

РОЗВИТОК НЕЧІТКО-МНОЖИННОГО АПАРАТУ ВИМІРЮВАННЯ РИЗИКУ: ВИПАДОК ОДНОЧАСНОЇ НЕЧІТКОСТІ КРИТЕРІАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ТА ЙОГО НОРМАТИВУ

© 2019 КОЦЮБА О. С.

УДК 519.866:519.816
JEL Classification: D80; D81

Коцюба О. С.

Розвиток нечітко-множинного апарату вимірювання ризику: випадок одночасної нечіткості критеріального показника та його нормативу

Статтю присвячено розвитку методичного апарату кількісного оцінювання ступеня господарського ризику при моделюванні невизначеності за допомогою теорії нечітких множин. У дослідженні було реалізоване завдання дальшого розроблення нечітко-множинного методу вимірювання ризику на основі теоретико-ймовірнісної аналогії для випадку одночасної нечіткості оцінок критеріального економічного показника (критерію) та його нормативу, які припускають інтервальну за рівнями належності (α -рівнями) форму представлення. У межах цього було сформульовано відповідну розрахункову модель. Також у роботі було приділено увагу ситуації, коли як критерій, так і його норматив моделюються нечіткими величинами з високим ступенем довільності їх структури, яка не припускає інтервального за рівнями належності способу їх представлення. У площині методологічного підходу на основі теоретико-ймовірнісної аналогії для неї була запропонована можлива розрахункова конструкція. Водночас із зазначенням як практично значуща у дослідженні була виокремлена комбінована ситуація, коли для нечіткої оцінки критеріального економічного показника має місце високий ступінь довільності структури, у той час як оцінка його нормативу припускає інтервальну за рівнями належності форму представлення. Для наведеної постановки розглядуваної у роботі проблеми також було сформульовано можливу розрахункову модель. Як перспективний напрям подальших наукових розвідок за порушеним у статті проблемним полем визначено дослідження і розвиток інструментальних засобів для підтримки прийняття рішень в управлінні економічними системами, які дозволяють оперувати одночасно різними видами невизначеності.

Ключові слова: невизначеність, нечіткість, ризик, вимірювання ризику, міра можливості.

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

Табл.: 2. **Формул.:** 34. **Бібл.:** 16.

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 Classification: D80; D81

Коцюба А. С. Развитие нечетко-множественного аппарата измерения риска: случай одновременной нечеткости критерияльного показателя и его норматива

Статья посвящена развитию методического аппарата количественной оценки степени хозяйственного риска при моделировании неопределенности с помощью теории нечетких множеств. В исследовании была реализована задача дальнейшей разработки нечетко-множественного метода измерения риска на основе теоретико-вероятностной аналогии для случая одновременной нечеткости оценок критерияльного экономического показателя (критерия) и его норматива, которые допускают интервальную по уровням принадлежности (α -уровням) форму представления. В рамках этого была сформулирована соответствующая расчетная модель. Также в работе было уделено внимание ситуации, когда как критерий, так и его норматив моделируются нечеткими величинами с высокой степенью произвольности их структуры, которая не допускает интервального по уровням принадлежности способа их представления. В плоскости методологического подхода на основе теоретико-вероятностной аналогии для нее была предложена возможная расчетная конструкция. Наряду с указанным как практически значимая в исследовании была выделена комбинированная ситуация, когда для нечеткой оценки критерияльного экономического показателя имеет место высо-

UDC 519.866:519.816
JEL Classification: D80; D81

Kotsyuba O. S. Development of a Fuzzy Set Apparatus for Risk Measurement: the Case of Simultaneous Fuzziness of the Criterion Indicator and its Standard

The article deals with the development of a methodological apparatus for quantifying the degree of economic risk in modeling uncertainty with the use of fuzzy set theory. The study implements the task of further development of a fuzzy set method for risk measurement based on a probabilistic analogy for a case of simultaneous fuzziness of estimates of the criterion economic indicator (criterion) and its standard, which allow for a presentation form that is interval in terms of levels of membership (α -levels). As part of this, an appropriate calculation model is formulated. Furthermore, the work pays attention to the situation when both the criterion and its standard are modeled by fuzzy values with a high degree of arbitrariness of their structure, which does not allow an interval, in terms of levels of membership, way of representing them. Within the methodological approach, based on the probabilistic analogy, a possible computational design is proposed for this purpose. Along with the above mentioned, the study distinguishes as practically significant a combined situation, when the structure for fuzzy assessment of the criterion economic indicator is characterized with a high degree of randomness, while the assessment of its standard assumes a presentation form that is interval in terms of membership level. Moreover, possible calculation model is formulated for the above statement of the problem under study. As a promising area

кая степень произвольности структуры, в то время как оценка его норматива предполагает интервальную по уровням принадлежности форму представления. Для приведенной постановки рассматриваемой в работе проблемы также была сформулирована возможная расчетная модель. В качестве перспективного направления дальнейших научных изысканий по затронутому в статье проблемному полю определены исследование и развитие инструментальных средств для поддержки принятия решений в управлении экономическими системами, которые позволяют оперировать одновременно разными видами неопределенности.

Ключевые слова: неопределенность, нечеткость, риск, измерение риска, мера возможности.

Табл.: 2. **Формул:** 34. **Библ.:** 16.

