overline{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha, \overline{K}^\alpha \leq Z \end{cases}, \quad (33)$$

$$\varphi_{\tilde{K}Z}^+(\alpha) = \begin{cases} 0, \overline{K}^\alpha \leq Z \\ \overline{K}^\alpha - Z, \underline{K}^\alpha < Z < \overline{K}^\alpha \\ \overline{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha, Z \leq \underline{K}^\alpha \end{cases}, \quad (34)$$

$$\alpha \in [0, 1], \quad (35)$$

$$Z \in \{Re(\tilde{K}), G(K)\},$$

де $ASR_Z(\tilde{K})$ – середній однобічний розмах варіації для нечіткої оцінки критерію K відносно бази зіставлення (порівняння) Z ;

$ASR_Z^{(-)}(\tilde{K})$, $ASR_Z^{(+)}(\tilde{K})$ – відповідно середній від'ємний (нижній) і середній додатний (верхній) розмах варіації в межах нечіткої оцінки \tilde{K} по відношенню до бази Z .

Для дискретної постановки:

$$ASR_Z(\tilde{K}) = \begin{cases} ASR_Z^{(-)}(\tilde{K}), K = K^+ \\ ASR_Z^{(+)}(\tilde{K}), K = K^- \end{cases} = \begin{cases} \sum_{i=1}^n w(\alpha_i) \cdot \varphi_{\tilde{K}Z}^-(\alpha_i), K = K^+ \\ \sum_{i=1}^n w(\alpha_i) \cdot \varphi_{\tilde{K}Z}^+(\alpha_i), K = K^- \end{cases}, \quad (36)$$

$$\varphi_{\tilde{K}Z}^-(\alpha_i) = \begin{cases} 0, Z \leq \underline{K}^{\alpha_i} \\ Z - \underline{K}^{\alpha_i}, \underline{K}^{\alpha_i} < Z < \overline{K}^{\alpha_i} \\ \overline{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}, \overline{K}^{\alpha_i} \leq Z \end{cases}, \quad (37)$$

$$\varphi_{\tilde{K}Z}^+(\alpha_i) = \begin{cases} 0, \overline{K}^{\alpha_i} \leq Z \\ \overline{K}^{\alpha_i} - Z, \underline{K}^{\alpha_i} < Z < \overline{K}^{\alpha_i} \\ \overline{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}, Z \leq \underline{K}^{\alpha_i} \end{cases}, \quad (38)$$

$$w(\alpha_i) = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad (39)$$

$$\alpha_i = i/n, \quad i = \overline{1, n}, \quad (40)$$

$$Z \in \{Re(\tilde{K}), G(K)\}.$$

Доцільно розрізняти два види середнього однобічного розмаху варіації, залежно від того, який показник – $Re(\tilde{K})$ чи $G(K)$ – береться як база зіставлення:

- ✦ якщо $Z = Re(\tilde{K})$, то має місце різновид середнього однобічного розмаху варіації, який зручно і коректно називати середнім центральним розмахом варіації;
- ✦ якщо $Z = G(K)$, то одержуваний при цьому різновид середнього однобічного розмаху варіації природно називати середнім цільовим розмахом варіації.

Нескладно побачити, що для представлених вище показників варіабельності є справедливими такі рівності, які слід розцінювати як свідчення взаємної узгодженості їх конструкцій:

$$MAD(\tilde{K}) = SeD_{Re}^{(-)}(\tilde{K}) + SeD_{Re}^{(+)}(\tilde{K}), \quad (41)$$

$$AR(\tilde{K}) = ASR_Z^{(-)}(\tilde{K}) + ASR_Z^{(+)}(\tilde{K}). \quad (42)$$

Продемонструємо розглянуті нечітко множинні адаптації показників ступеня ризику на умовному прикладі.

