УДК 621:338.24:330.341.1

ПРОГНОЗУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ РИЗИКІВ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

© 2017 ФЕДОРЕНКО І. А., МОРДОВЦЕВ О. С., МЯСНИКОВ В. О.

УДК 621:338.24:330.341.1

Федоренко І. А., Мордовцев О. С., Мясников В. О.

Прогнозування інноваційних ризиків машинобудівних підприємств із використанням нечітких множин

Метою статті є вирішення актуальної проблеми оцінки та прогнозування ризиків інноваційної діяльності підприємства в умовах невизначеності. У численних дослідженнях, що присвячені цій проблемі, пропонуються різні якісні та кількісні методи, проте в більшості робіт відсутні результати їх практичного застосування, що ставить під сумнів доцільність їх використання. За допомогою науково-методичного підходу, заснованого на теорії нечітких множин, запропоновано модель прогнозування очікуваного ризику з використанням нечітких трикутних чисел. Досліджено всі можливі випадки взаємодії очікуваного значення досліджуваного показника та показника, що характеризує його граничні умови. За допомогою одержаних формул визначено сумарний ризик інвестування інноваційного проекту залежно від граничних умов. Досліджуваним показником обрано індекс рентабельності інвестицій. Модель дозволяє потенційним інвесторам і розробникам підібрати оптимальні значення параметрів проекту за умови мінімізації ризику.

***Ключові слова:** інноваційний ризик, прогнозування, нечіткі множини, інвестиції, індекс рентабельності.*

***Рис.:** 12. **Табл.:** 1. **Формул:** 15. **Бібл.:** 12.*

***Федоренко Ірина Анатоліївна** – доктор економічних наук, професор, кафедра менеджменту зовнішньоекономічної діяльності та фінансів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002, Україна)*

***E-mail:** genasvale1@mail.ru*

***Мордовцев Олександр Сергійович** – кандидат економічних наук, старший викладач кафедри менеджменту зовнішньоекономічної діяльності та фінансів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (вул. Кирпичова, 2, Харків, 61002, Україна)*

***E-mail:** acmor@mail.ru*

***Мясников В'ячеслав Олегович** – здобувач кафедри економіки підприємств міського господарства, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова (вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, Україна)*

***E-mail:** slava.myasnikov1990@gmail.com*

УДК 621:338.24:330.341.1

Федоренко И. А., Мордовцев А. С., Мясников В. О. Прогнозирование инновационных рисков машиностроительных предприятий с использованием нечетких множеств

Целью статьи является решение актуальной проблемы оценки и прогнозирования рисков инновационной деятельности предприятия в условиях неопределенности. В многочисленных исследованиях, посвященных данной проблеме, предлагаются различные качественные и количественные методы, однако в большинстве работ отсутствуют результаты их практического применения, что ставит под сомнение целесообразность их использования. С помощью научно-методического подхода, основанного на теории нечетких множеств, предложена модель прогнозирования ожидаемого риска с использованием нечетких треугольных чисел. Исследованы все возможные случаи взаимодействия ожидаемого значения исследуемого показателя и показателя, характеризующего его граничные условия. С помощью полученных формул определен суммарный риск инвестирования инновационного проекта в зависимости от граничных условий. В качестве исследуемого показателя выбран индекс рентабельности инвестиций. Модель позволяет потенциальным инвесторам и разработчикам подобрать оптимальные значения параметров проекта при условии минимизации риска.

***Ключевые слова:** инновационный риск, прогнозирование, нечеткие множества, инвестиции, индекс рентабельности.*

***Рис.:** 12. **Табл.:** 1. **Формул:** 15. **Библ.:** 12.*

***Федоренко Ирина Анатольевна** – доктор экономических наук, профессор, кафедра менеджмента внешнеэкономической деятельности и финансов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» (ул. Кирпичева, 2, Харьков, 61002, Украина)*

UDC 621:338.24:330.341.1

Fedorenko I. A., Mordovtsev O. S., Miasnykov V. O.Forecasting Innovation Risks of Machine-Building Enterprises with the Use of Fuzzy Sets

The aim of the article is to solve an actual problem of assessing and forecasting the risks of innovation activity of an enterprise under uncertainty. Numerous studies dedicated to this problem suggest various qualitative and quantitative methods, however, most papers present no results of their practical application, which calls the usefulness of their use into question. With the help of the scientific and methodological approach based on the theory of fuzzy sets, the model of predicting the expected risk using fuzzy triangular numbers is proposed. All possible cases of interaction of the expected value of the studied indicator and the indicator characterizing its boundary conditions are investigated. With the help of the received formulas, the total risk of investing in an innovation project is determined depending on the boundary conditions. The index of profitability of investments is chosen as the indicator to be studied. The model allows potential investors and developers to select the optimal values of the project parameters provided that the risk is minimized.

