

Математические методы и модели в экономике

УДК 519.212:330.3

**Мордовцев Александр Сергеевич**

*кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента  
внешнеэкономической деятельности и финансов  
Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

**Мордовцев Олександр Сергійович**

*кандидат економічних наук, доцент кафедри менеджменту  
зовнішньоекономічної діяльності та фінансів  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»*

**Mordovtsev Oleksandr**

*PhD of Economics, Associate Professor of the  
Foreign-Economic Activity Management and Finances Department  
National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»*

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ К ОЦЕНКЕ  
ИНВЕСТИЦИОННЫХ РИСКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ  
ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКИХ МНОЖИН ДО ОЦІНКИ  
ІНВЕСТИЦІЙНИХ РИЗИКІВ ПІДПРИЄМСТВА  
APPLICATION OF FUZZY SETS TO EVALUATION OF INVESTMENT  
RISK OF THE ENTERPRISE**

*Аннотация. Обобщение научных исследований, посвященных оценке и прогнозированию инвестиционных рисков в условиях неопределенности, позволило сделать вывод о целесообразности использования теории нечетких множеств, которые характеризуются непрерывными функциями принадлежности. Это дает возможность, даже в условиях*

неполноты информации, представить нечетким множеством пессимистическую, наиболее вероятную и оптимистическую оценки показателей и прогнозировать риски неэффективности инвестиционного проекта в зависимости от заданных ограничений. В статье предложена модель оценки ожидаемого риска с использованием асимметричной гауссовой функции принадлежности, что расширяет возможности практического использования модели. Получены зависимости риск-функции от параметров, характеризующих инвестиционный проект для двух случаев взаимного расположения функций принадлежности, характеризующих исследуемый показатель и его граничные значения. Представлены результаты расчета риска в зависимости от исходных данных и граничных условий, установленных разработчиками проекта. В качестве исследуемого показателя выбран индекс рентабельности инвестиций. Обсуждены достоинства и недостатки использования гауссовой функции принадлежности. Сделан вывод о необходимости детального исследования зависимости риск-функции от уровня среза с целью выбора его оптимального значения, а также рассмотрения всех шести случаев взаимного расположения функций принадлежности. Полученная модель позволяет анализировать возможные сценарии инвестиционного процесса с точки зрения риска и принимать обоснованные управленческие решения о целесообразности внедрения и реализации проекта.

**Ключевые слова:** риск-функция, нечеткие множества, асимметричная функция принадлежности, индекс рентабельности.

**Анотація.** Узагальнення наукових досліджень, які присвячено оцінці і прогнозуванню інвестиційних ризиків в умовах невизначеності, дозволило зробити висновок про доцільність використання теорії нечітких множин, що характеризуються безперервними функціями належності. Це дає

можливість, навіть в умовах неповноти інформації, представити нечіткою множиною песимістичну, найбільш ймовірну і оптимістичну оцінку показників й прогнозувати ризики неефективності інвестиційного проекту в залежності від заданих обмежень. У статті запропоновано модель оцінки очікуваного ризику з використанням асиметричної функції приналежності, що розширює можливості практичного використання моделі. Отримано залежності ризик-функції від параметрів, що характеризують інвестиційний проект для двох випадків взаємного розташування функцій приналежності, яка характеризує досліджуваний показник і його граничні значення. Представлено результати розрахунку ризику в залежності від вихідних даних і граничних умов, які встановлено розробниками проекту. В якості досліджуваного показника обрано індекс рентабельності інвестицій. Обговорено переваги і недоліки використання гаусових функцій приналежності. Зроблено висновок про необхідність детального дослідження залежності ризик-функції від рівня зрізу з метою вибору його оптимального значення, а також дослідженню всіх шести випадків взаємного розташування функцій приналежності. Отримана модель дозволяє аналізувати можливі сценарії інвестиційного процесу з точки зору ризику та приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо доцільності впровадження та реалізації інвестиційного проекту.