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>

for further scientific research on the problem field considered in the article, there identified studying and developing tools to support decision-making in management of economic systems that allow handling simultaneously different types of uncertainty.

Keywords: uncertainty, fuzziness, risk, risk measurement, probability measure.

Tabl.: 2. **Formulae:** 34. **Bibl.:** 16.

Kotsyuba Oleksiy S. – Candidate of Sciences (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>

Вступ. Відповідно до нинішніх уявлень економічної та управлінської наук невизначеність розуміється як фундаментальний феномен, який пронизує процеси функціонування та розвитку економіки на усіх рівнях, призводить у поєднанні з фактором конфліктності до існування ризику, актуалізація якого для суб'єкта господарювання може виражатися у зниженні його ринкової частки, недосягненні запланованого рівня прибутку, або навіть одержанні збитків, втраті активів тощо. Отже, раціональний підхід до управління в економічних системах передбачає неодмінне врахування невизначеності та породжуваного нею ризику.

За ознакою характеру й ступеня невизначеності сучасна наука про ризик (ризикологія) оперує набором інформаційних ситуацій [1, с. 241–243], з якими доводиться стикатися суб'єкту управління під час прийняття рішень. У межах зазначеного набору поряд з ситуаціями, моделювання яких ґрунтується на ймовірнісній методології, окремих поширених випадок розглядається ситуація, формалізований опис якої здійснюється за допомогою математичних конструкцій теорії нечітких множин. Актуальним завданням стосовно розвитку нечітко-множинного підходу в підтримці економічних (виробничих, інвестиційних, фінансових) рішень є створення у його межах повноцінного методичного апарату для оцінювання ступеня ризику.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різні аспекти питання вимірювання ризику з використанням засобів теорії нечітких множин досліджувалися такими зарубіжними і вітчизняними вченими, як Дж. Кахраман, І. Георгеску, Ф. Любан, О. Недосекін, П. Дерев'янка, Т. Тищук, Я. Єлейко, Ю. Щербина, С. Дмитрів та ін. [2–8]. Названими авторами не лише узагальнюються наявні напрацювання за порушеним проблемним полем, але також пропонуються нові значущі підходи і методи.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Як одна з найважливіших мір ризику виступає ступінь можливості (ймовірність, якщо використовується теоретико-ймовірнісний підхід) того, що значення показника (критерію) економічної ефективності (привабливості) розглядуваного господарського заходу або виду діяльності (поточне виробництво, інвестиційний проект, фінансові інвестиції) не відповідатиме деякому заданому (гранично припустимому, або цільовому) рівню, тобто нормативу. З формальної точки зору наведений напрям кількісного оцінювання ступеня ризику потребує використання відповідної математичної конструкції можливісної міри. В системі нечітко-множинної методології зазначений формалізм може будуватися по-різному. Конкретно, за теперішнього часу стосовно цього одержали помітний розвиток два базові підходи: на основі теоретико-ймовірнісної аналогії [4; 7; 9; 10], а також на основі інтервальної за рівнями належності (так званими α -рівнями) методології, яка, своєю чергою, має два різновиди – «без» і «з» зважуванням або, якщо звернутися до більш витонченої термінології, – з 0- та α -зважуванням [5; 6; 11; 12]. У персоніфікованому варіанті останні два методичні підходи також припустимо і зручно ідентифікувати як відповідно вихідний (або ж без використання якогось означувального прикметника) і модифікований метод Недосекіна – Воронова.

Нечіткість початкових даних для деякої проблемної ситуації зумовлює нечіткість одержуваних на їх основі критеріальних економічних показників (критеріїв). При цьому одночасно з нечіткістю оцінок критеріїв може мати місце нечіткість їх нормативів. Зрозуміло, що нечітка невизначеність нормативів поряд з нечіткістю критеріїв підвищує складність задачі оцінювання ступеня ризику. Для методу вимірювання ризику на основі інтервальної за рівнями належності (α -рівневої) методології без зважування (ви-

хідного методу Недосекіна – Воронова) це питання досліджувалося передусім О. О. Недосекіним [5]. Для випадку трикутної нечіткості в межах все того ж методу Недосекіна – Воронова воно було піддано аналізу А. М. Кокошем [13]. Одержані зазначеними авторами результати знайшли своє узагальнення у їх спільній праці [14]. Віддаючи належне окресленим здобуткам за порушеною проблемою, є підстави стверджувати, що вони не вичерпують усіх можливих підходів до її розв'язання.

Постановка завдання. Для методологічного підходу на основі теоретико-ймовірнісної аналогії представлена вище проблема була розглянута у нашій статті [15], в межах чого у ній було сформульовано й апробовано на умовному прикладі відповідну розрахункову модель. Наступний аналіз показав можливість і доцільність продовження наукового пошуку за цим напрямом. Цьому й присвячується ця робота.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перш ніж безпосередньо приступити до викладення основного матеріалу, обумовимо, що без зниження рівня загальності здійснюваний нижче розгляд інструментарію вимірювання ризику обмежується випадком критеріальних показників, які оптимізуються в напрямі їх максимуму, тобто мають позитивний інгредієнт. Окрім цього покладемо, що економічний показник, якому належить роль критерію прийняття рішення, а також його норматив моделюються нечіткими оцінками (числами), які припускають інтервальний за рівнями належності спосіб опису і для яких у цілому є справедливими такі властивості.