***Keywords:** innovation risk, forecasting, fuzzy sets, investments, profitability index.*

***Fig.:** 12. **Tbl.:** 1. **Formulae:** 15. **Bibl.:** 12.*

***Fedorenko Irina A.** – Doctor of Science (Economics), Professor, Department of International Management and Finance, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (2 Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine)*

***E-mail:** genasvale1@mail.ru*

***Mordovtsev Oleksandr S.** – Candidate of Sciences (Economics), Senior Lecturer of the Department of International Management and Finance, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (2 Kyrpychova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine)*

E-mail: *genasvale1@mail.ru*

***Мордовцев Александр Сергеевич** – кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры менеджмента внешнеэкономической деятельности и финансов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» (ул. Кирпичева, 2, Харьков, 61002, Украина)*

E-mail: *acmor@mail.ru*

***Мясников Вячеслав Олегович** – соискатель кафедры экономики предприятий городского хозяйства, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова (ул. Маршала Бажанова, 17, Харьков, 61002, Украина)*

E-mail: *slava.myasnikov1990@gmail.com*

E-mail: *acmor@mail.ru*

***Miasnykov Viacheslav O.** – Applicant of the Department of Economics of Municipal Enterprises, Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov (17 Marshala Bazhanova Str., Kharkiv, 61002, Ukraine)*

E-mail: *slava.myasnikov1990@gmail.com*

Постановка проблеми. Постановка проблеми у загальному вигляді. Невизначеність інноваційних процесів вимагає обліку впливу багатої кількості ризиків, які можуть негативно вплинути на підсумковий фінансовий результат інноваційної діяльності. У численних роботах, присвячених оцінці та прогнозуванню ризиків, пропонуються різноманітні науково-методичні підходи, засновані на якісних, кількісних і гібридних методах. Проте, незважаючи на наукове обґрунтування запропонованих методів, в більшості робіт відсутні результати їх практичного застосування, що ставить під сумнів доцільність їх використання. Причиною цього є неповнота інформації на різних стадіях інноваційного процесу, що призводить до проблем, пов'язаних з вибором адекватної моделі оцінки та прогнозування інноваційних ризиків в умовах невизначеності. У такій ситуації актуальності набувають науково-методичні підходи до прогнозування ризиків, засновані на застосуванні теорії нечітких множин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом при дослідженні інвестиційної та інноваційної діяльності машинобудівних підприємств все частіше застосовують підходи, засновані на використанні нечіткомножинних моделей. Халеб Т. та ін. [1] запропонували систематизацію методів оцінки ризиків за такими групами: методи, що базуються на використанні нечіткої логіки та штучних нейронних мереж; класичні якісні та кількісні методи; гібридні методи. В роботі [2] доведено тісний зв'язок класичної теорії ймовірностей, теорії нечітких множин і можливість застосування цієї теорії в економічних цілях. На підставі теорії нечітких множин визначено поняття усередненої міри, ризику та міри ризику, але не наведено приклад практичного застосування.

У працях Недосекіна А. [3, с. 54–72] і Абдулаєвої З. [4, с. 46–48] розглянуті нечітко-множинні моделі грошових потоків проекту, що являють собою згортку точкових сценаріїв цих потоків. Введено категорію ризик-функції проекту та досліджено рівні ризику при зміні обмежувальних умов. В роботі [5] запропоновано спрощений алгоритм моделі багатокритеріальної оцінки ризиків інноваційних проектів на основі трикутних нечітких множин. Недоліком роботи є тільки один окремий випадок співвідношення нечітких чисел, що характеризують рентабельність і норму прибутку проекту.

Мельников В. [6] вказує на недоліки основних методів обліку ризиків і пропонує математичну модель для розрахунку величини ризиків інвестиційних проектів на основі теорії нечіткості, що дозволяє досить просто отримувати усереднені оцінки. На наш погляд, в моделі не досить обґрунтований алгоритм розрахунку геометричної ймовірності попадання в область неефективних інвестицій. Крім того, автор розглядає найпростіший випадок, коли граничне значення (критерій) – постійне число.

На думку Мячина В. [7, с. 15], метод нечітких множин є найбільш релевантним і перспективним для оцінки ризиків при розробці стратегії інноваційного розвитку промислових підприємств і дозволяє виявити залежність рівня ризику від ймовірності виникнення ризику та ступеня його впливу. В роботі [8] вдосконалені методологічні підходи до оцінки інноваційного потенціалу методом нечітких множин. Побудована модель нечіткого виводу дозволяє, задаючи значення матеріально-технічного й інтелектуального потенціалів, оцінювати рівень інноваційного потенціалу.

Гнуні Т. [9] вказує на переваги та недоліки використання багатокутних функцій приналежності та пропонує оцінювати ризики з використанням моделі з гаусовою функцією приналежності. Недоліком є симетричність запропонованої функції, в той час як для більшості практичних завдань застосовують несиметричні функції приналежності.

Мета роботи. Основною причиною різноманіття підходів і методів до оцінки інноваційних ризиків є недосконалість статистичної інформаційної бази даних про інноваційний розвиток підприємств України, що пов'язане з обмеженим доступом до детальної та оперативної інформації за окремими підприємствами. Проте практична оцінка та прогнозування ризику передбачає вирішення проблеми в умовах невизначеності з урахуванням імовірнісних сценаріїв. Метою дослідження є удосконалення підходу до прогнозування інноваційних ризиків підприємства на основі теорії нечітких множин.