**Ключові слова:** ризик-функція, нечіткі множини, асиметрична функція приналежності, індекс рентабельності.

**Summary.** *The generalization of the scientific research devoted to the assessment and forecasting of investment risks in conditions of uncertainty, led to the conclusion that it is advisable to use the theory of fuzzy sets characterized by continuous membership functions. Thus, it is possible even in conditions of information incompleteness to present a pessimistic most probable estimate and an optimistic estimate of the indicators as a fuzzy set and forecast the risks of*

*inefficiency of the investment project depending on the set constraints. The article suggests a model for estimating the expected risk using the asymmetric Gaussian membership function, which expands the possibilities of the practical use of the model. The dependencies of the risk function on the parameters characterizing the investment project for two cases of the relative location of the membership functions characterizing the investigated indicator and its boundary values have been obtained. The results of risk calculation have been presented depending on the initial data and boundary conditions established by the project developers. The index of profitability of investments has been chosen as the researched indicator. The advantages and disadvantages of using the Gaussian membership function have been discussed. It has been concluded that a detailed study of the dependence of the risk function on the cutoff level is necessary in order to choose its optimal value, and also to consider all the six cases of the relative location of membership functions. The obtained model allows analyzing possible scenarios of the investment process from the point of view of risk, as well as making informed managerial decisions on the feasibility of the project implementation.*

**Key words:** *risk function, fuzzy sets, asymmetric membership function, profitability index.*

**Постановка проблемы в общем виде.** Процесс принятия инвестиционного решения в значительной мере основывается на экспертных прогнозах о будущих значениях параметров проекта, что предполагает существование неопределенности, характеризуемой множеством объективных и субъективных факторов, которые, в конечном счете, определяют инвестиционный риск. Для адекватного описания и формализации неопределенности целесообразно использовать теорию нечетких множеств, что позволяет задавать индикаторы, характеризующие инвестиционный процесс, в виде нечетких чисел. Это дает возможность,

даже в условиях неполноты информации, представить нечетким множеством пессимистическую, наиболее вероятную и оптимистическую оценки параметров и прогнозировать риски неэффективности инвестиционного проекта в зависимости от заданных ограничений.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Витлинский В. В. и Великоиваненко Г. В. определяют риск как объективно-субъективную экономическую категорию, которая связана с преодолением неопределенности и конфликтности в ситуации неизбежного выбора, и отражает степень отклонения от целей, желаемого (ожидаемого) результата, меру ущерба, неудачи с учетом влияния управляемых и неуправляемых факторов, прямых и обратных связей [1, с. 54, с. 155]. В последнее время имеет место активизация исследований, посвященных оценке и прогнозированию рисков с использованием нечетко-множественных моделей. Кофман А., Хил Алуха полагали, что ставка дисконтирования не только варьируется со временем, но и принимает нечеткую форму, что позволило получить чистую приведенную стоимость инвестиционного проекта как нечеткое число, которое характеризуется треугольной функцией принадлежности [2, с. 65-68].

В статье [3] представлена практическая модель оценки рисков проектов на условиях государственно-частного партнерства, в которой предложена структура рисков, состоящая из 17 индикаторов, причем весовые коэффициенты определялись с использованием метода опроса Delphi и теории нечетких множеств. Недостатком модели является необходимость постоянного обновления базы данных экспертных заключений, что требует значительных затрат.

В работе [4] представлен метод анализа рисков на основе обобщенных нечетких чисел с использованием трапециевидных функций принадлежности с предлагаемой мерой сходства между нечеткими числами. Следует также отметить вклад Недосекина А. [5], который рассмотрел нечетко-

множественную модель денежных потоков инвестиционного проекта и получил зависимости риск-функции от ограничительных условий. Федоренко И. и др. [6] предложили модель прогнозирования ожидаемого инвестиционного риска с использованием нечетких треугольных чисел для всех возможных случаев взаимодействия ожидаемого значения исследуемого показателя и параметра, характеризующего его граничные условия.