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

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

$\max\{\alpha | [\underline{G}^\alpha, \overline{G}^\alpha] \subset \tilde{G}, \alpha \in [0, 1]\} = 1$ (умова нормальності нечітких оцінок);

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

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

$$4) \underline{K}^{1,0} \leq \overline{K}^{1,0}, \quad \underline{G}^{1,0} \leq \overline{G}^{1,0};$$

$$5) \forall \{\alpha^*, \alpha^{**}\} \in [0, 1]: \alpha^* < \alpha^{**} \Rightarrow \underline{K}^{\alpha^*} \leq \underline{K}^{\alpha^{**}} \& \overline{K}^{\alpha^*} \leq \overline{K}^{\alpha^{**}}, \quad \underline{G}^{\alpha^*} \leq \underline{G}^{\alpha^{**}} \& \overline{G}^{\alpha^*} \leq \overline{G}^{\alpha^{**}},$$

де K – критеріальний економічний показник (критерій);

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

G – нормативний рівень (норматив) критерію K ;

\tilde{G} – нечітка оцінка (число) нормативного рівня (нормативу) G ;

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

$\underline{G}^\alpha, \overline{G}^\alpha$ – відповідно нижня і верхня границя інтервалу α -рівня нечіткої оцінки нормативу G .

Для дискретного (дискретно-інтервального за рівнями належності) представлення нечітких оцінок критерію і нормативу (тут і далі покладемо, що дискретизація здійснюється через рівні проміжки):

$$1) \max\{\alpha_i | \alpha_i = \Delta\alpha \times i, \Delta\alpha > 0, i = \overline{0, n}\} = 1 \text{ (звідси } \alpha_i = \frac{i}{n}, i = \overline{0, n});$$

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

$$\alpha_i = \frac{i}{n}, \quad i = \overline{0, n};$$

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

$$4) \underline{K}^{1,0} \leq \overline{K}^{1,0}, \quad \underline{G}^{1,0} \leq \overline{G}^{1,0};$$

$$5) \underline{K}^{\alpha_i} \leq \underline{K}^{\alpha_{i+1}}, \quad \overline{K}^{\alpha_{i+1}} \leq \overline{K}^{\alpha_i}, \quad \underline{G}^{\alpha_i} \leq \underline{G}^{\alpha_{i+1}},$$

$$\overline{G}^{\alpha_{i+1}} \leq \overline{G}^{\alpha_i}, \quad \alpha_i = \frac{i}{n}, \quad i = \overline{0, n-1},$$

де i – індекс інтервалу достовірності в дискретно-інтервальному за рівнями належності представленні нечітких оцінок критерію K та нормативу G ;

n – кількість кроків дискретизації в дискретно-інтервальному за рівнями належності представленні нечітких оцінок критерію K та нормативу G ;

α_i – значення функції належності для i -го інтервалу достовірності в дискретно-інтервальному за рівнями належності представленні нечітких оцінок критерію K та нормативу G ;

$\Delta\alpha$ – крок дискретизації в дискретно-інтервальному за рівнями належності представленні нечітких оцінок критерію K та нормативу G ;

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

$\underline{G}^{\alpha_i}, \overline{G}^{\alpha_i}$ – відповідно нижня і верхня границя інтервалу α_i -рівня нечіткої оцінки критерію G .

При зверненні до методу вимірювання ризику на основі інтервальної за рівнями належності (α -рівневої) методології без зважування (вихідної версії методу Недосекіна – Воронова), якщо має місце одночасна нечіткість оцінок критерію і нормативу, показник ступеня ризику слід розраховувати за формулами [5; 14].

У разі неперервної постановки:

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^I = \int_0^1 \phi_{\tilde{K}\tilde{G}}(\alpha) d\alpha, \quad (1)$$

$$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}(\alpha) = \begin{cases} 0, \underline{G}^\alpha \leq \underline{K}^\alpha \\ \frac{(\overline{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha)^2}{2(\overline{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha)(\overline{G}^\alpha - \underline{G}^\alpha)}, \\ \underline{G}^\alpha < \underline{K}^\alpha < \overline{G}^\alpha < \overline{K}^\alpha \\ \frac{(\overline{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha) + (\overline{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha)}{2(\overline{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha)}, \\ \underline{K}^\alpha \leq \underline{G}^\alpha \leq \overline{G}^\alpha \leq \overline{K}^\alpha \ \& \ \underline{K}^\alpha < \overline{K}^\alpha \\ \frac{(\overline{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha) + (\overline{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha)}{2(\overline{G}^\alpha - \underline{G}^\alpha)}, \\ \underline{G}^\alpha \leq \underline{K}^\alpha \leq \overline{K}^\alpha \leq \overline{G}^\alpha \ \& \ \underline{G}^\alpha < \overline{G}^\alpha \\ 1 - \frac{(\overline{K}^\alpha - \underline{G}^\alpha)^2}{2(\overline{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha)(\overline{G}^\alpha - \underline{G}^\alpha)}, \\ \underline{K}^\alpha < \underline{G}^\alpha < \overline{K}^\alpha < \overline{G}^\alpha \\ 1, \overline{K}^\alpha \leq \underline{G}^\alpha \ \& \ \underline{K}^\alpha < \overline{G}^\alpha \end{cases}, \quad (2)$$

$$\alpha \in [0, 1], \quad (3)$$

де $Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^I$ – ступінь ризику згідно з методом Недосекина – Воронова за одночасної нечіткості критеріального показника K та нормативу G ;

$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}(\alpha)$ – ступінь ризику для рівня належності α в разі нечітких оцінок параметрів K та G .