Викладення основного матеріалу дослідження. Суб'єктами інноваційних ризикових відносин є: розробник (власник) інноваційного проекту; інвестори, які здійснюють фінансування розробки та реалізації інноваційних заходів; економічні суб'єкти, на поліпшення діяльності яких спрямовано інноваційну дію; споживачі (ринок) продукції. На кожному етапі інноваційного процесу необхідно оперативно виявляти й оцінювати ризики, пов'язані з можливими змінами зовнішніх і внутрішніх факторів. Складністю в передбаченні ризиків виступає відсутність правил, форм, стандартів для інноваційних проектів, тому ця ситуація веде до збільшення невизначеності.

Ільяшенко С. М. пропонує таку класифікацію інноваційних ризиків [10, с. 39–40]: за сферами прояву; за масштабами впливу; за джерелами виникнення; щодо учасників інноваційної діяльності; за формами інвестування; за джерелами інвестування новацій; за механізмами інвестування новацій; за видами виробничо-збутової діяльності суб'єкта інноваційної діяльності; стосовно джерел ризику до суб'єкта інноваційної діяльності.

Авторами роботи запропоновано класифікацію можливих ризиків на кожній стадії розробки, впровадження та реалізації інноваційних проектів, що наведено на рис. 1. До зовнішніх віднесемо ризики несприятливих політичних і соціально-економічних змін, форс-мажорні обставини:

- погіршення економічного стану, кризові явища;
- посилення заходів державного регулювання;
- депресивні явища в регіоні або галузі;
- зміна монетарної політики держави;
- посилення податкової політики держави;
- зростання інфляції;
- зниження доходів населення;
- виникнення пожежі, урагану, повені;
- збитки від злочинності, в тому числі на виробництві;
- збитки від корупції, хабарів;
- банкрутство підприємств-партнерів.

