

## АНАЛІТИЧНА ПІДТРИМКА ВИБОРУ НАЙКРАЩОГО ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПРОЕКТУ В УМОВАХ НЕЧІТКИХ ДАНИХ

© 2017 КОЦЮБА О. С.

УДК 658:330.322:519.866

Коцюба О. С.

### Аналітична підтримка вибору найкращого інвестиційного проекту в умовах нечітких даних

Статтю присвячено проблемі оптимального вибору у сфері реальних інвестицій у разі нечітких оцінок фінансово-економічних параметрів. Загально-методологічний базис дослідження становить інтеграційний підхід до розв'язання задач прийняття рішень в умовах невизначеності, конфліктності та породженого ними ризику на основі теорії ігор, запропонований Р. І. Трухачевим. В останні десятиріччя він набув активного розвитку в працях наукової школи ризикології під керівництвом В. В. Вітлінського. Одним зі системотвірних компонентів зазначеної інтеграційно-ігрової методології є класифікатор інформаційних ситуацій (всього їх виокремлюється сім). При цьому опис можливих станів економічного середовища нечіткою множиною (підмножиною) відповідає сьомій інформаційній ситуації. В роботі було здійснено спробу розвитку методичного апарату для задачі вибору найкращого інвестиційного проекту з множини альтернативних проектів в умовах нечітких даних. У результаті було сформульовано модель, яка ґрунтується на використанні згортки локальних критеріїв. Відповідно до прийнятих методологічних настанов структура узагальненого (інтегрованого) показника економічної привабливості (ефективності) реальних інвестицій передбачає три ієрархічні рівні: перший – деталізованих критеріїв у розрізі часткових критеріїв (фінансового ефекту, доходності, терміну окупності), другий – часткових критеріїв, третій – власне узагальнений показник. У базовому варіанті запропонованої моделі серед можливих способів (методів) агрегування показників, які деталізують аспекти нечітких оцінок часткових критеріїв, перевага віддана способу, згідно з яким вони поєднуються між собою за допомогою комбінованої, адитивно-мультиплікативної, згортки.

**Ключові слова:** інвестиційний проект, оптимальний вибір, невизначеність, нечіткість, ризик, згортка критеріїв.

**Формул:** 67. **Бібл.:** 22.

**Коцюба Олексій Станіславович** – кандидат економічних наук, доцент, докторант кафедри стратегії підприємств, Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана (просп. Перемоги, 54/1, Київ, 03057, Україна)

**E-mail:** as\_kotsyuba@ukr.net

УДК 658:330.322:519.866

UDC 658:330.322:519.866

### Коцюба А. С. Аналитическая поддержка выбора наилучшего инвестиционного проекта в условиях нечетких данных

### Kotsyuba O. S. Analytical Support for Selecting the Best Investment Project in the Presence of Fuzzy Data

Статья посвящена проблеме оптимального выбора в сфере реальных инвестиций в случае нечетких оценок финансово-экономических параметров. Общеметодологический базис исследования составляет интеграционный подход к решению задач принятия решений в условиях неопределенности, конфликтности и порожденного ими риска на основе теории игр, предложенный Р. И. Трухачевым. В последние десятилетия он получил активное развитие в трудах научной школы рискологии под руководством В. В. Витлинского. Одним из системообразующих компонентов указанной интеграционно-игровой методологии является классификатор информационных ситуаций (все его выделяется семь). При этом описание возможных состояний экономической среды нечетким множеством (подмножеством) соответствует седьмой информационной ситуации. В работе была предпринята попытка развития методического аппарата для задачи выбора наилучшего инвестиционного проекта из множества альтернативных проектов в условиях нечетких данных. В результате была сформулирована модель, основанная на использовании сверток локальных критериев. В соответствии с принятыми методологическими установками структура обобщенного (интегрированного) показателя экономической привлекательности (эффективности) реальных инвестиций предусматривает три иерархических уровня: первый – детализированных критериев в разрезе частных критериев (финансового эффекта, доходности, срока окупаемости), второй – частных критериев, третий – собственно обобщенный показатель. В базовом варианте предложенной модели среди возможных способов (методов) агрегирования показателей, детализирующих аспекты нечетких оценок частных критериев, предпочтение отдано способу, согласно которому они соединяются между собой с помощью комбинированной, аддитивно-мультипликативной, свертки.

The article is dedicated to the problem of optimal choice in the field of real investments in case of fuzzy estimates of financial and economic parameters. The general methodological basis of the research is an integrated approach to solving decision-making problems under conditions of uncertainty, conflict, and risk generated by them, based on the game theory, proposed by R. I. Trukhayev. In recent decades, it has been actively developed in papers by the followers of the scientific school of riskology under the leadership of V. V. Vitlinsky. One of the system-forming components of the above integration and game methodology is the classifier of information situations (there singled out seven of them). In this case, the description of possible states of the economic environment by a fuzzy set (a subset) corresponds to the seventh information situation. An attempt was made to develop a methodical apparatus for the task of selecting the best investment project from a variety of alternative projects in the presence of fuzzy data. As a result, a model based on the use of convolutions of local criteria is formulated. In accordance with the accepted methodological guidelines, the structure of the generalized (integral) indicator of the economic attractiveness (efficiency) of real investment provides for three hierarchical levels: 1) the level of detailed criteria in terms of partial criteria (financial effect, profitability, payback period), 2) the level of partial criteria, 3) the level presenting the very generalized indicator. In the basic version of the proposed model, among the possible techniques (methods) for aggregating indicators detailing the aspects of fuzzy estimates of partial criteria, the preference is given to the method by which they are joined by a combined, additive and multiplicative convolution.

**Keywords:** investment project, optimal choice, uncertainty, fuzziness, risk, convolution of criteria.

**Formulae:** 67. **Bibl.:** 22.

**Ключевые слова:** инвестиционный проект, оптимальный выбор, неопределенность, нечеткость, риск, свертка критериев.

**Формул:** 67. **Библ.:** 22.

**Коцюба Алексей Станиславович** – кандидат экономических наук, доцент, докторант кафедры стратегии предприятий, Киевский национальный экономический университет им. В. Гетьмана (просп. Победы, 54/1, Киев, 03057, Украина)

**E-mail:** as\_kotsyuba@ukr.net

**Kotsyuba Oleksiy S.** – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Candidate on Doctor Degree of the Department of Enterprises Strategy, Kyiv National Economic University named after V. Hetman (54/1 Peremohy Ave., Kyiv, 03057, Ukraine)

**E-mail:** as\_kotsyuba@ukr.net

**Постановка проблеми.** Однією з базових проблем у межах управління інвестиційною діяльністю підприємства виробничого профілю є проблема вибору найкращого (оптимального) з точки зору економічної привабливості (ефективності) напряму або варіанта реального інвестування з множини можливих альтернатив. Зазвичай у розпорядженні зацікавленої особи (експерта, суб'єкта прийняття рішення) або групи таких осіб відсутня точна і повна інформація стосовно початкових параметрів розглядуваних інвестиційних проектів. Часто зазначена інформаційна невизначеність має характер нечіткості, що робить неможливим використання методів підтримки прийняття рішень на основі теорії імовірностей і математичної статистики. Відповідно до теперішніх уявлень коректне аналітичне опрацювання даних, представлених нечіткими оцінками, передбачає звернення до методології на основі теорії нечітких множин.