Нехай оцінка критерію ефективності K деякого господарського заходу припускає нечітку форму представлення. Її параметри відображено в *табл. 1*. Також покладемо, що використовуваний критеріальний

показник має позитивний інгредієнт: $K = K^+$. Для критерію K необхідно знайти такі показники ступеня ризику: $MAD(\tilde{K})$, $AR(\tilde{K})$, $SeD_Z(\tilde{K})$, $ASR_Z(\tilde{K})$.

Таблиця 1

Параметри нечіткої оцінки критерію ефективності K

α	\underline{K}^α	\overline{K}^α	α	\underline{K}^α	\overline{K}^α
0	-5	58,4	0,6	2,1	23
0,1	-4,1	50,6	0,7	3,8	19,3
0,2	-3,1	43,6	0,8	5,7	15,9
0,3	-2	37,5	0,9	7,9	12,9
0,4	-0,8	32,1	1	10,2	10,2
0,5	0,6	27,3	-	-	-

Запропоновану умовну ситуацію унаочнює рис. 1, на якому зображено графік нечіткої оцінки критерію ефективності K .

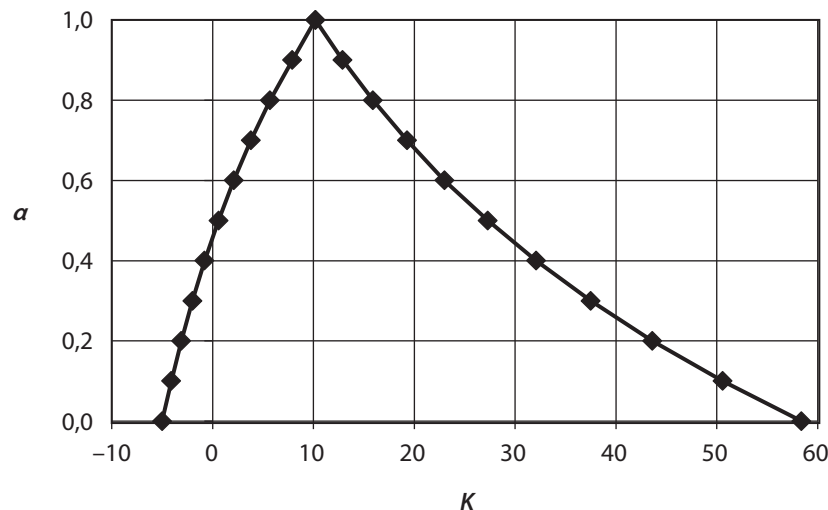


Рис. 1. Графік нечіткої оцінки критерію ефективності K

Виберемо як базу зіставлення моду аналізованої нечіткої оцінки, тобто $Z(\tilde{K}) = 10,2$. Після виконання необхідних обчислювальних процедур отримуємо такі значення шуканих показників:

$$MAD(\tilde{K}) = 8,111; AR(\tilde{K}) = 16,222;$$

$$SeD_Z(\tilde{K}) = 2,905; ASR_Z(\tilde{K}) = 5,811.$$

Візьмемо тепер як базу порівняння репрезентативне число розглядуваної нечіткої оцінки, знайдене за допомогою методу середнього α -зваженого [25]. У цьому разі $Z(\tilde{K}) = 12,5$. Тоді досліджувані показники набудуть значень:

$$MAD(\tilde{K}) = 8,529; AR(\tilde{K}) = 16,222;$$

$$SeD_Z(\tilde{K}) = 4,265; ASR_Z(\tilde{K}) = 7,693.$$

ВИСНОВКИ

Підбиваючи підсумки проведеного дослідження, можна констатувати таке. Поряд з невизначеністю, яка припускає звернення до теорії імовірностей і математичної статистики, економіці властива невизначеність іншого роду, яка не може бути описана та проаналізована за допомогою ймовірнісно статистичних методів. Останню, відповідно до її характеру, прийнято називати нестохастичною. За теперішнього часу як один із базових підходів до моделювання нестохастичної невизначеності в управлінні економічними системами виступає методологія на основі теорії нечітких множин. Серед різних інших питань, пов'язаних з використанням нечіткої множинної методології в економіці, свою актуальність зберігає питання формування в її межах повномасштабного методичного апарату для кількісного оцінювання ступеня ризику.