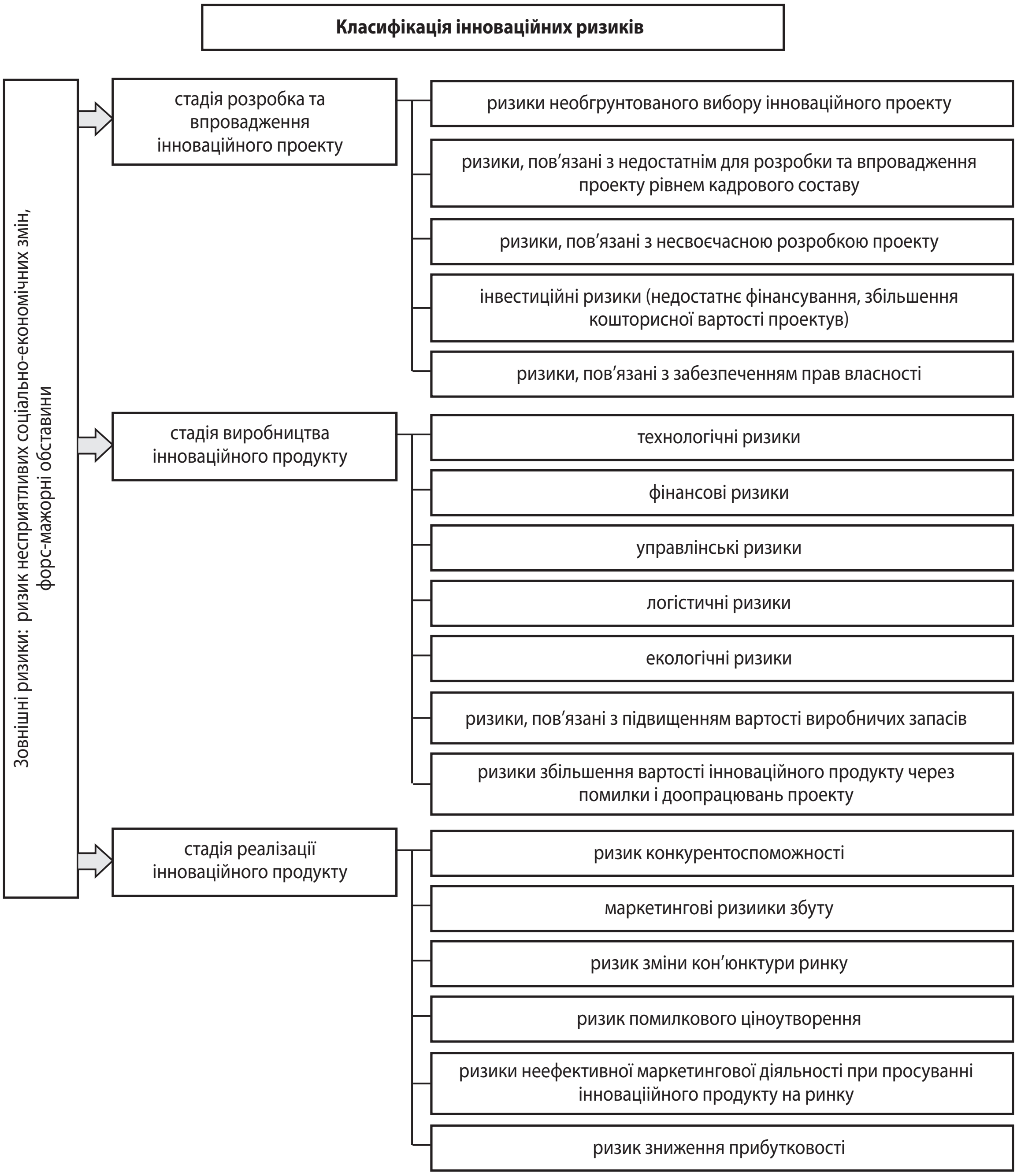

Рис. 1. Класифікація інноваційних ризиків

Джерело: сформовано авторами

Процес впровадження інновацій безпосередньо пов'язаний із розробкою, інвестуванням і впровадженням будь-якого інноваційного проекту. Вже на стадії інвестування проекту учасники стикаються з непереборною інформаційною невизначеністю, яка тягне непереборний ризик прийняття інвестиційних рішень. Ймовірність того, що інноваційний проект, який, за оцінками експертів, було визнано успішним, у кінцевому підсумку може виявитися збитковим через вплив зовнішніх і внутрішніх факторів, досить велика. Інвестор ніколи не буде мати у своєму розпорядженні всеосяжної оцінки ризику, тому що число факторів, що впливають, завжди перевищує можливості персоналу, який бере управлінські рішення. У цій ситуації можливий розвиток песимістичного сценарію розвитку, який може негативно вплинути на інноваційний процес. Тому навіть в умовах такої невизначеності зацікавлені особи зобов'язані контролювати ситуацію та прогнозувати ризики в процесі реалізації проекту.

Інструментом, який дозволяє оцінювати очікувані ризики в умовах невизначеності, є теорія нечітких множин [3; 11]. Використання методів, що базуються на теорії нечітких множин, передбачає формалізацію вихідних параметрів і цільових показників у вигляді вектора інтервальних значень (нечіткого інтервалу). Попадання в кожен інтервал характеризується деяким ступенем невизначеності. На основі вихідної інформації, досвіду й інтуїції експерти та розробники інноваційних проектів здатні кількісно охарактеризувати інтервали можливих (допустимих) значень параметрів і їх граничних значень.

Для прогнозування ступеня ризику введемо в розгляд дві трикутні нечіткі множини: E (E_{min}, E_o, E_{max}) – передбачуване значення досліджуваного показника (expected value); B (B_{min}, B_o, B_{max}) – показник, що характеризує граничні умови проекту (border conditions). Як E і B можна, наприклад, вибирати: NPV – чисту сучасну цінність проекту; PI – індекс рентабельності інвестицій; RII – внутрішні норми прибутковості й інші параметри, що характеризують певні інноваційні ризики на всіх стадіях інноваційного процесу.

Три значущі точки трикутної нечіткої множини можна зіставити із можливою реалізацією трьох сценаріїв: песимістичного, оптимального, оптимістичного. При виконанні нерівності $E < B$ інноваційний проект можна вважати неуспішним. Наше завдання: побудувати модель прогнозування ступеня ризику, використовуючи нечіткі трикутні множини.

Функції приналежності трикутних чисел мають вигляд:

$$\mu_E = \begin{cases} \dfrac{x - E_{\min}}{E_0 - E_{\min}}, & E_{\min} < x < E_0 \\ \dfrac{E_{\max} - x}{E_{\max} - E_0}, & E_0 < x < E_{\max}; \\ 0, & (x < E_{\min}) \vee (x > E_{\max}) \end{cases} \tag{1}$$

$$\mu_B = \begin{cases} \dfrac{x - B_{\min}}{B_0 - B_{\min}}, & B_{\min} < x < B_0 \\ \dfrac{B_{\max} - x}{B_{\max} - B_0}, & B_0 < x < B_{\max}. \\ 0, & (x < B_{\min}) \vee (x > B_{\max}) \end{cases}$$

Максимальне число варіантів розташування графіків функцій приналежності дорівнює восьми. Досліджуємо шість випадків, які становлять особливий практичний інтерес.

Випадок 1. $B_1 < E_1 < B_2 < E_2$. Виберемо довільний рівень приналежності α та визначимо інтервали [E_1, E_2] и [B_1, B_2] (рис. 2а). Точку перетину першої гілки функції E і другої гілки функції B позначено як $\alpha_{12} = \mu_E = \mu_B$. Вона визначає верхню межу розділу безризикової і ризикової зон. При $\alpha > \alpha_{12}$ α-рівневі інтервали не перетинаються, тобто $E > B$, і ризик неефективності проекту відсутній. При $\alpha < \alpha_{12}$ інтервали [E_1, E_2] та [B_1, B_2] перетинаються: інтервал [E_1, B_2] є зоною ризику для довільного рівня а. Зону ризику показано у фазовій площині (E, B) у вигляді трикутника з вершинами (E_1, B_1); (E_1, B_2); (B_2, B_2) (рис. 2б). Весь заштрихований прямокутник визначає область очікуваних реалізацій значень параметра.