На доповнення до наведеного слід зауважити, що складність проблеми інвестиційного вибору пов'язана також з тим, що економічна привабливість або ефективність реальних інвестицій від самого початку (тобто без урахування проблем, пов'язаних із факторами невизначеності і ризику) являє собою комплексну характеристику. Як економічна категорія економічна привабливість (ефективність) інвестиційного проекту на рівні власника (власників), якому належать активи і фінансові результати проекту, відображає раціональність цього вкладення капіталу з точки зору задоволення його економічних інтересів, виходячи з співвідношення (абсолютного і відносного) та динаміки виражених у грошовій (вартісній) формі вигід і витрат, з урахуванням обмеженості наявного у розпорядженні або доступного для власника проекту капіталу і можливості його альтернативного використання. Згідно із зазначеним кількісна оцінка економічної привабливості (ефективності) інвестиційного проекту виступає як багатовимірна величина, компоненти якої відображають такі його аспекти, як фінансовий ефект, доходність, термін окупності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Входячи до складу основних проблем теорії реальних інвестицій, проблема вибору оптимального інвестиційного проекту в умовах невизначеності та ризику знаходилась і знаходиться у сфері особливої уваги академічного середовища. З огляду на свої структурні властивості її формалізація, тобто формулювання як економіко-математичної задачі, припускає широкий спектр можливих методологічних підходів. Відповідно, сьогодні існує велика кількість моделей цієї задачі, які різняться за ознаками, що мають концептуальний характер.

Як приклади досліджень, що репрезентативно відображають сучасну ситуацію за порушеною проблемою в разі її моделювання на основі нечітко-множинної методології, можна назвати праці, авторами яких є Дж. Кахраман, Д. Кухта, П. Севастьянов, Л. Димова, О. Недосекін, В. Аньшин, І. Дьомкин, І. Царьков, І. Ніконов, В. Чернов, В. Валієв, П. Дерев'яно, Т. Гареев та ін. [1–10].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Нині магістральний напрям розвитку аналітико-інструментальних засобів для задачі раціонального (оптимального) інвестиційного вибору в умовах нечітких даних має полягати, на нашу думку, у забезпеченні цілісності (в сенсі узгодженості та повноти) арсеналу відповідних нечітко-множинних моделей по «вертикалі» і по «горизонталі». Тобто щодо загальнометодологічних принципів (правил) прийняття рішень в ситуації невизначеності та ризику, а також методичного апарату, сформованого за цією проблемою в межах інших видів невизначеності і теорій, які дозволяють їх формалізувати. В останньому випадку йдеться, передусім, про теорію ймовірностей і аналітико-інструментальні засоби на її основі.

**Постановка завдання.** Отже, як мета цього дослідження береться подальше розроблення аналітичного інструментарію для задачі вибору найбільш привабливого інвестиційного проекту в умовах нечітких даних, яке передбачається здійснити в окресленому вище напрямі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Побудова правил прийняття рішень у ситуації невизначеності і ризику може здійснюватися виходячи з різних методологічних настанов або концепцій. Однією з них є теорія ігор, закладена Дж. фон Нейманом і О. Моргенштерном [11]. З опорою на теорію ігор як «оболонкову» або інтегруючу концепцію в останній чверті минулого сторіччя радянським ученим Р. І. Трухачевим було запропоновано узагальнений підхід або методологію розв'язання задач прийняття рішень, обтяжених невизначеністю, конфліктністю та породженими ними ризиком [12]. За теперішнього часу вона активно розбудовується в межах наукової школи ризикології проф. В. В. Віталінського [13; 14]. Наскільки можна судити, за своїм первинним задумом і досягнутим характером (рівнем) зазначена методологія будується як узагальнююча або інтеграційна щодо широкого кола відповідних підходів і методів. Отже, зручно і коректно називати її інтеграційно-ігровою.

Одним із базисів інтеграційно-ігрової методології, який утворює її своєрідну «систему координат», є класифікатор інформаційних ситуацій (всього їх виокремлюється сім), де під інформаційною ситуацією слід розуміти «пев-

ний ступінь градації невизначеності щодо перебування економічного середовища в одному зі своїх можливих станів у момент прийняття суб'єктом (гравцем) рішення» [13, с. 241]. При цьому випадок нечіткої (розмитої, розпливчатої) множини станів економічного середовища відповідає сьомій інформаційній ситуації.

Другим базисом розглядуваного підходу є концептуальна конструкція для формування оптимального рішення в умовах невизначеності та ризику, згідно з якою створення конкретної математичної моделі оптимального вибору в разі деякої інформаційної ситуації потребує фіксації таких структурних параметрів або компонентів [14, с. 198–202]:

- 1) набору локальних критеріїв;
- 2) способу (методу) нормалізації локальних критеріїв;
- 3) принципу (схеми) врахування пріоритету (важливості) для локальних критеріїв;
- 4) принципу (схеми) компромісу для локальних критеріїв.

Власне, сукупність можливих варіантів (версій) наведених параметрів, а також їх комбінацій і утворюють розмаїття можливих математичних моделей для задачі вибору найкращої альтернативи в межах окремої інформаційної ситуації. Як і в разі інформаційних ситуацій, які описуються за допомогою теорії імовірностей, ситуація, за якої можливі стани економічного середовища задаються нечіткою множиною (підмножиною), припускає використання різних методичних підходів. Так само, як і при теоретико-імовірнісному моделюванні, поряд з іншим інтерес становить вдосконалення і розвиток інструментальних засобів підтримки прийняття інвестиційних рішень в умовах нечітких даних, які ґрунтуються на гнучкому врахуванні пріоритету, коли відповідна математична модель реалізується як той чи інший варіант згортки (згортки критеріїв), тобто скалярна функція від оцінок локальних критеріїв і вагових коефіцієнтів. Розглянемо спочатку найпростіший випадок, коли рішення приймається на основі лише одного з часткових критеріїв економічної ефективності реальних інвестицій.