У ситуації дискретної постановки:

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^I = \Delta\alpha \times \sum_{i=1}^n \phi_{\tilde{K}\tilde{G}}(\alpha_i), \quad (4)$$

$$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}(\alpha_i) = \begin{cases} 0, \underline{G}^{\alpha_i} \leq \underline{K}^{\alpha_i} \\ \frac{(\overline{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})^2}{2(\overline{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})(\overline{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i})}, \\ \underline{G}^{\alpha_i} < \underline{K}^{\alpha_i} < \overline{G}^{\alpha_i} < \overline{K}^{\alpha_i} \\ \frac{(\overline{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}) + (\overline{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})}{2(\overline{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})}, \\ \underline{K}^{\alpha_i} \leq \underline{G}^{\alpha_i} \leq \overline{G}^{\alpha_i} \leq \overline{K}^{\alpha_i} \ \& \ \underline{K}^{\alpha_i} < \overline{K}^{\alpha_i} \\ \frac{(\overline{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}) + (\overline{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})}{2(\overline{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i})}, \\ \underline{G}^{\alpha_i} \leq \underline{K}^{\alpha_i} \leq \overline{K}^{\alpha_i} \leq \overline{G}^{\alpha_i} \ \& \ \underline{G}^{\alpha_i} < \overline{G}^{\alpha_i} \\ 1 - \frac{(\overline{K}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i})^2}{2(\overline{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})(\overline{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i})}, \\ \underline{K}^{\alpha_i} < \underline{G}^{\alpha_i} < \overline{K}^{\alpha_i} < \overline{G}^{\alpha_i} \\ 1, \overline{K}^{\alpha_i} \leq \underline{G}^{\alpha_i} \ \& \ \underline{K}^{\alpha_i} < \overline{G}^{\alpha_i} \end{cases}, \quad (5)$$

$$\Delta\alpha = \frac{1}{n}, \quad (6)$$

$$\alpha_i = \frac{i}{n}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

де $\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}(\alpha_i)$ – ступінь ризику за нечітким критерієм K в разі нечіткості нормативу G для рівня належності α_i .

Метод вимірювання ризику на основі інтервальної за рівнями належності (α -рівневої) методології зі зважуванням (модифікована версія методу Недосекина – Воронова) відповідно до його назви передбачає зважування локальних за рівнями належності оцінок ступеня ризику. З урахуванням зазначеного, а також наведених вище формул в ситуації одночасної нечіткості оцінок критеріального показника та його нормативного рівня цей метод реалізується співвідношення [11; 12].

Для неперервної постановки:

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^{Iw} = \int_0^1 w(\alpha) \phi_{\tilde{K}\tilde{G}}(\alpha) d\alpha, \quad (8)$$

$$w(\alpha) = \frac{\alpha}{\int_0^1 \alpha d\alpha} = 2\alpha, \quad \alpha \in [0, 1], \quad (9-10)$$

де $Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^{Iw}$ – ступінь ризику згідно з модифікованим методом Недосекина – Воронова за одночасної нечіткості параметрів K та G ;

$w(\alpha)$ – ваговий коефіцієнт, який відповідає локальній оцінці ризику для рівня належності α .

Для дискретної постановки:

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^{Iw} = \sum_{i=1}^n w(\alpha_i) \phi_{\tilde{K}\tilde{G}}(\alpha_i), \quad (11)$$

$$w(\alpha_i) = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \quad \alpha_i = \frac{i}{n}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (12-13)$$

де $Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^{Iw}$ – ступінь ризику згідно з модифікованим методом Недосекина – Воронова за одночасної нечіткості параметрів K та G ;

$w(\alpha_i)$ – ваговий коефіцієнт, який відповідає локальній оцінці ризику для рівня належності α_i .

Якщо при побудові нечітко-множинної версії аналізованої міри ризику орієнтуватися на її теоретико-ймовірнісну схему, тобто виходити з ідеї теоретико-ймовірнісної аналогії, то з урахуванням конструктивних особливостей інтервальної за рівнями належності форми представлення нечітких оцінок, яку покладено в основу запропонованого дослідження, відповідна розрахункова модель для випадку одночасної нечіткості критерію і нормативу може бути сформульована у такий спосіб.

У разі неперервної постановки:

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \frac{\int_0^1 \phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^*(\alpha) d\alpha}{\int_0^1 \phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^{**}(\alpha) d\alpha}, \quad (14)$$