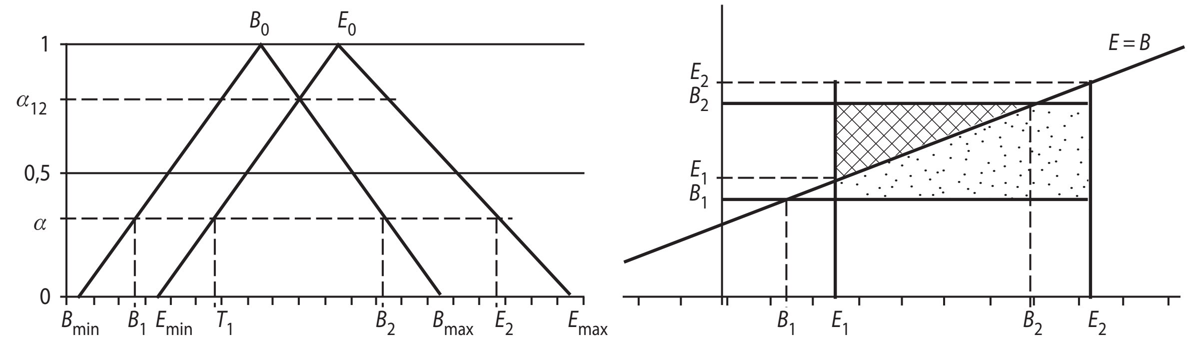

Рис. 2. Функції приналежності μ_E, μ_B; фазова площина (E,B) для рівня α

Геометрична ймовірність події попадання точки (E, B) у зону ризику визначається за формулою:

$$P(\alpha) = \frac{S_r}{S}, \tag{2}$$

де S_r – площа заштрихованого трикутника,

S – площа заштрихованого прямокутника.

Із (1) для обраного рівня $0 < \alpha < \alpha_{12}$ наведемо $E_к$ та $B_к$ у вигляді:

$$\begin{aligned} E_1 &= \alpha(E_0 - E_{\min}) + E_{\min}; \\ E_2 &= -\alpha(E_{\max} - E_0) + E_{\max}; \\ B_1 &= \alpha(B_0 - B_{\min}) + B_{\min}; \\ B_2 &= -\alpha(B_{\max} - B_0) + B_{\max}. \end{aligned} \quad (3)$$

Верхня границя ризику α_{12} визначається із нерівності $E_1 = B_2$. Тоді

$$\alpha_{12} = \frac{D_1}{C_1}, \quad (4)$$

де $$C_1 = E_0 - E_{\min} + B_{\max} - B_0; \quad D_1 = B_{\max} - E_{\min}. \quad (5)$$

Площа прямокутника з урахуванням (3) дорівнює:

$$S = (E_2 - E_1)(B_2 - B_1) = (1-\alpha)^2 \lambda_E \lambda_B, \quad (6)$$

де $\lambda_E = E_{\max} - E_{\min}; \quad \lambda_B = B_{\max} - B_{\min}$.

Площа трикутника S_r з урахуванням (4) дорівнює:

$$S_r = 0{,}5 \cdot (B_2 - E_1)^2 = 0{,}5 \cdot (D_1 - \alpha C_1)^2. \quad (7)$$

Тоді ймовірність події попадання точки (E, B) у зону ризику $P(\alpha)$ з урахуванням (6) і (7), обчислюється за формулою:

$$P(\alpha) = \frac{S_r}{S} = \frac{1}{2\lambda_E \lambda_B} \left(\frac{D_1 - \alpha C_1}{1-\alpha} \right)^2 \text{ при } 0 < \alpha < \alpha_{12}. \quad (8)$$

Функція $P(\alpha)$ є спадною на інтервалі $[0, \alpha_{12}]$. Найбільше значення на відрізку досягається при $\alpha = 0$:

$$P(0) = \frac{D_1^2}{2\lambda_E \lambda_B}.$$

При $\alpha = \alpha_{12}$ функція $P(\alpha) = 0$.

Тоді сумарний ризик для випадку 1 обчислюється за формулою:

$$R = \int_0^{\alpha_{12}} P(\alpha) d\alpha = \frac{1}{2\lambda_E \lambda_B} \left[C_1^2 \alpha_{12} - (D_1 - C_1) \cdot \left(2C_1 \ln(1-\alpha_{12}) - \frac{D_1 - C_1}{1-\alpha_{12}} \right) \right] \quad (9)$$

Наведемо приклад розрахунку ризику інвестування інноваційного проекту з використанням індексу рентабельності інвестицій, яким, у нашому випадку, є нечітка множина $E = PI$.

$$(PI_{\min}, PI_0, PI_{\max}) = \left(\frac{1}{I_{\max}} \sum_{k=1}^{T} \frac{CF_k^{\min}}{(1+r_k^{\max})^k}, \ \frac{1}{I_0} \sum_{k=1}^{T} \frac{CF_k^0}{(1+r_k^0)^k}, \ \frac{1}{I_{\min}} \sum_{k=1}^{T} \frac{CF_k^{\max}}{(1+r_k^{\min})^k} \right), \quad (10)$$

де T – термін впровадження і реалізації інноваційного проекту;

I ($I_{\min}$, I_0, $I_{\max}$) – розмір стартових інвестицій;

$CF_k (CF_k^{\min}; CF_k^0; CF_k^{\max})$ – планований чистий грошовий потік за k-період;

$r(r_k^{\min}; r_k^0; r_k^{\max})$ – ставка дисконтування.