Отже, нехай суб'єкт економічної діяльності розглядає сукупність з  $m$  інвестиційних проектів (варіантів проекту), з яких на основі деякого часткового показника економічної привабливості (ефективності) –  $K$ , який взято як базу аналізу, потрібно обрати найкращий. Для зручності називатимемо далі цей показник просто критерієм ефективності. Покладемо також, що критерій ефективності має додатний (позитивний) інгредієнт, тобто оптимізується в напрямі максимуму, і для кожної інвестиційної альтернативи описується нечітким (нечітко-інтервальним) числом (оцінкою). Під останнім розумітимемо [15, с. 137–157] нечітку величину з нормальною і опуклою функцією належності, яка припускає інтервальний за рівнями належності спосіб формалізації.

Перш за все нагадаємо, що принцип (критерій) оптимальності в умовах невизначеності має містити дві складові [16, с. 159]:

- 1) характеристику центра групування значень для кожного з показників, на основі яких оцінюються економічна привабливість (ефективність) рішен-

ня (альтернативи) і які моделюються недетермінованими (випадковими, інтервальними, нечіткими) величинами;

- 2) характеристику ризикового аспекту досліджуваного рішення, виходячи з недетермінованих (випадкових, інтервальних, нечітких) величин для показників його економічної привабливості (ефективності).

Показники, які втілюють викладені аспекти принципу оптимальності в ситуації невизначеності, являють собою особливий різновид локальних критеріїв (локальні критерії нижнього рівня ієрархії). Відповідно до їх функціонального значення їх зручно і доцільно називати деталізованими критеріями (параметрами).

В межах нечітко-множинної методології формалізом, який припускає інтерпретацію як параметр, який виконує роль, аналогічну ролі показника центра групування значень випадкової величини у теорії імовірностей, є так зване репрезентативне число або значення. З формальної точки зору репрезентативне число (значення) нечіткої величини являє собою детерміноване (точкове) значення, одержане шляхом процедури, яка називається дефазифікацією. Так само, як і для показників центра групування з теорії імовірностей, репрезентативне число може знаходитися в різний спосіб (за допомогою різних методів дефазифікації): як центр ваги, як центр площі, як мода, як квазімодальне значення, а також на основі інших підходів [15, с. 197–201; 17, с. 789–790; 18, с. 220–221].

Сформулюємо для запропонованої модельної (гіпотетичної) ситуації можливі стандартні (стандартизовані) варіанти згорток, поклавши в їх основу такі деталізовані критерії:

- 1) одне репрезентативне значення нечіткого числа критерію ефективності;
- 2) два показники міри ризику – ступінь можливості невідповідності значення критерію ефективності своєму нормативному рівню (нормативу), а також так зване ефективне значення [13, с. 184–185], під яким в разі нечітко-множинного підходу слід розуміти найгірше значення критерію ефективності в межах замикання носія його нечіткої оцінки, або ж його найгірше значення, що зі ступенем можливості (надійності, довіри)  $\beta$ ,  $0 < \beta < 1$  не буде перевищене.

Здійснимо подальший аналіз, звернувшись до схеми компромісу, яка означається як принцип справедливої поступки (знижки) [14, с. 235–240]. Враховуючи, що ця схема має два різновиди, – принцип абсолютної поступки і принцип відносної поступки – послідовно використаємо їх обидві.

Принцип абсолютної поступки реалізується як максимізація суми зважених локальних критеріїв. Залежно від способу врахування пріоритету його математична модель для розглядуваної ситуації може бути подана у такий спосіб.

Для лінійного способу врахування пріоритету (в цьому разі відповідне аналітичне співвідношення прийнято також називати адитивною згорткою):

$$SI_j = a_1 {}^H Re(\bar{K}_j) + a_2 {}^H B(\bar{K}_j, \beta) + a_3 {}^H Poss(K_j < G), \quad (1)$$

$${}^H\text{Re}(\tilde{K}_j) = \frac{\text{Re}(\tilde{K}_j) - K_{\min}}{K_{\max} - K_{\min}}, \quad (2)$$

$$K_{\min} = \min\{K_j^0 \mid j = \overline{1, m}\}, K_{\max} = \max\{K_j^0 \mid j = \overline{1, m}\}, \quad (3-4)$$

$${}^HB(\tilde{K}_j, \beta) = \frac{B(\tilde{K}_j, \beta) - K_{\min}}{K_{\max} - K_{\min}}, \quad (5)$$

$$B(\tilde{K}_j, \beta) = \begin{cases} K_j^0, \beta = 1 \\ +B^*(\tilde{K}_j, \beta) : \text{Poss}(K_j < +B^*(\tilde{K}_j, \beta)) = \\ = 1 - \beta, 0 < \beta < 1 \end{cases}, \quad (6)$$

$${}^HPoss(K_j < G) = 1 - \text{Poss}(K_j < G) = \text{Poss}(K_j \geq G), \quad j = \overline{1, m}, \quad (7)$$

$$0 < a_q < 1, \quad q = \overline{1, 3}, \quad a_1 + a_2 + a_3 = 1, \quad (8-9)$$

де  $Sl_j$  – узагальнений (інтегрований) критерій економічної привабливості (ефективності)  $j$ -го інвестиційного проекту;

$K_j$  – значення критеріального показника (критерію) ефективності, який обрано як базу аналізу, для  $j$ -го інвестиційного проекту;

$\tilde{K}_j$  – нечітке число (оцінка) критерію ефективності для  $j$ -го інвестиційного проекту;

$\text{Re}(\tilde{K}_j)$  – репрезентативне значення нечіткого числа (оцінки) критерію ефективності для  $j$ -го інвестиційного проекту;

${}^H\text{Re}(\tilde{K}_j)$  – нормалізоване значення показника  $\text{Re}(\tilde{K}_j)$ ;

$B(\tilde{K}_j, \beta)$  – ефективне значення нечіткого числа (оцінки) критерію ефективності  $j$ -го інвестиційного проекту для рівня надійності (довіри)  $\beta$ ;

$K_j^0, \bar{K}_j^0$  – відповідно точна нижня і точна верхня межа носія нечіткого числа (оцінки) критерію ефективності для  $j$ -го інвестиційного проекту;

$+B^*(\tilde{K}_j, \beta)$  – ефективне значення нечіткого числа (оцінки) критерію ефективності  $j$ -го інвестиційного проекту в разі, коли параметр  $\beta$  набуває значень у проміжку  $(0, 1)$ ;

${}^HB(\tilde{K}_j, \beta)$  – нормалізоване значення показника  $B(\tilde{K}_j, \beta)$ ;

$\text{Poss}(\dots)$  – ступінь можливості відповідної події;

${}^HPoss(\dots)$  – нормалізоване значення показника  $\text{Poss}(\dots)$ ;

$G$  – нормативний рівень (норматив) критерію ефективності,  $G = G(K)$ ;

$a_q, q = \overline{1, 3}$  – вагові коефіцієнти деталізованих критеріїв;

$K_{\min}, K_{\max}$  – відповідно мінімальне та максимальне значення релевантного (тобто такого, що береться до уваги) діапазону (інтервалу) варіювання значень критерію ефективності.