$$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^*(\alpha) = \begin{cases} 0, \bar{G}^\alpha \leq \underline{K}^\alpha \\ \frac{1}{2}(\bar{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha)^2, \underline{G}^\alpha < \underline{K}^\alpha < \bar{G}^\alpha < \bar{K}^\alpha \\ \frac{1}{2}(\bar{G}^\alpha - \underline{G}^\alpha)[(\underline{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha) + (\bar{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha)], \\ \underline{K}^\alpha \leq \underline{G}^\alpha \leq \bar{G}^\alpha \leq \bar{K}^\alpha \ \& \ \underline{K}^\alpha < \bar{K}^\alpha \\ \frac{1}{2}(\bar{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha)[(\bar{G}^\alpha - \bar{K}^\alpha) + (\bar{G}^\alpha - \underline{K}^\alpha)], \\ \underline{G}^\alpha \leq \underline{K}^\alpha \leq \bar{K}^\alpha \leq \bar{G}^\alpha \ \& \ \underline{G}^\alpha < \bar{G}^\alpha \\ (\bar{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha)(\bar{G}^\alpha - \underline{G}^\alpha) - \frac{1}{2}(\bar{K}^\alpha - \underline{G}^\alpha)^2, \\ \underline{K}^\alpha < \underline{G}^\alpha < \bar{K}^\alpha < \bar{G}^\alpha \\ (\bar{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha)(\bar{G}^\alpha - \underline{G}^\alpha), \bar{K}^\alpha \leq \underline{G}^\alpha \ \& \ \underline{K}^\alpha < \bar{G}^\alpha \end{cases} \quad (15)$$

$$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^{**}(\alpha) = (\bar{K}^\alpha - \underline{K}^\alpha)(\bar{G}^\alpha - \underline{G}^\alpha), \quad (16)$$

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

де $Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P$ – ступінь ризику за одночасної нечіткості критеріального показника K та нормативу G згідно з методом на основі теоретико-ймовірнісної аналогії;

$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^*(\alpha)$ – величина (площа) зони (області) ризику для рівня належності α , де остання являє собою фігуру, утворену можливими комбінаціями параметрів K та G в межах зазначеного значення функції належності, для яких виконується умова: $K < G$;

$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^{**}(\alpha)$ – величина (площа) зони (області) усіх можливих комбінацій параметрів K та G для рівня належності α .

У ситуації дискретної постановки:

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \frac{\Delta\alpha \times \sum_{i=1}^n \phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^*(\alpha_i)}{\sum_{i=1}^n \phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^{**}(\alpha_i)} = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^*(\alpha_i)}{\sum_{i=1}^n \phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^{**}(\alpha_i)}, \quad (18)$$

$$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^*(\alpha_i) = \begin{cases} 0, \bar{G}^{\alpha_i} \leq \underline{K}^{\alpha_i} \\ \frac{1}{2}(\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})^2, \underline{G}^{\alpha_i} < \underline{K}^{\alpha_i} < \bar{G}^{\alpha_i} < \bar{K}^{\alpha_i} \\ \frac{1}{2}(\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i})[(\underline{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i}) + (\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})], \\ \underline{K}^{\alpha_i} \leq \underline{G}^{\alpha_i} \leq \bar{G}^{\alpha_i} \leq \bar{K}^{\alpha_i} \ \& \ \underline{K}^{\alpha_i} < \bar{K}^{\alpha_i} \\ \frac{1}{2}(\bar{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})[(\bar{G}^{\alpha_i} - \bar{K}^{\alpha_i}) + (\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})], \\ \underline{G}^{\alpha_i} \leq \underline{K}^{\alpha_i} \leq \bar{K}^{\alpha_i} \leq \bar{G}^{\alpha_i} \ \& \ \underline{G}^{\alpha_i} < \bar{G}^{\alpha_i} \\ (\bar{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})(\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i}) - \frac{1}{2}(\bar{K}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i})^2, \\ \underline{K}^{\alpha_i} < \underline{G}^{\alpha_i} < \bar{K}^{\alpha_i} < \bar{G}^{\alpha_i} \\ (\bar{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})(\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i}), \\ \bar{K}^{\alpha_i} \leq \underline{G}^{\alpha_i} \ \& \ \underline{K}^{\alpha_i} < \bar{G}^{\alpha_i} \end{cases} \quad (19)$$

$$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^{**}(\alpha_i) = (\bar{K}^{\alpha_i} - \underline{K}^{\alpha_i})(\bar{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i}), \quad (20)$$

$$\Delta\alpha = \frac{1}{n}, \quad (21)$$

$$\alpha_i = \frac{i}{n}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (22)$$

де $\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^*(\alpha_i)$ – величина (площа) зони (області) ризику для рівня належності α_i , де остання являє собою фігуру, утворену можливими комбінаціями параметрів K та G в межах зазначеного значення функції належності, для яких є справедливою умова: $K < G$;

$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^{**}(\alpha_i)$ – величина (площа) зони (області) усіх можливих комбінацій параметрів K та G для рівня належності α_i .

Розглянемо реалізацію викладених підходів на гіпотетичному розрахунковому прикладі.

Нехай оцінки критерію і нормативу економічної ефективності деякого господарського заходу або виду діяльності (поточне виробництво, інвестиційний проект, фінансові інвестиції) характеризуються трикутною нечіткістю, млн гр. од.:

$$\tilde{K} = (-500, 300, 700), \quad \tilde{G} = (-150, 0, 200).$$

Необхідно визначити величину ризику цього заходу (діяльності) відносно критеріального показника за допомогою вихідної і модифікованої версії методу Недосекина – Воронова, а також методу на основі теоретико-ймовірнісної аналогії.

В табл. 1 і 2 зафіксовані результати проміжних обчислень шуканого показника згідно з досліджуваними методами.