Планується інвестувати в інноваційний проект із параметрами: T = 3 роки; I = (100, 100, 100) тис. грн; r (10 % ; 15 %; 20 %); CF_1 (0; 0; 0), CF_2 (35; 90; 120), CF_3 (80; 130; 180) тис. грн; залишкова (ліквідаційна) вартість проекту дорівнює нулю. Інвестиційний проект визнається ефективним, якщо індекс рентабельності інвестицій PI перевищує граничний рівень B.

Використовуючи (10), визначимо, PL_{min} = 0,7; PL_0 = 1,5; PL_{max} = 2,3. Приймемо B (0,5, 1, 2). Функції приналежності μ_{PI} та μ_B показано на рис. 3.

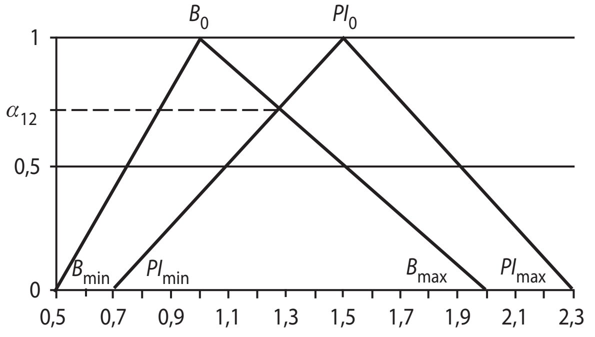

Рис. 3. Функції приналежності μ_{PI} та μ_B

В результаті розрахунків за формулами (4)–(9) отримано: α_{12} = 0,615; очікуваний сумарний ризик – 14 %. Графік функції ймовірності події попадання точки (PI, B) у зону ризику $P(\alpha)$ показано на рис. 4.

Ризик-менеджер може самостійно встановити шкалу неприйняття ризику. Г. Зімерман [12] запропонував таку градацію:

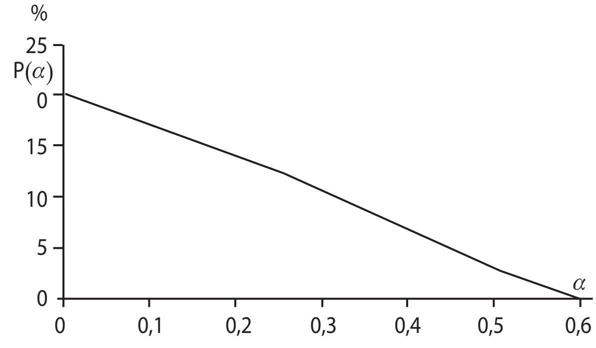

Рис. 4. Графік функції $P(\alpha)$ ймовірності події попадання точки (PI, B) у зону ризику

Таблиця 1

Шкала неприйняття ризику

R, %	Ступінь ризику	Рішення щодо інвестування
0–7	Дуже низький	Точно прийняти проект
8–15	Низький	Прийняти, але з обережністю і подальшим моніторингом
16–35	Середній	Прийняти з обмеженнями
36–40	Високий	Відхилити та переглянути проект
> 40	Дуже високий	Відмовитися з упевненістю

Джерело: сформовано авторами на основі [12]

Для нашого прикладу R = 14 %, тобто ступінь ризику – середній, і проект можна або прийняти з обмеженнями, або доопрацювати.

В роботі [4, с. 75] наведено таке лінгвістичне нормування рівня ризику:

- якщо R < 10 %, то він визнається прийнятним для всіх випадків інноваційного й інноваційного проектування;
- якщо 10 % < R < 20 %, то він визнається умовно прийнятним, необхідні додаткові зусилля зі страхування ризику;
- якщо R > 20 %, то він є неприйнятним. Вважається, що всі коригуючі зусилля переведуть ризик в умовно прийнятний стан, тобто внаслідок цих дій ризик не досягає потрібних прийнятних значень.

За таких умов ризик 14 % рекомендується визнати умовно прийнятним.

Випадок 2. $E_1 < B_1 < E_2 < B_2$. Виберемо довільний рівень приналежності α і визначимо інтервали [E_1, E_2] та [B_1, B_2] (рис. 5а). Точку перетину другої гілки функції E і першої гілки функції B позначено як $\alpha_{21} = \mu_E = \mu_B$.

При α < α_{21} інтервали [E_1, E_2] і [B_1, B_2] перетинаються: інтервал [B_1, E_2] є зоною ризику для довільного рівняα. Зону ризику показано у фазовій площині (E, B) у вигляді заштрихованої трапеції (рис. 5б). За аналогією з першим випадком отримаємо сумарний ризик для випадку 2