Для показникового методу врахування пріоритету:

$$Sl_j = [{}^H\text{Re}(\tilde{K}_j)]^{a_1} + [{}^HB(\tilde{K}_j, \beta)]^{a_2} + [{}^HPoss(K_j < G)]^{a_3}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (10)$$

З множини порівнюваних інвестиційних альтернатив перевагу слід віддати варіанту, для якого інтегрований критерій економічної ефективності набуває найбільшого значення, при цьому  $Sl_j \in [0, 1], j = \overline{1, m}$ .

Перейдемо тепер до принципу відносної поступки. Він зводиться до максимізації добутку зважених локальних критеріїв. При лінійному способі врахування пріоритету одержуваний узагальнений критерій, як відомо, інваріантний стосовно пріоритету локальних критеріїв [14, с. 238], тому цей варіант згортки нами не розглядатиметься. Якщо ж використати показниковий метод врахування пріоритету, то має місце різновид принципу відносної поступки, відомий як критерій зваженого середньгеометричного. Відповідний вираз прийнято також характеризувати як мультиплікативну згортку. Для аналізованої гіпотетичної ситуації одержувана в цьому разі математична модель може бути подана у вигляді:

$$Sl_j = [{}^H\text{Re}(\tilde{K}_j)]^{a_1} \times [{}^HB(\tilde{K}_j, \beta)]^{a_2} \times [{}^HPoss(K_j < G)]^{a_3}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (11)$$

Враховуючи результати, відображені в [19], поряд з наведеними стандартизованими згортками стосовно досліджуваної проблеми є доцільним використання моделі, в якій репрезентативне й ефективне значення поєднуються (після здійснення нормалізації) як зважена сума, яка, своєю чергою, поєднується із показником  ${}^HPoss(K_j < G)$ ,  $j \in \{1, \dots, m\}$  за допомогою операції добутку, із показниковим способом врахування пріоритету між ними:

$$Sl_j = [a_1 {}^H\text{Re}(\tilde{K}_j) + a_2 {}^HB(\tilde{K}_j, \beta)]^{b_1} \times [{}^HPoss(K_j < G)]^{b_2}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (12)$$

$$0 < a_q < 1, \quad q = 1, 2, \quad a_1 + a_2 = 1, \quad (13-14)$$

$$0 < b_u < 1, \quad u = 1, 2, \quad b_1 + b_2 = 1, \quad (15-16)$$

де  $a_q, q = 1, 2$  – вагові коефіцієнти, які характеризують пріоритет деталізованих критеріїв у межах адитивної частини узагальненого критерію  $Sl_j$ ;

$b_u, u = 1, 2$  – вагові коефіцієнти, які відображають пріоритет компонентів мультиплікативної частини інтегрованого показника  $Sl_j$ .

У частковому випадку, якщо вважати, що  $b_1 = b_2$ , критерій на основі виразу (12) набуває вигляду:

$$Sl_j = [a_1 {}^H\text{Re}(\tilde{K}_j) + a_2 {}^HB(\tilde{K}_j, \beta)] \times [{}^HPoss(K_j < G)], \quad j = \overline{1, m}. \quad (17)$$

В загальному випадку розв'язання проблеми інвестиційного вибору передбачає використання не одного економічного показника, а набору часткових критеріїв економічної ефективності. Яких саме, залежить від методологічних настанов і характеристик порівнюваних інвестиційних альтернатив (масштабу, тривалості тощо). Не знижуючи рівня загальності, виходитимемо далі з припущення, що вибір найкращого інвестиційного проекту здійснюється за допомогою набору, який містить три часткові критерії еко-

номічної ефективності, кожний з яких належить до окремої (за ознакою змістовної однорідності) групи критеріїв: фінансового ефекту, доходності, терміну окупності. Покладемо також, що для всіх інвестиційних альтернатив, з яких виконується вибір, кожний з прийнятих до використання часткових критеріїв може бути знайдений у формі нечіткого (нечітко-інтервального) числа (оцінки).

Відповідно до зроблених припущень структуру задачі вибору оптимального інвестиційного проекту з множини альтернативних варіантів в умовах нечітких даних, якщо її концептуалізувати як домінуючу ієрархію, визначають такі параметри.

Рівень 1:  $Sl_j, j = \overline{1, m}$  – узагальнений (інтегрований) критерій економічної привабливості (ефективності)  $j$ -го інвестиційного проекту.

Рівень 2:  $A(\tilde{E}_j), A(\tilde{Ret}_j), A(\tilde{Per}_j), j = \overline{1, m}$  – агрегат деталізованих критеріїв (інакше кажучи – проміжний критеріальний агрегат) у розрізі нечіткої оцінки показника відповідно фінансового ефекту ( $E$ ), доходності ( $Ret$ ) і терміну окупності ( $Per$ ) для  $j$ -го інвестиційного проекту.

Рівень 3:  $Re(\tilde{E}_j), Re(\tilde{Ret}_j), Re(\tilde{Per}_j), j = \overline{1, m}$  – репрезентативне значення нечіткої оцінки показника відповідно фінансового ефекту, доходності і терміну окупності для  $j$ -го інвестиційного проекту;  $B(\tilde{E}_j, \beta), B(\tilde{Ret}_j, \beta),$

$B(\tilde{Per}_j, \beta), j = \overline{1, m}$  – ефективне значення нечіткої оцінки показника відповідно фінансового ефекту, доходності і терміну окупності  $j$ -го інвестиційного проекту для рівня надійності (довіри)  $\beta$ ;  $Poss(E_j < G(E)), Poss(Ret_j < G(Ret)), Poss(Per_j > G(Per)), j = \overline{1, m}$  – ступінь можливості невідповідності значення показника відповідно фінансового ефекту, доходності і терміну окупності  $j$ -го інвестиційного проекту своєму нормативному рівню (нормативу).