У дослідженні було реалізоване завдання доопрацювання показника середнього однобічного розмаху варіації, а також можливої нечіткої множинної адаптації показника середнього абсолютного семівід-

хилення (скорочено: семівідхилення), сформульованих нами раніше. Свідченням коректності запропонованих методичних конструкцій є справедливості для них рівностей, які фіксують їх зв'язок з показниками, відповідно, середнього розмаху варіації та середнього абсолютного відхилення.

На завершення зазначимо, що перспективним напрямом подальших наукових зусиль за порушеною в публікації проблематикою є дослідження та розвиток інструментальних засобів для підтримки прийняття економічних рішень, які дають змогу одночасно враховувати різні види невизначеності. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. Смоляк С. А. Оценка эффективности инвестиционных проектов в условиях риска и неопределенности (теория ожидаемого эффекта). М. : Наука, 2012. 158 с.

- 2. Вітлінський В. В., Великоіваненко Г. І.** Ризикологія в економіці та підприємстві : монографія. Київ : КНЕУ, 2004. 480 с.
- 3. Недосекин А. О.** Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко множественных описаний : дис. ... д ра экон. наук : 08.00.13. Санкт Петербург, 2003. 302 с.
- 4.** Риск-менеджмент инвестиционного проекта : учебник / под ред. М. В. Грачевой, А. Б. Секерина. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2009. 544 с.
- 5. Воронцовский А. В.** Управление рисками : учебник и практикум. М. : Юрайт, 2016. 414 с.
- 6. Подиновский В. В.** Меры риска как критерии выбора при вероятностной неопределенности. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2015. № 2. С. 60–74.
- 7. Бочарников В. П.** Fuzzy технология: математические основы. Практика моделирования в экономике. СПб. : Наука, 2001. 328 с.
- 8. Дилигенский Н. В., Дымова Л. Г., Севастьянов П. В.** Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология : монография. М. : Машиностроение-1, 2004. 401 с.
- 9. Алтунин А. Е., Семухин М. В.** Расчеты в условиях риска и неопределенности в нефтегазовых технологиях : монография. Тюмень : Изд-во Тюменского государственного университета, 2004. 296 с.
- 10. Чернов В. Г.** Модели поддержки принятия решений в инвестиционной деятельности на основе аппарата нечетких множеств. М. : Горячая линия – Телеком, 2007. 312 с.
- 11. Liu B.** Uncertainty theory. 4th ed. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2015. 487 p.
- 12. Peng J.** Average Value at Risk in Fuzzy Risk Analysis. *Fuzzy Information and Engineering*. 2009. Vol. 2. P. 1303–1313.
- 13. Vercher E., Bermúdez J. D., Segura J. V.** Fuzzy portfolio optimization under downside risk measures. *Fuzzy Sets and Systems*. 2007. Vol. 158. Issue 7. P. 769–782.
- 14. Kahraman C., Kaya İ.** Investment analyses using fuzzy probability concept. *Technological and Economic Development of Economy*. 2010. Vol. 16. No. 1. P. 43–57.
- 15. Georgescu I.** Possibility Theory and the Risk. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2012. XII, 128 p.
- 16. Luban F.** Fuzzy model for risk analysis. *Journal of Industrial Engineering International*. 2007. Vol. 3. No. 5. P. 19–26.
- 17. Деревянко П. М.** Модели и методы принятия стратегических решений по распределению реальных инвестиций предприятия с применением теории нечетких множеств : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.13. Санкт Петербург, 2006. 224 с.
- 18. Гавриленко М. А.** Применение теории нечетких множеств в оценке рисков инвестиционных проектов. *Аудит и финансовый анализ*. 2013. № 5. С. 75–81.
- 19. Федоренко І. А., Мордовцев О. С., Мясников В. О.** Прогнозування інноваційних ризиків машинобудівних підприємств із використанням нечітких множин. *Проблеми економіки*. 2017. № 1. С. 447–456.
- 20. Андренко Е. А., Мордовцев А. С., Мордовцев С. М.** Прогнозирование инвестиционных рисков в условиях неопределенности. *Бизнес Информ*. 2017. № 4. С. 113–118.
- 21. Коцюба О. С.** Вимірювання господарського ризику за нечіткою інтервальними оцінками критеріїв ефективності. *Інвестиції: практика та досвід*. 2016. № 12. С. 29–34.
- 22. Коцюба О. С.** Нечітко множинна адаптація ймовірнісних показників ступеня ризику. *Проблеми економіки*. 2017. № 2. С. 317–323.
- 23. Коцюба О. С.** Інструментарій вимірювання ризику в управлінні економічними системами: нинішній стан та напрями розвитку // Вдосконалення економіки та фінансової системи країни: актуальні проблеми та перспективи : мат. доповідей міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 2 лютого 2018 р.) : у 2 х ч. Запоріжжя : КПУ, 2018. Ч. 2. С. 99–102.
- 24. Леоненков А. В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб. : БХВ Петербург, 2003. 736 с.
- 25. Ахрамейко А. А., Железко Б. А., Ксенович Д. В., Ксенович С. В.** Обобщение метода анализа иерархий Саати для использования нечетко интервальных экспертных данных // Новые информационные технологии : мат. V междунар. науч. конф. (г. Минск, 29–31 окт. 2002 г.). Минск : БГУ, 2002. Т. 1. С. 217–222.