Гнуни Т. [7] указывает на преимущества и недостатки использования многоугольных функций принадлежности и предлагает для оценки рисков применять симметричные гауссовы функции принадлежности. Несмотря на наличие в статье хорошо проработанной теоретической части, результаты практического применения не приведены в полном объеме. В работе [8] с использованием симметричной гауссовой функции принадлежности получены зависимости инвестиционного риска от параметров, характеризующих инвестиционный проект при вариации граничных условий. В качестве исследуемого показателя выбран индекс рентабельности инвестиций.

Свойство симметричности ограничивает область использования полученных формул для реальных проектов, поэтому при построении математической модели оценки инвестиционных рисков целесообразно использовать асимметричные гауссовы функции принадлежности, что расширяет возможности практического использования модели.

**Цель работы.** Оценка и прогнозирование инвестиционного риска предусматривает решение проблемы в условиях неопределенности с учетом вероятностных сценариев. Целью исследования является разработка модели оценки инвестиционных рисков предприятия в условиях неопределенности с использованием нечетких множеств с асимметричными гауссовыми функциями принадлежности.

**Изложение основного материала.** В силу влияния объективных и субъективных, внутренних и внешних факторов велика вероятность того,

что инвестиционный проект, который оценивался экспертами как успешный, в конечном итоге может оказаться убыточным. Так изменение политической ситуации создает неопределенность и может привести к кризисным процессам в экономике в течение достаточно длительного периода, что негативно влияет на достоверность результатов прогнозирования основных индикаторов, характеризующих инвестиционный процесс.

Инструментом, который позволяет оценивать ожидаемые риски в условиях неопределенности, является теория нечетких множеств [2; 9]. Использование методов, основанных на теории нечетких множеств, предусматривает формализацию исходных параметров и целевых показателей в виде вектора интервальных значений (нечеткого интервала). Попадание в каждый интервал характеризуется некоторой степенью неопределенности. На основе исходной информации, опыта и интуиции эксперты и разработчики инвестиционных проектов способны количественно охарактеризовать интервалы возможных (допустимых) значений исследуемых величин и их пороговых значений.

Предлагается рассматривать нечеткие множества, характеризующиеся асимметричными гауссовыми функциями принадлежности вида

$$\begin{aligned}\mu_E &= w_1 \exp\left(\frac{(E - E_0)^2}{\lambda_{E_1}^2} \ln \alpha_0\right) + (1 - w_1) \exp\left(\frac{(E - E_0)^2}{\lambda_{E_2}^2} \ln \alpha_0\right); \\ \mu_B &= w_2 \exp\left(\frac{(B - B_0)^2}{\lambda_{B_1}^2} \ln \alpha_0\right) + (1 - w_2) \exp\left(\frac{(B - B_0)^2}{\lambda_{B_2}^2} \ln \alpha_0\right),\end{aligned}\tag{1}$$

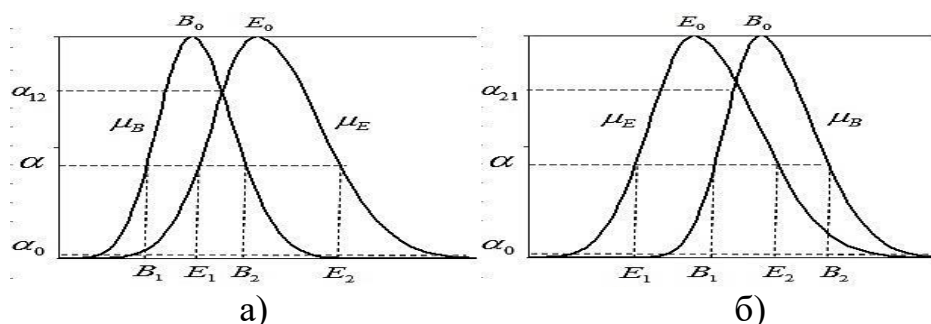
которые, в отличие от многоугольных функций, являются непрерывными и дифференцируемыми [9, с. 55-56]. К недостаткам гауссовой функции следует отнести необходимость задания ограниченного носителя. Введены следующие обозначения:  $E$ ,  $B$  - предполагаемое значение исследуемого показателя и его граничное значение, соответственно;  $E_0$ ;  $B_0$  – модальные