Якщо деталізовані критерії в розрізі відповідних часткових критеріїв агрегувати на основі комбінованого варіанта згортки, розглянутого вище, а одержувані в результаті цього проміжні критеріальні агрегати поєднати між собою шляхом адитивного згортання, то аналізований узагальнений критерій економічної привабливості реальних інвестицій може бути записаний у такий спосіб:

$$Sl_j = c_1 A(\tilde{E}_j) + c_2 A(\tilde{Ret}_j) + c_3 A(\tilde{Per}_j), j = \overline{1, m}, \quad (18)$$

$$A(\tilde{K}_j) = [a_1 {}^H Re(\tilde{K}_j) + a_2 {}^H B(\tilde{K}_j, \beta)]^{b_1} \times [{}^H Risk(\tilde{K}_j, G(K))]^{b_2}, \quad (19)$$

$${}^H Re(\tilde{K}_j) = \begin{cases} \frac{Re(\tilde{K}_j) - K_{\min}}{K_{\max} - K_{\min}}, \text{ якщо } K = K^+ \\ \frac{K_{\max} - Re(\tilde{K}_j)}{K_{\max} - K_{\min}}, \text{ якщо } K = K^- \end{cases}, \quad (20)$$

$$K_{\min} = \min\{K_j^0 \mid j = \overline{1, m}\}, K_{\max} = \max\{K_j^0 \mid j = \overline{1, m}\}, \quad (21-22)$$

$${}^H B(\tilde{K}_j, \beta) = \begin{cases} \frac{B(\tilde{K}_j, \beta) - K_{\min}}{K_{\max} - K_{\min}}, \text{ якщо } K = K^+ \\ \frac{K_{\max} - B(\tilde{K}_j, \beta)}{K_{\max} - K_{\min}}, \text{ якщо } K = K^- \end{cases}, \quad (23)$$

$$B(\tilde{K}_j, \beta) = \begin{cases} B^+(\tilde{K}_j, \beta), \text{ якщо } K = K^+ \\ B^-(\tilde{K}_j, \beta), \text{ якщо } K = K^- \end{cases} \quad (24)$$

$$B^+(\tilde{K}_j, \beta) = \begin{cases} K_j^0, \beta = 1 \\ +B^*(\tilde{K}_j, \beta): Poss(K_j < +B^*(\tilde{K}_j, \beta)) = \\ = 1 - \beta, 0 < \beta < 1 \end{cases}, \quad (25)$$

$$B^-(\tilde{K}_j, \beta) = \begin{cases} \overline{K}_j^0, \beta = 1 \\ -B^*(\tilde{K}_j, \beta): Poss(K_j > -B^*(\tilde{K}_j, \beta)) = \\ = 1 - \beta, 0 < \beta < 1 \end{cases}, \quad (26)$$

$${}^H Risk(\tilde{K}_j, G(K)) = 1 - Risk(\tilde{K}_j, G(K)), \quad (27)$$

$$Risk(\tilde{K}_j, G(K)) = \begin{cases} Poss(K_j < G(K)), \text{ якщо } K = K^+ \\ Poss(K_j > G(K)), \text{ якщо } K = K^- \end{cases}, \quad (28)$$

$$K \in \{E, Ret, Per\}, j = \overline{1, m},$$

$$0 < a_q < 1, q = 1, 2, a_1 + a_2 = 1, \quad (29-30)$$

$$0 < b_u < 1, u = 1, 2, b_1 + b_2 = 1, \quad (31-32)$$

$$0 < c_v < 1, v = \overline{1, 3}, c_1 + c_2 + c_3 = 1, \quad (33-34)$$

де  $\tilde{E}_j, \tilde{Ret}_j, \tilde{Per}_j$  – нечітке число (оцінка) показника відповідно фінансового ефекту, доходності, терміну окупності для  $j$ -го інвестиційного проекту;

$K = K^+, K = K^-, K \in \{E, Ret, Per\}$  – рівності, які фіксують напрям оптимізації критеріального показника  $K$ , в першому випадку це максимальне значення (максимум), у другому – мінімальний рівень (мінімум);

$c_v, v = \overline{1, 3}$  – вагові коефіцієнти, які відбивають пріоритет часткових критеріїв.

Модель (18–34) ґрунтується на єдиній схемі агрегування деталізованих критеріїв. Такий підхід може бути доцільним або прийнятним не завжди. З більш загальної точки зору слід припустити можливість диференційованого способу формування проміжних критеріальних агрегатів:

$$Sl_j = c_1 A_E(\tilde{E}_j) + c_2 A_{Ret}(\tilde{Ret}_j) + c_3 A_{Per}(\tilde{Per}_j), j = \overline{1, m}, \quad (35)$$

де  $A_K(\tilde{K}_j), K \in \{E, Ret, Per\}$  – агрегат деталізованих критеріїв у розрізі нечіткої оцінки часткового критерію економічної ефективності  $K$  для  $j$ -го інвестиційного проекту.

Показовим прикладом ситуації, в межах якої характеристики нечітких оцінок параметрів інвестиційних альтернатив обумовлюють доцільність диференційованого підходу до побудови проміжних критеріальних агрегатів, є ситуація, коли до складу порівнюваних інвестиційних проектів входять проекти з ненульовим ступенем можливості від'ємної чистої теперішньої вартості ( $NPV$ ). Наявність ризику неопукності за показником  $NPV$  виявляється джерелом методологічної проблеми для оцінювання у формі нечіткої величини показника терміну окупності з дисконтуванням ( $DPP$ ). Згідно з результатами її дослідження, проведеним у [5], без гіпотези про припустимість екстраполяції

грошових потоків інвестиційного проекту поза терміном його реалізації вона не може бути подолана в принципі. Як альтернативний виступає підхід моделювати показник *DPP* за допомогою спеціальної функції (так званої функції окупності) [20, с. 10–11]. Структурно вона певною мірою подібна функції розподілу випадкової величини з теорії імовірностей і відображає розподіл ступенів можливості окупності інвестиційного проекту в часі. Водночас між названими формалізмами є і принципові відмінності. В загальному випадку функція окупності не дозволяє знаходити ті самі числові характеристики аналізованого показника, що й нечітка величина (число). Зокрема, відсутня можливість оцінити ефективне значення дисконтованого терміну окупності для будь-якого рівня надійності (значення параметра  $\beta$ ). У той же час зберігається можливість у межах практично значущих ситуацій оцінювати для останнього медіанне значення та ступінь можливості невідповідності нормативу [21; 22].