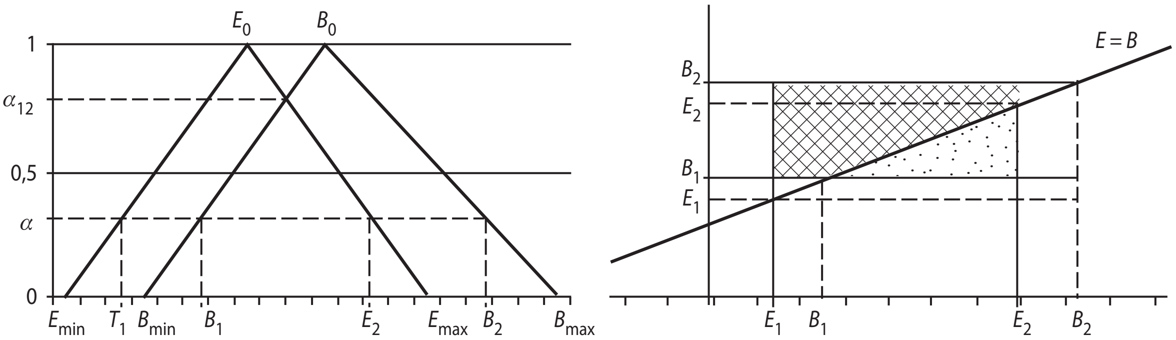

Рис. 5. Функції приналежності μ_E і μ_B; фазова площина (E, B) для рівня α

$$R = \int_0^{\alpha_{21}} P(\alpha)d\alpha + \int_{\alpha_{21}}^{1} P(\alpha)d\alpha = 1 - \frac{1}{2\lambda_E\lambda_B}\left[C_2^2\alpha_{21} - (D_2 - C_2)\cdot\left(2C_2\ln(1-\alpha_{21}) - \frac{D_2 - C_2}{1-\alpha_{21}}\right)\right], \quad (11)$$

де

$$\alpha_{21} = \frac{D_2}{C_2}; \quad C_2 = B_0 - B_{min} + E_{max} - E_0; \quad D_2 = E_{max} - B_{min};$$

$$P(\alpha) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{2\lambda_E\lambda_B}\left(\frac{D_2 - \alpha C_2}{1-\alpha}\right)^2 & \text{при} \quad 0 < \alpha < \alpha_{21} \\ 1 & \text{при} \quad \alpha_{21} < \alpha < 1 \end{cases}.$$

Випадок 3.1. $E_1 < B_1 < B_2 < E_2; \quad B_0 < E_0$.

Виберемо довільний рівень приналежності α і визначимо інтервали [E_1, E_2] та [B_1, B_2] (рис. 6а). Маємо дві точки перетину функцій належності:

- точку перетину першої гілки функції E і першої гілки функції B позначено як α_{11};
- точку перетину першої гілки функції E і другої гілки функції B позначено як α_{12}.

При α < α_{11} (рис. 6а) інтервали [E_1, E_2] і [B_1, B_2] перетинаються: інтервал [B_1, B_2] є зоною ризику для довільного рівня α. Зону ризику показано у фазовій площині (E, B) у вигляді заштрихованої трапеції (рис. 7). При $\alpha_{11} < \alpha < \alpha_{12}$ (рис. 6б) маємо умови для випадку 1. В результаті тримаємо сумарний ризик для випадку 3.1:

$$R = \int_0^{\alpha_{11}} P(\alpha)d\alpha + \int_{\alpha_{11}}^{\alpha_{12}} P(\alpha)d\alpha = R_1 + R_2, \quad (12)$$

де

$$R_1 = \frac{1}{2\lambda_E}[(C_1 + C_3)\alpha_{11} - (D_1 + D_3 - C_1 - C_3)\ln(1-\alpha_{11})];$$

$$R_2 = \frac{1}{2\lambda_E\lambda_B}\left[C_1^2(\alpha_{12} - \alpha_{11}) - (D_1 - C_1)\left(2C_1\ln\frac{(1-\alpha_{12})}{(1-\alpha_{11})} - (D_1 - C_1)\left(\frac{1}{1-\alpha_{12}} - \frac{1}{1-\alpha_{11}}\right)\right)\right];$$

$$\alpha_{11}=\frac{D_3}{C_3};\quad \alpha_{12}=\frac{D_1}{C_1};\quad C_3=B_{\min}-B_0+E_0-E_{\min};\quad D_3=B_{\min}-E_{\min};$$

$$C_1=E_0-E_{\min}+B_{\max}-B_0;\quad D_1=B_{\max}-E_{\min};$$

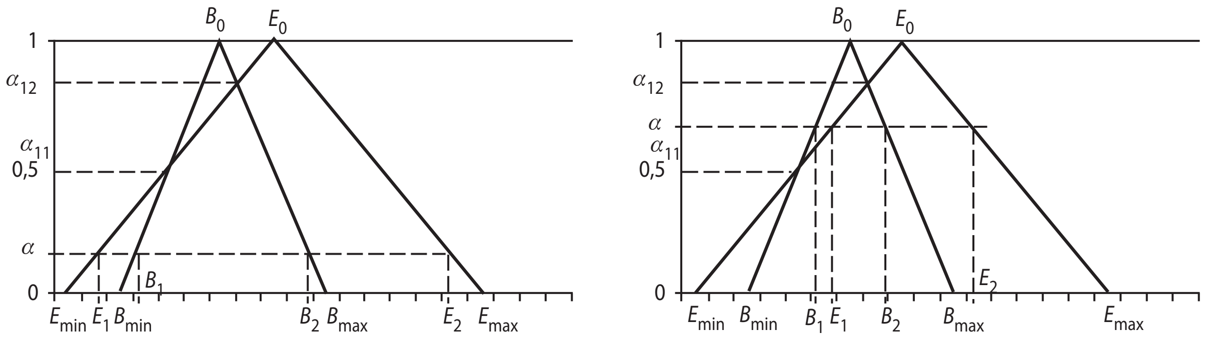

Рис. 6. Функції приналежності μ_E і μ_B (випадок 3.1)