значения функций принадлежности, соответствующие  $\sup(\Psi)=1$ ;  $\lambda_{E1}$ ,  $\lambda_{E2}$ ,  $\lambda_{B1}$ ,  $\lambda_{B2}$  – параметры, задающие узловые левую и правую точки ( $\lambda_{E1} \neq \lambda_{E2}$ ,  $\lambda_{B1} \neq \lambda_{B2}$ ) и ограничивающие ее носитель;  $w_1=1$ , если  $E \leq E_0$ ,  $w_1=0$ , если  $E > E_0$ ;  $w_2=1$ , если  $B \leq B_0$ ,  $w_2=0$ , если  $B > B_0$ ;  $\alpha_0$  – минимальный уровень среза, для которого выполняются условия

$$\mu_E(E_0 - \lambda_{E1}) = \mu_E(E_0 + \lambda_{E2}) = \alpha_0; \mu_B(B_0 - \lambda_{B1}) = \mu_B(B_0 + \lambda_{B2}) = \alpha_0. \quad (2)$$

В качестве  $E$  можно, например, выбрать показатели, характеризующие инвестиционный проект:  $NPV$  - чистую приведённую стоимость;  $PI$  - индекс рентабельности инвестиций;  $RII$  - внутреннюю норму доходности и прочие параметры. При выполнении неравенства  $E > B$  инновационный проект можно считать успешным.

В работе рассмотрены два из шести возможных случая взаимного расположения функций принадлежности  $\Psi_E$  и  $\Psi_B$  (рис. 1).



**Рис. 1. Взаимное расположение функций принадлежности  
 а) случай 1; б) случай 2**

Источник: авторская разработка

Случай 1. Положим, что  $B_0 < E_0$ ;  $E_0 - \lambda_{E1} > B_0 - \lambda_{B1}$ ;  $E_0 + \lambda_{E2} > B_0 + \lambda_{B2}$ . (рис 1а). Для произвольного уровня среза  $\alpha_{12} \leq \alpha \leq 1$  риск равен нулю. Для уровня среза  $\alpha_0 \leq \alpha \leq \alpha_{12}$ , на основании (2) при  $\chi = \sqrt{\ln \alpha / \ln \alpha_0}$ , имеем

$$E_1 = E_0 - \lambda_{E1}\chi; E_2 = E_0 + \lambda_{E2}\chi; B_1 = B_0 - \lambda_{B1}\chi; B_2 = B_0 + \lambda_{B2}\chi \quad (3)$$

Функции  $\Psi_E$  и  $\Psi_B$  пересекаются в точке  $\alpha_{12}$ , причем

$$\alpha_{12} = \exp\left(\frac{(E_0 - B_0)^2}{(\lambda_{E1} + \lambda_{B2})^2} \ln \alpha_0\right) \quad (4)$$



Зона риска для произвольного уровня принадлежности  $\alpha_0 \leq \alpha \leq \alpha_{12}$  показана на фазовой плоскости (Е, В) как заштрихованный треугольник (рис. 2а). Заштрихованный прямоугольник определяет область ожидаемых реализаций значений параметра.

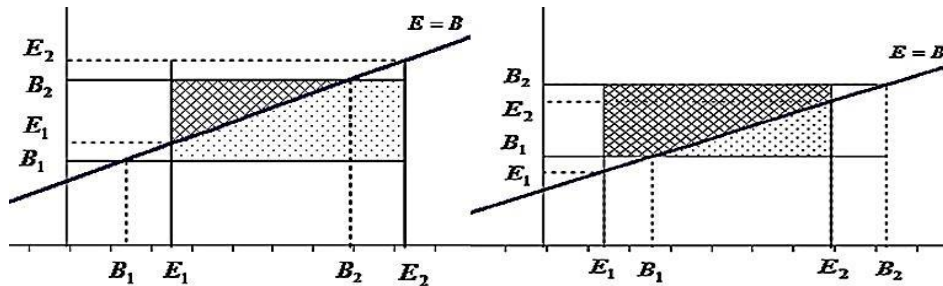


Рис. 2. Фазовая плоскость для уровня среза  $\alpha$  :