Згідно з відомостями табл. 1 і 2 для методу на основі теоретико-ймовірнісної аналогії ступінь ризику в межах розглядуваної гіпотетичної ситуації є максимальним і становить 0,312. При зверненні до модифікованого мето-

Таблиця 1

Значення проміжних параметрів для оцінювання ступеня ризику неефективності господарського заходу (діяльності) в разі одночасної нечіткості критерію та нормативу на основі вихідної і модифікованої версій методу Недосекіна – Воронова

$\alpha_i, i = \overline{1,10}$	\underline{K}^{α_i} , млн гр. од.	\overline{K}^{α_i} , млн гр. од.	\underline{G}^{α_i} , млн гр. од.	\overline{G}^{α_i} , млн гр. од.	$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}(\alpha_i)$	$w(\alpha_i)$	$w(\alpha_i)\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}(\alpha_i)$
0,1	-420	660	-135	180	0,410	0,018	0,007
0,2	-340	620	-120	160	0,375	0,036	0,014
0,3	-260	580	-105	140	0,330	0,055	0,018
0,4	-180	540	-90	120	0,271	0,073	0,020
0,5	-100	500	-75	100	0,188	0,091	0,017
0,6	-20	460	-60	80	0,074	0,109	0,008
0,7	60	420	-45	60	0,000	0,127	0,000
0,8	140	380	-30	40	0,000	0,145	0,000
0,9	220	340	-15	20	0,000	0,164	0,000
1,0	300	300	0	0	0,000	0,182	0,000
Всього:	-	-	-	-	0,165	1,000	0,084

Джерело: розраховано автором (див. також [15; 16])

Таблиця 2

Значення проміжних параметрів для оцінювання ступеня ризику неефективності господарського заходу (діяльності) в ситуації одночасної нечіткості критерію і нормативу за допомогою сформульованої автором версії методу на основі теоретико-ймовірнісної аналогії

$\alpha_i, i = \overline{1,10}$	\underline{K}^{α_i} , млн гр. од.	\overline{K}^{α_i} , млн гр. од.	\underline{G}^{α_i} , млн гр. од.	\overline{G}^{α_i} , млн гр. од.	$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^*(\alpha_i)$	$\phi_{\tilde{K}\tilde{G}}^{**}(\alpha_i)$
0,1	-420	660	-135	180	139 387,50	340 200,00
0,2	-340	620	-120	160	100 800,00	268 800,00
0,3	-260	580	-105	140	67 987,50	205 800,00
0,4	-180	540	-90	120	40 950,00	151 200,00
0,5	-100	500	-75	100	19 687,50	105 000,00
0,6	-20	460	-60	80	5 000,00	67 200,00
0,7	60	420	-45	60	0,00	37 800,00
0,8	140	380	-30	40	0,00	16 800,00
0,9	220	340	-15	20	0,00	4 200,00
1,0	300	300	0	0	0,00	0,00
Всього:	-	-	-	-	373 812,50	1 197 000,00

Джерело: розраховано автором

ду Недосекіна – Воронова має місце мінімальна величина ризику, яка більш ніж в три з половиною рази менша за попереднє значення – 0,084. Вихідна версія методу Недосекіна – Воронова демонструє ступінь ризику, який дорівнює 0,165, тобто є майже у два рази більшим за останнє значення, і майже у два рази меншим за перше значення.

Очевидно, що представлені вище підходи не ставлять крапку в розв'язанні досліджуваного питання.

Окремого опрацювання потребує ситуація, коли і критеріальний показник, і його норматив описуються нечіткими величинами, які мають високий ступінь довірливості стосовно своєї структури, наприклад, не належать до

нечітких чисел (у розумінні останніх, зафіксованому на початку статті). Як доповнення до основного матеріалу торкнемось її.

Отже, нехай критерій деякого господарського заходу або виду діяльності, а також його норматив моделюються нечіткими оцінками, які не припускають інтервального за рівнями належності (α -рівнями) способу представлення, але можуть бути сформульовані як скінченні сукупності впорядкованих пар, тобто

$$\tilde{K} = \{(K_u, \mu_{\tilde{K}}(K_u)) \mid K_u \in \mathfrak{R}, \mu_{\tilde{K}}(K_u) \in (0, 1], u = \overline{1, U}\}, \quad (23)$$

$$\tilde{G} = \{(G_v, \mu_{\tilde{G}}(G_v)) \mid G_v \in \mathfrak{R}, \mu_{\tilde{G}}(G_v) \in (0, 1], v = \overline{1, V}\}, \quad (24)$$

де U, V – кількість значень у межах носія для нечіткої оцінки критеріального показника K та його нормативу G , відповідно;

K_u – u -те значення для носія нечіткої оцінки критерію K ;

G_v – v -те значення для носія нечіткої оцінки нормативу G ;

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

При зроблених припущеннях ступінь ризику невідповідності критеріального показника K його нормативному рівню G , якщо спиратися на теоретико-ймовірнісні аналогії, може бути визначений так (як і у попередньому викладенні, у розрахунковій моделі нижче припускається, що критерій K оптимізується у напрямі максимуму):

$$\begin{aligned} Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P &= \sum_{v=1}^V \sum_{u=1}^U \beta_{vu} Poss(G = G_v) Poss(K = K_u) = \\ &= \sum_{v=1}^V \left(Poss(G = G_v) \sum_{u=1}^U \beta_{vu} Poss(K = K_u) \right) = \\ &= \sum_{u=1}^U \left(Poss(K = K_u) \sum_{v=1}^V \beta_{vu} Poss(G = G_v) \right), \quad (25) \end{aligned}$$

$$\beta_{vu} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_u \geq G_v, \\ 1, & \text{якщо } K_u < G_v, \end{cases} \quad (26)$$

$$Poss(G = G_v) = \frac{\mu_{\tilde{G}}(G_v)}{\sum_{v=1}^V \mu_{\tilde{G}}(G_v)}, \quad (27)$$

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

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

де $Poss(\dots)$ – ступінь можливості відповідної події.