REFERENCES

Akhrameyko, A. A. "Obobshcheniye metoda analiza ierarkhiy Saati dlya ispolzovaniya nechetko-intervalnykh ekspertnykh dannykh" [A Generalization of the Saati Hierarchy Analysis Method for Using Fuzzy-interval Expert Data]. *Novyye informatsionnyye tekhnologii*, vol. 1. Minsk: BGEU, 2002. 217-222.

Altunin, A. Ye., and Semukhin, M. V. *Raschety v usloviyakh riska i neopredelennosti v neftegazovykh tekhnologiyakh* [Settlements under Conditions of Risk and Uncertainty in oil and gas Technologies]. Tyumen: Izd-vo Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2004.

Andrenko, Ye. A., Mordovtsev, A. S., and Mordovtsev, S. M. "Prognozirovaniye investitsionnykh riskov v usloviyakh neopredelennosti" [Forecasting Investment Risks in Conditions of Uncertainty]. *Biznes Inform*, no. 4 (2017): 113-118.

Bocharnikov, V. P. *Fuzzy-tekhnologiya: matematicheskiye osnovy. Praktika modelirovaniya v ekonomike* [Fuzzy Technology: Mathematical Foundations. Modeling Practice in Economics]. St. Petersburg: Nauka, 2001.

Chernov, V. G. *Modeli podderzhki prinyatiya resheniy v investitsionnoy deyatel'nosti na osnove apparata nechetkikh mnozhestv* [Decision Support Models for Investment Activities Based on the Apparatus of Fuzzy Sets]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2007.

Derevyanko, P. M. "Modeli i metody prinyatiya strategicheskikh resheniy po raspredeleniyu realnykh investitsiy predpriyatiya s primeneniym teorii nechetkikh mnozhestv" [Models and Methods for Making Strategic Decisions on the Distribution of Real Enterprise Investments Using the Theory of Fuzzy Sets]: *dis. ... kand. ekon. nauk : 08.00.13*, 2006.

Diligenskiy, N. V., Dymova, L. G., and Sevastyanov, P. V. *Nechetkoye modelirovaniye i mnogokriterialnaya optimizatsiya proizvodstvennykh sistem v usloviyakh neopredelennosti: tekhnologiya, ekonomika, ekologiya* [Fuzzy Modeling and Multi-criteria Optimization of Production Systems in the Face of Uncertainty: Technology, Economics, Ecology]. Moscow: Mashinostroyeniye-1, 2004.