а) случай 1  $\alpha_0 \leq \alpha \leq \alpha_{11}$ ; б) случай 2  $\alpha_0 \leq \alpha \leq \alpha_{21}$

Источник: авторская разработка

Геометрическая вероятность события попадания точки (Е, В) в зону риска определяется по формуле

$$P(\alpha) = \frac{S_R}{S} = \frac{0,5 \cdot (B_2 - E_1)^2}{(E_2 - E_1)(B_2 - B_1)} \quad (5)$$

где  $S_R$  – площадь заштрихованного треугольника,  $S$  – площадь заштрихованного прямоугольника.

Риск-функция, с учетом (3-5) вычисляется по формуле

$$R = \int_{\alpha_0}^{\alpha_{12}} P(\alpha) d\alpha = \frac{1}{2d_E d_B} \left[ \lambda_0^2 \ln(\alpha_0) \cdot li(z) \Big|_{\alpha_0}^{\alpha_{12}} + d_{EB}^2 (\alpha_{12} - \alpha_0) + 2\sqrt{\pi} \lambda_0 \beta_0 d_{EB} \cdot erf(z) \Big|_{\beta_0}^{\beta_{12}} \right] \quad (6)$$

где  $\lambda_0 = E_0 - B_0$ ;  $d_E = \lambda_{E1} + \lambda_{E2}$ ;  $d_B = \lambda_{B1} + \lambda_{B2}$ ;  $d_{EB} = \lambda_{E1} + \lambda_{B2}$ ;  $\beta_0 = \sqrt{|\ln \alpha_0|}$ ;  $\beta_{12} = \sqrt{|\ln \alpha_{12}|}$ ;

$erf(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k z^{2k+1}}{(2k+1) \cdot k!}$  – функция ошибок;

$li(z) = \int_0^z \frac{d\alpha}{\ln \alpha} = 0,577216 + \ln|\ln(z)| + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\ln^k z}{k \cdot k!}$  – интегральный логарифм.

Случай 2. Положим, что  $E_0 < B_0$ ;  $E_0 - \lambda_{E1} < B_0 - \lambda_{B1}$ ;  $E_0 + \lambda_{E2} < B_0 + \lambda_{B2}$  (рис. 1б).

Зона риска для произвольного уровня среза  $\alpha_0 \leq \alpha \leq \alpha_{21}$  показана на рис 2а как заштрихованная трапеция. Функции  $\dot{E}$  и  $\dot{B}$  пересекаются в точке

$$\alpha_{21} = \exp\left(\frac{(E_0 - B_0)^2}{(\lambda_{E2} + \lambda_{B1})^2} \ln \alpha_0\right). \text{ В этом случае риск-функция, с учетом (5),}$$

вычисляется по формуле

$$R^* = \int_{\alpha_0}^{\alpha_{21}} P(\alpha) d\alpha + \int_{\alpha_{21}}^1 d\alpha = \int_{\alpha_0}^{\alpha_{21}} \left[1 - \frac{(E_2 - B_1)^2}{2(E_2 - E_1)(B_2 - B_1)}\right] d\alpha + 1 - \alpha_{21}, \quad (10)$$

откуда, согласно (3) получим

$$R^* = 1 - \alpha_0 - \frac{d_{BE}^2}{2d_E d_B} (\alpha_{21} - \alpha_0) - \frac{\lambda_0}{2d_E d_B} \left[ \lambda_0 \ln(\alpha_0) \cdot li(z) \Big|_{\alpha_0}^{\alpha_{21}} - 2\sqrt{\pi} d_{BE} \beta_0 \cdot erf(z) \Big|_{\beta_0}^{\beta_{21}} \right], \quad (11)$$

где  $\beta_{21} = \sqrt{|\ln \alpha_{21}|}$ ;  $d_{BE} = \lambda_{B1} + \lambda_{E2}$ .