Поряд з висвітленим, як практично значуща щодо задач управління в економіці й бізнесі виступає комбінована ситуація, коли нечітка оцінка критеріального економічного показника характеризується високим ступенем довірливості своєї структури, у той час як оцінка його нормативу припускає інтервальну за рівнями належності форму представлення. Для оговорених припущень ступінь ризику невідповідності критерію K його нормативу G , якщо виходити з теоретико-ймовірнісних аналогій, може бути знайдений за допомогою співвідношень (як і раніше, нижче передбачається, що критеріальний показник K оптимізується у напрямі максимуму):

$$Risk_{\tilde{K}\tilde{G}}^P = \sum_{u=1}^U Poss(K = K_u) \times Poss(K_u < G), \quad (29)$$

$$Poss(K = K_u) = \frac{\mu_{\tilde{K}}(K_u)}{\sum_{u=1}^U \mu_{\tilde{K}}(K_u)}, \quad (30)$$

$$Poss(K_u < G) = \frac{\sum_{i=1}^n f_1(K_u, \alpha_i)}{\sum_{i=1}^n f_2(\alpha_i)}, \quad (31)$$

$$f_1(K_u, \alpha_i) = \begin{cases} 0, & \overline{G}^{\alpha_i} \leq K_u \\ \overline{G}^{\alpha_i} - K_u, & \underline{G}^{\alpha_i} < K_u < \overline{G}^{\alpha_i} \\ \overline{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i}, & K_u \leq \underline{G}^{\alpha_i} \end{cases}, \quad (32)$$

$$f_2(\alpha_i) = \overline{G}^{\alpha_i} - \underline{G}^{\alpha_i}, \quad (33)$$

$$\alpha_i = \frac{i}{n}, \quad i = \overline{1, n}, \quad u = \overline{1, U}. \quad (34)$$

Висновки. У дослідженні було реалізоване завдання дальшого розроблення нечітко-множинного методу вимірювання ризику на основі теоретико-ймовірнісної аналогії для випадку одночасної нечіткості оцінок критеріального економічного показника (критерію) та його нормативу, які припускають інтервальну за рівнями належності (α -рівнями) форму представлення. У межах цього була сформульована відповідна розрахункова модель.

Також у роботі було приділено увагу ситуації, коли як критерій, так і його норматив моделюються нечіткими величинами з високим ступенем довірливості їх структури, яка не припускає інтервального за рівнями належності способу їх представлення. У площині методологічного підходу на основі теоретико-ймовірнісної аналогії для неї була запропонована можлива розрахункова конструкція.

Поряд із зазначеним як практично значуща у дослідженні була виокремлена комбінована ситуація, коли для нечіткої оцінки критеріального економічного показника має місце високий ступінь довірливості структури, у той час як оцінка його нормативу припускає інтервальну за рівнями належності форму представлення. Для наведеної постановки розглядуваної у роботі проблеми також була сформульована можлива розрахункова модель.

На завершення варто зауважити, що перспективним напрямом подальших наукових розвідок за порушеним у статті проблемним полем є дослідження і розвиток інструментальних засобів для підтримки прийняття рішень в управлінні економічними системами, які дозволяють оперувати одночасно різними видами невизначеності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вітлінський В. В., Великоіваненко Г. І. Ризикологія в економіці та підприємстві : монографія. Київ : КНЕУ, 2004. 480 с.