Нехай суб'єкт економічної діяльності розглядає сукупність, у кількості  $m$ , інвестиційних проектів, з яких на основі показників чистої теперішньої вартості, внутрішньої норми доходності (*IRR*) і дисконтованого терміну окупності йому необхідно обрати найкращий. Покладемо далі, що зазначену проблемну ситуацію характеризують також такі властивості:

- оцінки грошових потоків інвестиційних проектів і ставки дисконтування мають характер або можуть бути представлені у формі нечітких (нечітко-інтервальних) чисел;
- нечітко-числові (нечітко-інтервальні) оцінки (скорочено – нечіткі оцінки) грошових потоків інвестиційних проектів є такими, що дозволяють знаходити нечітку оцінку показника внутрішньої норми доходності;
- до складу аналізованих інвестиційних проектів входять проекти з ненульовим, але меншим 50 %, ризиком неокупності за показником чистої теперішньої вартості. Решта проектів (якщо такі існують) мають окупитися за цим критерієм у межах прогнозних оцінок початкових параметрів;
- для кожного інвестиційного проекту з ненульовим ризиком неокупності за показником *NPV* після мінімального терміну, коли поряд з іншими сценаріями може досягатися окупність, послідовність нечітких оцінок накопиченого дисконтованого ефекту або доходу (*DAE*) є неспадною:

$$\underline{DAE}_k^{\alpha_i} \leq \underline{DAE}_{k+1}^{\alpha_i}, \quad \overline{DAE}_k^{\alpha_i} \leq \overline{DAE}_{k+1}^{\alpha_i}, \quad (36-37)$$

$$k = \overline{k^*}, T, \quad k^* = \min\{k \mid \overline{DAE}_k^{\alpha_i} \geq 0, k = \overline{1, T}\},$$

$$\alpha_i = i/n, \quad i = \overline{0, n}, \quad (38)$$

де  $\underline{DAE}_k^{\alpha_i}, \overline{DAE}_k^{\alpha_i}$  – відповідно нижня і верхня границя інтервалу  $\alpha_i$ -рівня в межах нечіткої оцінки *DAE* для  $k$ -го періоду реалізації інвестиційного проекту;

$\underline{DAE}_{k+1}^{\alpha_i}, \overline{DAE}_{k+1}^{\alpha_i}$  – відповідно нижня і верхня границя інтервалу  $\alpha_i$ -рівня в межах нечіткої оцінки *DAE* для  $k+1$ -го періоду реалізації інвестиційного проекту;

$T$  – термін реалізації інвестиційного проекту (горизонт інвестування).

Умова (36–38) забезпечує вимогу неспадного характеру функції окупності.

В межах аналізованого методичного підходу, з урахуванням наведених вище зауважень і припущень, узагальнений показник економічної привабливості реальних інвестицій для пропонованої модельної (гіпотетичної) ситуації може бути сформульований так:

$$S_j = c_1 A_{NPV}(\tilde{NPV}_j) + c_2 A_{IRR}(\tilde{IRR}_j) + c_3 A_{DPP}(\tilde{DPP}_j), \quad j = \overline{1, m}, \quad (39)$$

$$A_{NPV}(\tilde{NPV}_j) = [a_1 {}^H Re(\tilde{NPV}_j) + a_2 {}^H B(\tilde{NPV}_j, \beta)]^{b_1} \times [{}^H Poss(NPV_j < G(NPV))]^{b_2}, \quad (40)$$

$${}^H Re(\tilde{NPV}_j) = \frac{Re(\tilde{NPV}_j) - NPV_{\min}}{NPV_{\max} - NPV_{\min}}, \quad (41)$$

$$NPV_{\min} = \min\{NPV_j^0 \mid j = \overline{1, m}\}, \quad NPV_{\max} = \max\{NPV_j^0 \mid j = \overline{1, m}\}, \quad (42-43)$$

$${}^H B(\tilde{NPV}_j, \beta) = \frac{B(\tilde{NPV}_j, \beta) - NPV_{\min}}{NPV_{\max} - NPV_{\min}}, \quad (44)$$

$$B(\tilde{NPV}_j, \beta) = \begin{cases} NPV_j^0, & \beta = 1 \\ +B^*(\tilde{NPV}_j, \beta) : Poss(NPV_j < +B^*(\tilde{NPV}_j, \beta)) =, & \\ = 1 - \beta, & 0 < \beta < 1 \end{cases} \quad (45)$$

$${}^H Poss(NPV_j < G(NPV)) = 1 - Poss(NPV_j < G(NPV)), \quad (46)$$

$$A_{IRR}(\tilde{IRR}_j) = [a_1 {}^H Re(\tilde{IRR}_j) + a_2 {}^H B(\tilde{IRR}_j, \beta)]^{b_1} \times [{}^H Poss(IRR_j < G(IRR))]^{b_2}, \quad (47)$$

$${}^H Re(\tilde{IRR}_j) = \frac{Re(\tilde{IRR}_j) - IRR_{\min}}{IRR_{\max} - IRR_{\min}}, \quad (48)$$

$$IRR_{\min} = \min\{IRR_j^0 \mid j = \overline{1, m}\}, \quad IRR_{\max} = \max\{IRR_j^0 \mid j = \overline{1, m}\}, \quad (49-50)$$

$${}^H B(\tilde{IRR}_j, \beta) = \frac{B(\tilde{IRR}_j, \beta) - IRR_{\min}}{IRR_{\max} - IRR_{\min}}, \quad (51)$$

$$B(\tilde{IRR}_j, \beta) = \begin{cases} IRR_j^0, & \beta = 1 \\ +B^*(\tilde{IRR}_j, \beta) : Poss(IRR_j < +B^*(\tilde{IRR}_j, \beta)) =, & \\ = 1 - \beta, & 0 < \beta < 1 \end{cases} \quad (52)$$

$${}^H Poss(IRR_j < G(IRR)) = 1 - Poss(IRR_j < G(IRR)), \quad (53)$$

$$A_{DPP}({}^F DPP_j) = [{}^H Me({}^F DPP_j)]^{b_1} \times [{}^H Poss(DPP_j > G(DPP))]^{b_2}, \quad (54)$$

$${}^H Me({}^F DPP_j) = \frac{DPP_{\max} - Me({}^F DPP_j)}{DPP_{\max} - DPP_{\min}}, \quad (55)$$

$$DPP_{\min} = \min_{j=1, \dots, m} DPP_{\min j}, \quad DPP_{\max} = \max_{j=1, \dots, m} DPP_{\max j}, \quad (56-57)$$

$$DPP_{\min j} = \max_{G \in \mathfrak{R}} \operatorname{argmin} Poss(DPP_j \leq G), \quad (58)$$

$$DPP_{\max j} = \min_{G \in \mathfrak{R}} \operatorname{argmax} Poss(DPP_j \leq G), \quad (59)$$

$${}^H Poss(DPP_j > G(DPP)) = 1 - Poss(DPP_j < G(DPP)), \quad j = \overline{1, m}, \quad (60)$$

$$0 < a_q < 1, \quad q = 1, 2, \quad a_1 + a_2 = 1, \quad (61-62)$$

$$0 < b_u < 1, \quad u = 1, 2, \quad b_1 + b_2 = 1, \quad (63-64)$$

$$0 < c_v < 1, \quad v = \overline{1, 3}, \quad c_1 + c_2 + c_3 = 1, \quad (65-66)$$