В качестве примера использования полученных выражений риск-функции будет рассматривать индекс рентабельности  $PI$  как нечеткое множество, т.е.  $E = PI$ . С учетом операций сложения и деления нечетких множеств [9, с. 87-121], получим

$$(PI_{\min}; PI_0; PI_{\max}) = \left( \frac{1}{I_{\max}} \sum_{k=1}^T \frac{CF_k^{\min}}{(1+r_k^{\max})^k}; \frac{1}{I_0} \sum_{k=1}^T \frac{CF_k^o}{(1+r_k^o)^k}; \frac{1}{I_{\min}} \sum_{k=1}^T \frac{CF_k^{\max}}{(1+r_k^{\min})^k} \right) \quad (12)$$

где  $T = 3$  срок внедрения и реализации инновационного проекта;  
 $I(I_{\min}; I_0; I_{\max}) = (60; 60; 60)$  тис. дол. – размер стартовых инвестиций;  
 $CF_k(CF_k^{\min}; CF_k^o; CF_k^{\max})$  – планируемый чистый денежный поток за  $k$ -ый период:  $CF_1 (10; 20; 30)$ ,  $CF_2 (10; 20; 30)$ ,  $CF_3 (10; 20; 30)$  тис. дол.;  
 $r_k(r_k^{\min}; r_k^o; r_k^{\max}) = (15\%; 17\%; 18\%)$  – ставка дисконтирования.

Инвестиционный проект признается эффективным, если индекс рентабельности инвестиций  $PI$  превышает граничный уровень  $B$ . Используя (12), получим  $(PI_{\min}; PI_0; PI_{\max}) = (0,948; 1,275; 1,816)$ , откуда  $E_o = PI_o = 1,275$ ;  $\lambda_{E1} = 0,327$ ;  $\lambda_{E2} = 0,541$ . Примем  $B_o = 1,1$ ;  $\lambda_{B1} = 0,2$ ;  $\lambda_{B2} = 0,3$ ; минимальный уровень среза  $\checkmark_o = 0,01$ . В результате расчетов по формулам (6) (случай 1) получим прогнозируемый инвестиционный риск  $R = 5,8\%$ , т.е. инвестиционный проект можно принять.

### Выводы и перспективы дальнейших исследований.

Использование полученных зависимостей риск-функции от параметров,

характеризующих инвестиционный проект, позволяет потенциальным инвесторам и разработчикам анализировать возможные сценарии инвестиционного процесса и принимать обоснованные управленческие решения о целесообразности внедрения и реализации проекта.

Предложенная модель основана на использовании асимметричной гауссовой функции принадлежности, которая в отличие от многоугольных функций является непрерывной и дифференцируемой и не имеет особых точек. Основным недостатком гауссовой функции является неограниченность носителя. В вышеприведенном примере, при увеличении уровня среза  $\alpha_0$  в три раза показатель риска возрастает на 24%. В дальнейших исследованиях предполагается установить зависимость  $R$  от  $\alpha_0$  с целью выбора оптимального значения уровня среза.

Как следует из обзора, большинство моделей оценки рисков, основанных на нечетких множествах, использовали многоугольные функции принадлежности и, в частности, треугольные функции. Исследование показало, что величина риска, которая подсчитана для исходных данных примера на основе формул, предложенных в работе [6] для треугольных функций принадлежности, превышает в более чем два раза значение риска  $R$  согласно формуле (6). Таким образом, в дальнейшем необходимо провести дополнительное исследование причин такого отклонения.

Поскольку в работе рассмотрены два случая расположения функций принадлежности  $\mu_E$  и  $\mu_B$ , в дальнейших исследованиях целесообразно провести полное исследование для всех шести случаев. Также отметим, что предложенная модель предполагает использование количественных входных данных, что ограничивает область ее применения при оценке рисков, которые требуют использование лингвистических терм-множеств. Кроме того, целесообразно исследовать зависимость рисков от двух или нескольких критериев, что расширит границы практического применения

МОДЕЛИ.