2. Kahraman C., Kaya İ. Investment analyses using fuzzy probability concept. *Technological and Economic Development of Economy*. 2010. Vol. 16. No. 1. P. 43–57.
3. Georgescu I. *Possibility Theory and the Risk*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2012. XII, 128 p.
4. Luban F. Fuzzy model for risk analysis. *Journal of Industrial Engineering International*. 2007. Vol. 3, no. 5. P. 19–26.
5. Недосекин А. О. Применение теории нечетких множеств к задачам управления финансами. *Аудит и финансовый анализ*. 2000. № 2. URL: http://auditfin.com/fin/2000/2/fin_2000_21_rus_04_01.pdf
6. Деревянюк 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.
7. Тищук Т. А. Економіко-математичне моделювання процесів управління проектами на основі теорії нечітких множин : дис. ... канд. экон. наук : 08.03.02. Донецьк, 2001. 160 с.
8. Єлейко Я., Щербина Ю., Дмитрів С. Визначення поняття ризику за допомогою теорії нечітких множин. *Вісник Львівського університету*. Серія : Прикладна математика та інформатика. 2014. Вип. 21. С. 79–83.
9. Алтунин А. Е., Семухин М. В. Расчеты в условиях риска и неопределенности в нефтегазовых технологиях : монография. Тюмень : Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2004. 296 с.
10. Мельников В. И. Применение теории нечетких множеств в анализе рисков инвестиционных проектов. *Экономическая теория, анализ, практика*. 2010. № 3. С. 57–71.
11. Коцюба О. С. Кількісна оцінка господарського ризику в контексті нечітко-множинного моделювання. Київ : КНЕУ, 2006. 23 с. Деп. в ДНТБ України 27.03.06, № 24.
12. Коцюба О. С. Нечітко-множинні методи вимірювання господарського ризику. *Економіка: проблеми теорії та практики*. 2008. Вип. 241 : в 5 т. Т. III. С. 668–699.
13. Кокош А. М. Применение теории нечетких множеств при оценке риска неэффективности инвестиций : курс. раб. Пермь, 2002. URL: sedok.narod.ru/s_files/students/Kokosh_1.zip
14. Недосекин А. О., Кокош А. М. Оценка риска инвестиций для произвольно-размытых факторов инвестиционного проекта. 2003. URL: <http://www.ifel.ru/br3/5.pdf>
15. Коцюба О. С. Оцінювання ступеня ризику в разі одночасної нечіткості критерію і нормативу привабливості господарської діяльності. *Глобальні та національні проблеми економіки* : ел. наук. вид. / голов. ред. Т. В. Стройко. Миколаїв : МНУ, 2015. Вип. 6. URL: <http://global-national.in.ua/archive/6-2015/195.pdf>
16. Коцюба О. С. Оцінювання економічної ефективності реальних інвестицій в умовах невизначеності та ризику : монографія. Київ : КНЕУ, 2019. 287 с.
- Kahraman, C., and Kaya, I. "Investment analyses using fuzzy probability concept". *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 16, no. 1 (2010): 43-57.
- Kokosh, A. M. "Primeneniye teorii nechetkikh mnozhestv pri otsenke riska neeffektivnosti investitsiy" [The Use of the Theory of Fuzzy Sets in Assessing the Risk of Investment Inefficiency]. *sedok.narod.ru/s_files/students/Kokosh_1.zip*
- Kotsyuba, O. S. "Otsiniuvannia stupenia ryzyku v razi odnochasnoi nechitkosti kryteriiu i normatyvu pryvablivosti hospodarskoi diialnosti" [Assessment of the Degree of Risk in the Case of Simultaneously Unclear Criteria and the Standard of Attractiveness of Economic Activity]. *Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky*. 2015. <http://global-national.in.ua/archive/6-2015/195.pdf>
- Kotsyuba, O. S. "Nechitko-mnozhyhnyi metody vymiriuvannia hospodarskoho ryzyku" [Fuzzy Methods for Measuring Economic Risk]. *Ekonomika: problemy teorii ta praktyky*, vol. III, no. 241 (2008): 668-699.
- Kotsyuba, O. S. *Kilkisna otsinka hospodarskoho ryzyku v konteksti nechitko-mnozhyhnoho modeliuвання* [Quantitative Assessment of Economic Risk in the Context of Fuzzy-multiple Modeling]. Kyiv: KNEU, 2006.
- Kotsyuba, O. S. *Otsiniuvannia ekonomichnoi efektyvnosti realnykh investitsiy v umovakh nevyznachenosti ta ryzyku* [Assessing the Economic Efficiency of Real Investment in Uncertainty and Risk]. Kyiv: KNEU, 2019.
- Luban, F. "Fuzzy model for risk analysis". *Journal of Industrial Engineering International*, vol. 3, no. 5 (2007): 19-26.
- Melnikov, V. I. "Primeneniye teorii nechetkikh mnozhestv v analize riskov investitsionnykh projektov" [Application of the Theory of Fuzzy Sets in Risk Analysis of Investment Projects]. *Ekonomicheskaya teoriya, analiz, praktika*, no. 3 (2010): 57-71.
- Nedosekin, A. O. "Primeneniye teorii nechetkikh mnozhestv k zadacham upravleniya finansami" [Application of the Theory of Fuzzy Sets to the Problems of Financial Management]. *Audit i finansovyy analiz*. 2000. http://auditfin.com/fin/2000/2/fin_2000_21_rus_04_01.pdf
- Nedosekin, A. O., and Kokosh, A. M. "Otsenka riska investitsiy dlya proizvolno razmytykh faktorov investitsionnogo proekta" [Investment Risk Assessment for Arbitrarily Diffuse Factors of an Investment Project]. 2003. <http://www.ifel.ru/br3/5.pdf>
- Tyshchuk, T. A. "Ekonomiko matematychno modeliuвання protsesiv upravlinnia proektamy na osnovi teorii nechitkykh mnozhyh" [Economic Mathematical Modeling of Project Management Processes Based on Fuzzy set Theory]: *dys. ... kand. ekon. nauk* : 08.03.02, 2001.
- Vitlinskiy, V. V., and Velykoivanenko, H. I. *Ryzykologhiya v ekonomitsi ta pidpriemnytsvii* [Riskology in Economics and Entrepreneurship]. Kyiv: KNEU, 2004.
- Yeleiko, Ya., Shcherbyna, Yu., and Dmytriv, S. "Vyznachennia poniattia ryzyku za dopomohoiu teorii nechitkykh mnozhyh" [Definition of Risk Concept Using Fuzzy set Theory]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya : Prykladna matematika ta informatyka*, no. 21 (2014): 79-83.

REFERENCES

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 Tyumen. gos. un-ta, 2004.

Derevyanko, P. M. "Modeli i metody prinyatiya strategicheskikh resheniy po raspredeleniyu realnykh investitsiy predpriyatiya s primeneniye 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.

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

Стаття надійшла до редакції 05.11.2019 р.