де  ${}^F DPP_j$  – недетермінована величина (оцінка) дисконтованого терміну окупності для  $j$ -го інвестиційного проекту, задана у формі функції розподілу ступенів можливості;

$A_{DPP}({}^F DPP_j)$  – агрегат деталізованих критеріїв у розрізі змодельованої за допомогою функції розподілу ступенів можливості недетермінованої величини (оцінки) показника  $DPP$  для  $j$ -го інвестиційного проекту;

$Me({}^F DPP_j)$  – медіанне значення (медіана) заданої на основі функції розподілу ступенів можливості недетермінованої величини (оцінки) показника  $DPP$  для  $j$ -го інвестиційного проекту;

${}^H Me({}^F DPP_j)$  – нормалізоване значення показника  $Me({}^F DPP_j)$ .

Одним із ключових елементів наведеної моделі є медіанне значення недетермінованої величини дисконтованого терміну окупності. Його слід знаходити на основі співвідношення:

$$Poss(DPP_j \leq Me({}^F DPP_j)) = 0,5, \quad j = \overline{1, m}. \quad (67)$$

**Висновки.** Результати проведеного дослідження дозволяють стверджувати таке.

На цей час нечітко-множинна методологія містить у своєму складі арсенал інструментальних засобів, які дозволяють здійснювати обґрунтовану аналітичну підтримку інвестиційних рішень в інформаційній ситуації, коли можливі стани економічного середовища характеризуються нечіткою множиною (підмножиною). Формалізація проблеми раціонального (оптимального) інвестиційного вибору в умовах невизначеності та ризику припускає звернення до різних концептуальних підходів, які зумовлюють побудову різних моделей. В роботі була здійснена спроба розвитку методичного апарату для задачі вибору найкращого інвестиційного проекту в ситуації нечітких даних. В результаті була сформульована модель, яка ґрунтується на використанні згорток локальних критеріїв.

Відповідно до прийнятих методологічних настанов структура узагальненого (інтегрованого) показника економічної привабливості (ефективності) реальних інвестицій передбачає три ієрархічні рівні: перший – деталізованих критеріїв у розрізі часткових критеріїв (фінансового ефекту, доходності, терміну окупності), другий – часткових критеріїв, третій – власне узагальнений показник. У базовому варіанті запропонованої моделі серед можливих способів (методів) агрегування показників, які деталізують аспекти нечітких оцінок часткових критеріїв, перевага віддана способу, згідно з яким вони поєднуються між собою за допомогою комбінованої, адитивно-мультиплікативної, згортки. Зрозуміло, що при цьому не заперечується можливість і доцільність використання інших методів.

Варто також зауважити, що актуальним напрямом подальших наукових розвідок за порушеною в публікації проблематикою є розвиток інструментальних засобів, які спираються на теорію нечітко-випадкових величин, яка являє собою комбіновану версію ймовірнісного і нечітко-множинного підходів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Kahraman C., Gülbay M., Ulukan Z. Applications of Fuzzy Capital Budgeting Techniques. *Fuzzy Applications in Industrial Engineering*. 2006. Vol. 201. P. 177–203.
2. Kahraman C., Tolga A., Yavuz M. Fuzzy Investment Planning and Analyses in Production Systems. *Production Engineering and Management under Fuzziness*. 2010. Vol. 252. P. 279–298.
3. Kuchta D. Robust Selection of Investment Projects // International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economics and Finance FSSCEF 2004: Proceedings, Saint-Petersburg, Russia, June 17–20, 2004. Vol. II. P. 438–445.
4. Dymova L., Sevastjanov P., Sevastianov D. MCDM in a fuzzy setting: Investment projects assessment application. *International Journal of Production Economics*. 2006. Vol. 100, Issue 1. P. 10–29.
5. Недосекин А. О. Нечеткий DPBP и новый подход к рациональному отбору инвестиционных проектов. URL: [http://sedok.narod.ru/s\\_files/2003/Art\\_090603.doc](http://sedok.narod.ru/s_files/2003/Art_090603.doc) (дата обращения: 12.08.2015).
6. Аньшин В. М., Демкин И. В., Царьков И. Н., Никонов И. М. Применение теории нечетких множеств к задаче формирования портфеля проектов. *Проблемы анализа риска*. 2008. Т. 5, № 3. С. 8–21.
7. Чернов В. Г. Модели поддержки принятия решений в инвестиционной деятельности на основе аппарата нечетких множеств. М.: Горячая линия–Телеком, 2007. 312 с.
8. Valiyev V. M. Modeling process of decision making on selection of investment projects in fuzzy circumstances. URL: [http://ecomod.net/system/files/FuzzyProject\\_ENG.doc](http://ecomod.net/system/files/FuzzyProject_ENG.doc) (Last accessed: 05.04.2017).
9. 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.
10. Гареев Т. Ф. Формирование комплексной оценки инноваций на основе нечетко-интервальных описаний: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. Казань, 2009. 268 с.
11. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 708 с.
12. Трухаев Р. И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. М.: Наука, 1981. 258 с.
13. Вітлінський В. В., Великоіваненко Г. І. Ризикологія в економіці та підприємстві: монографія. Київ: КНЕУ, 2004. 480 с.
14. Вітлінський В. В., Верченко П. І., Сігал А. В., Наконечний Я. С. Економічний ризик: ігрові моделі: навч. посіб. Київ: КНЕУ, 2002. 446 с.
15. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.
16. Вітлінський В. В. Кількісне оцінювання ступеня економічного ризику. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Економічні науки*. 2010. № 1 (51). С. 159–162.
17. Ахрамейко А. А., Железко Б. А. Многокритериальные методы обоснования управленческих решений в условиях нестохастической неопределенности данных // V Международ-

ная научно-практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте»: сборник научных трудов (Коломна, 28–30 мая 2009 г.). М.: Физматлит, 2009. Т. 2. С. 785–798.Я

18. 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: материалы V междунар. науч. конф. (Минск, 29–31 окт. 2002 г.). Мн.: БГУ, 2002. Т. 1. С. 217–222.