### **Литература**

1. Вітлінський В. В. Ризикологія в економіці та підприємстві: Монографія / В. В. Вітлінський, Г. І. Великоіваненко. – К.: КНЕУ, 2004. – 480 с.
2. Кофман А. Введение теории нечетких множеств в управлении предприятиями [пер. с исп.] / А. Кофман, Х. Хил Алуха. – Минск : [Высшая школа], 1992. – 224 с.
3. Xu Y. A Computerized Risk Evaluation Model for Public-Private Partnership (PPP) Projects and Its Application [Text] / Y. Xu, , Lu Yujie, P. Albert, J. Chan, M. Skibniewski, F. John // Yeung International Journal of Strategic Property Management. – 2012. – Vol. 2(16). – P. 277-297.
4. Chen S Fuzzy risk analysis based on similarity measures of generalized fuzzy numbers [Text] / S. Chen, S. Chen // Expert systems with applications. – 2008. – Vol.35. – P. 6833-6842.
5. Nedosekin A. Investment Risk Estimation for Arbitrary Fuzzy Factors of Investments Project [Текст] / A. Nedosekin, A. Kokosh // International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economics and Finance. – 2004. – Vol. 2. – P. 423-437.
6. Федоренко І.А. Прогнозування інноваційних ризиків з використанням нечітких множин [Текст] / І.А. Федоренко, А.С. Мордовцев, В.О. Мясников // Проблеми економіки. – 2017. – № 1. – С. 420-429.
7. Гнуни Т.С. Методика оценки риска инвестиционного проекта с использованием неопределенно-множественной модели с Гауссовой функцией принадлежности [Текст] / Т.С. Гнуни // Математические методы анализа в экономике. – 2012. – № 9(99). – С. 27-33.

8. Андренко Е.А. Прогнозирование инвестиционных рисков в условиях неопределенности [Текст] / Е.А. Андренко, А.С. Мордовцев, С.М. Мордовцев // Бизнес Информ. – 2017. – № 4. – С. 113-118
9. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление [пер. с англ.] / А. Пегат. – М. : [БИНОМ. Лаборатория знаний], 2013. – 798 с.

### **References**

1. Vitlinsky V. V., Velikoivanenko G.I. (2004). Risk in economics and entrepreneurship, KNEE, 480.
2. Kofman A., Hil Aluha H. (1992). Vvedenie teorii nechetkih mnozhestv v upravlenii predpriyatijami. Vysshaja shkola, 224.
3. Xu Y., Yujie Lu, Albert P., Chan J., Skibniewski M., John F. (2012). A Computerized Risk Evaluation Model for Public-Private Partnership (PPP) Projects and Its Application. Yeung International Journal of Strategic Property Management, 2, 16, 277-297.
4. Chen S., Chen S. (2008). Fuzzy risk analysis based on similarity measures of generalized fuzzy numbers. Expert systems with applications, 35, 6833-6842.
5. Nedosekin A., Kokosh A. (2004). Investment Risk Estimation for Arbitrary Fuzzy Factors of Investments Project. International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economics and Finance, 2, 423-437.
6. Fedorenko I.A., Mordovcev A.S., Mjasnikov V.O. (2017). Prognozuvannja inovacijnih rizikov z vikoristannjam nechitkih mnozhin. Problemi ekonomiki, 1, 420-429.
7. Gnuni T.S. (2012). Metodika ocenki riska investicionnogo proekta s ispol'zovaniem neopredelenno-mnozhestvennoj modeli s Gaussovoj

funkciej prinadlezhnosti. Matematicheskie metody analiza v jekonomike, 9, 99, 27-33.

8. Andrenko E.A., Mordovcev A.S., Mordovcev S.M. (2017). Prognozirovanie investicionnyh riskov v uslovijah neopredelennosti. *Biznes Inform*, 4, 113-118.
9. Pegat A. (2013). Nechetkoe modelirovanie i upravlenie. BINOM. *Laboratorija znaniy*, 798.