Fedorenko, I. A., Mordovtsev, O. S., and Miasnykov, V. O. "Prohnozuvannya innovatsiynykh ryzykiv mashynobudivnykh pidpriemstv iz vykorystanniam nechitkykh mnozhyn" [Innovation Risks of Machine-Building Enterprises with the Use of Fuzzy Sets]. *Problemy ekonomiky*, no. 1 (2017): 447-456.

Gavrilenko, M. A. "Primeneniye teorii nechetkikh mnozhestv v otsenke riskov investitsionnykh proektov" [The

use of the Theory of Fuzzy Sets in Assessing the Risks of Investment Projects]. *Audit i finansovyy analiz*, no. 5 (2013): 75-81.

Georgescu, I. *Possibility Theory and the Risk*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012.

Kahraman, C., and Kaya, I. "Investment analyses using fuzzy probability concept". *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 16, no. 1 (2010): 43-57.

Kotsiuba, O. S. "Instrumentarii vymiriuvannia ryzyku v upravlinni ekonomichnymy systemamy: nynishnii stan ta napriamy rozvytku" [Risk Measurement Tools in Economic Systems Management: Current Status and Directions of Development]. *Vdoskonalennia ekonomiky ta finansovoi systemy krainy: aktualni problemy ta perspektyvy*, part 2. Zaporizhzhia: KPU, 2018. 99-102.

Kotsiuba, O. S. "Nechitko-mnozhyhna adaptatsiia imovirnisnykh pokaznykiv stupenia ryzyku" [The Fuzzy Adaptation of Probabilistic Risk Indicators]. *Problemy ekonomiky*, no. 2 (2017): 317-323.

Kotsiuba, O. S. "Vymiriuvannia hospodarskoho ryzyku za nechitko-intervalnymy otsinkamy kryteriiv efektyvnosti" [Measurement of Economic Risk Based on Fuzzy Interval Estimates of Efficiency Criteria]. *Investytsii: praktyka ta dosvid*, no. 12 (2016): 29-34.

Leonenkov, A. V. *Nechetkoye modelirovaniye v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy Modeling in MATLAB and FuzzyTECH]. St. Petersburg: BKhV-Peterburg, 2003.

Liu, B. *Uncertainty theory*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2015.

Luban, F. "Fuzzy model for risk analysis". *Journal of Industrial Engineering International*, vol. 3, no. 5 (2007): 19-26.

Nedosekin, A. O. "Metodologicheskiye osnovy modelirovaniya finansovoy deyatelnosti s ispolzovaniyem nechitko-mnozhestvennykh opisaniy" [Methodological Foundations of Modeling Financial Activities Using Fuzzy-multiple Descriptions]: *dis. ... d-ra ekon. nauk: 08.00.13*, 2003.

Peng, J. "Average Value at Risk in Fuzzy Risk Analysis". *Fuzzy Information and Engineering*, vol. 2 (2009): 1303-1313.

Podinovskiy, V. V. "Mery riska kak kriterii vybora pri veroyatnostnoy neopredelennosti" [Risk Measures as Selection Criteria with Probabilistic Uncertainty]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy*, no. 2 (2015): 60-74.

Risk-menedzhment investitsionnogo proekta [Risk Management of an Investment Project]. Moscow: YuNITI-DANA, 2009.

Smolyak, S. A. *Otsenka effektivnosti investitsionnykh proektov v usloviyakh riska i neopredelennosti (teoriya ozhidayemogo efekta)* [Evaluation of the Effectiveness of Investment Projects in Conditions of Risk and Uncertainty (Theory of the Expected Effect)]. Moscow: Nauka, 2012.

Vercher, E., Bermudez, J. D., and Segura, J. V. "Fuzzy portfolio optimization under downside risk measures". *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 158, no. 7 (2007): 769-782.

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

Vorontsovskiy, A. V. *Upravleniye riskami* [Management of Risks]. Moscow: Yurayt, 2016.