19. Коцюба О. С. Оптимізація інвестиційного рішення в умовах невизначеності та ризику як багатокритеріальна задача. *Бізнес Інформ*. 2017. № 10. С. 178–182.

20. Тищук Т. А. Економіко-математичне моделювання процесів управління проектами на основі теорії нечітких множин: автореф. дис. ... канд. екон. наук: 08.03.02. Донецьк, 2001. 19 с.

21. Коцюба О. С. Оцінювання дисконтованого терміну окупності інвестиційного проекту за умов нечітких вихідних даних // Глобальні та національні проблеми економіки/голов. ред. Т. В. Стройко. Миколаїв: МНУ, 2016. Вип. 10. URL: <http://global-national.in.ua/archive/10-2016/214.pdf>

22. Коцюба О.С. Вибір інвестиційного проекту з множини альтернативних варіантів в разі нечітко-інтервальних оцінок початкових параметрів // Глобальні та національні проблеми економіки/голов. ред. Т. В. Стройко. Миколаїв: МНУ, 2017. Вип. 15. URL: <http://global-national.in.ua/archive/15-2017/122.pdf>

## REFERENCES

Akhrameyko, A. A. et al. "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.

Akhrameyko, A. A., and Zhelezko, B. A. "Mnogokriterialnyye metody obosnovaniya upravlencheskikh resheniy v usloviyakh nestokhasticheskoy neopredelennosti dannykh" [Multicriteria methods for substantiating management decisions in the context of non-stochastic data uncertainty]. *Integrirovannyye modeli i myagkiye vychisleniya v iskusstvennom intellekte*, vol. 2. Moscow: Fizmatlit, 2009. 785-798.

Anshin, V. M. et al. "Primeneniye teorii nechetkikh mnozhestv k zadache formirovaniya portfelya projektov" [Application of the theory of fuzzy sets to the task of forming a portfolio of projects]. *Problemy analiza riska* vol. 5, no. 3 (2008): 8-21.

Chernov, V. G. *Modeli podderzhki prinyatiya resheniy v investitsionnoy deyatel'nosti na osnove apparata nechetkikh mnozhestv* [Models of decision support in 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 primeneniyyem teorii nechetkikh mnozhestv" [Models and methods for making strategic decisions on the distribution of real investments of an enterprise using the theory of fuzzy sets]: *dis. ... kand. ekon. nauk: 08.00.13*, 2006.

Dymova, L., Sevastjanov, P., and Sevastianov, D. "MCDM in a fuzzy setting: Investment projects assessment application" *International Journal of Production Economics* vol. 100, no. 1 (2006): 10-29.

Gareyev, T. F. "Formirovaniye kompleksnoy otsenki innovatsiy na osnove nechetko-intervalnykh opisaniy" [Formation of a

comprehensive assessment of innovation based on fuzzy-interval descriptions]: *dis. ... kand. ekon. nauk: 08.00.05*, 2009.

Kahraman, C., Gulbay, M., and Ulukan, Z. "Applications of Fuzzy Capital Budgeting Techniques" *Fuzzy Applications in Industrial Engineering* vol. 201 (2006): 177-203.

Kahraman, C., Tolga, A., and Yavuz, M. "Fuzzy Investment Planning and Analyses in Production Systems" *Production Engineering and Management under Fuzziness* vol. 252 (2010): 279-298.

Kotsyuba, O. C. "Vybir investytsiinoho proektu z mnozhyny alternatyvnykh variantiv v razi nechitko-intervalnykh otsinok pochatkovykh parametriv" [Selection of an investment project on the set of alternative options in the case of fuzzy-interval estimates of initial parameters]. *Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky*. 2017. <http://global-national.in.ua/archive/15-2017/122.pdf>

Kotsyuba, O. S. "Optimizatsiia investytsiinoho rishennia v umovakh nevyznachenosti ta ryzyku yak bahatokryterialna zadacha" [Optimization of an investment decision in conditions of uncertainty and risk as a multicriteria task]. *Biznes Inform*, no. 10 (2017): 178-182.

Kotsyuba, O. S. "Otsiniuvannia dyskontovanoho terminu okupnosti investytsiinoho proektu za umov nechitkykh vykhidnykh danykh" [Estimation of the discounted payback period of the investment project in the conditions of fuzzy output data]. *Hlobalni ta natsionalni problemy ekonomiky*. 2016. <http://global-national.in.ua/archive/10-2016/214.pdf>

Kuchta, D. "Robust Selection of Investment Projects" *International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economics and Finance FSSCEF 2004*, vol. 2. St. Petersburg, Russia, 2004. 438-445.

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

Nedosekin, A. O. "Nechetkiy DPBP i novyy podkhod k rationalnomu otboru investitsionnykh projektov" [Fuzzy DPBP and a new approach to the rational selection of investment projects]. [http://sedok.narod.ru/s\\_files/2003/Art\\_090603.doc](http://sedok.narod.ru/s_files/2003/Art_090603.doc)

Neyman, Dzh., and Morgenshtern, O. *Teoriya igr i ekonomicheskoye povedeniye* [Game theory and economic behavior]. Moscow: Nauka, 1970.

Trukhayev, R. I. *Modeli prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelennosti* [Models of decision making in conditions of uncertainty]. Moscow: Nauka, 1981.

Tyshchuk, T. A. "Ekonomiko-matematychne modeliuвання protsesiv upravlinnia projektamy na osnovi teorii nechitkykh mnozhyn" [Economic-mathematical modeling of project management processes based on the theory of fuzzy sets]: *avtoref. dys. ... kand. ekon. nauk: 08.03.02*, 2001.

Valiyev, V. M. "Modeling process of decision making on selection of investment projects in fuzzy circumstances" [http://ecomod.net/system/files/FuzzyProject\\_ENG.doc](http://ecomod.net/system/files/FuzzyProject_ENG.doc)

Vitlinskiy, V. V. "Kiliskne otsiniuvannia stupenia ekonomichnoho ryzyku" [Quantitative assessment of the degree of economic risk]. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Ekonomichni nauky*, no. 1 (51) (2010): 159-162.

Vitlinskiy, V. V. et al. *Ekonomichniy ryzyk: ihrovi modeli* [Economic Risk: Gaming Models]. Kyiv: KNEU, 2002.

Vitlinskiy, V. V., and Velykoivanenko, H. I. *Ryzykolohiia v ekonomitsi ta pidpriemnytstvi* [Riskology in economics and entrepreneurship]. Kyiv: KNEU, 2004.