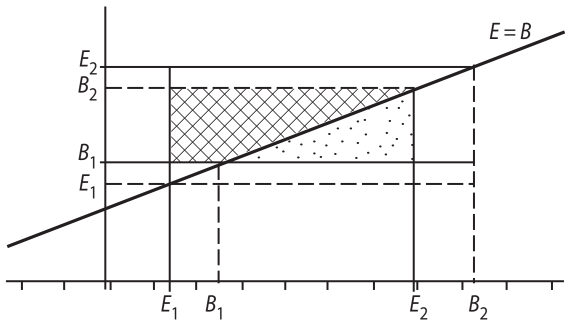

Рис. 7. Фазова площина (E, B) для рівня α (для рис. 6а)

$$P(\alpha)=\begin{cases}\dfrac{1}{2\lambda_E}\dfrac{D_1+D_3-\alpha(C_1+C_3)}{1-\alpha} & \text{при}\quad 0<\alpha<\alpha_{11}\\ \dfrac{1}{2\lambda_E\lambda_B}\left(\dfrac{D_1-\alpha C_1}{1-\alpha}\right)^2 & \text{при}\quad \alpha_{11}<\alpha<\alpha_{12}\,.\\ 0 & \text{при}\quad \alpha_{12}<\alpha<1\end{cases}$$

Випадок 3.2. $E_1<B_1<B_2<E_2;\quad E_0<B_0$.

Виберемо довільний рівень приналежності α та визначимо інтервали $[E_1, E_2]$ і $[B_1, B_2]$ (рис. 8а). Маємо дві точки перетину функцій належності:

- точку перетину другої гілки функції *E* і першої гілки функції *B* позначено як α_{21};
- точку перетину другої гілки функції *E* і другої гілки функції *B* позначено як α_{22}.

При $\alpha<\alpha_{11}$ (рис. 8а) умови збігаються з випадком 3.1. Зону ризику показано у фазовій площині (*E, B*) у вигляді заштрихованої трапеції (рис. 7). При $\alpha_{21}<\alpha<\alpha_{22}$ (рис. 8б) маємо умови для випадку 2. В результаті отримаємо сумарний ризик для випадку 3.2:

$$R=\int_0^{\alpha_{22}}P(\alpha)d\alpha+\int_{\alpha_{22}}^{\alpha_{21}}P(\alpha)d\alpha+\int_{\alpha_{21}}^{1}P(\alpha)d\alpha=R_1+R_2+R_3, \qquad (13)$$

де $R_1=\dfrac{1}{2\lambda_E}[(C_1+C_3)\alpha_{22}^2-(D_1+D_3-C_1-C_3)\ln(1-\alpha_{22})]$;

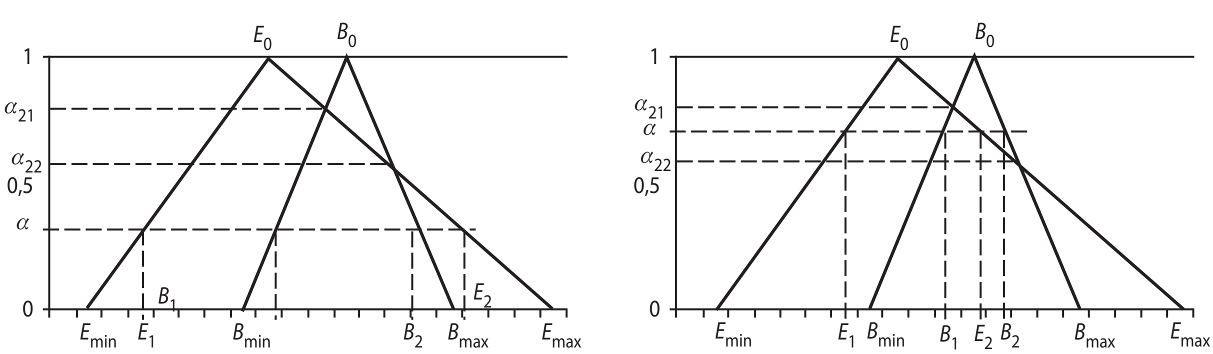

Рис. 8. Функції приналежності μ_E і μ_B (випадок 3.2)

$$R_2=\alpha_{21}-\alpha_{22}-\frac{1}{2\lambda_E\lambda_B}\left[C_2^2(\alpha_{21}-\alpha_{22})-(D_2-C_2)\left(2C_2\ln\frac{(1-\alpha_{21})}{(1-\alpha_{22})}-\left(\frac{D_2-C_2}{1-\alpha_{21}}-\frac{D_2-C_2}{1-\alpha_{22}}\right)\right)\right];\quad R_3=1-\alpha_{21};$$

$$\alpha_{21}=\frac{D_2}{C_3};\quad \alpha_{22}=\frac{D_4}{C_4};\quad C_2=B_0-B_{\min}+E_{\max}-E_0;\quad D_2=E_{\max}-B_{\min};$$

$$C_4=E_0-E_{\max}+B_{\max}-B_0;\quad D_4=B_{\max}-E_{\max};$$

$$P(\alpha)=\begin{cases}\dfrac{1}{2\lambda_E}\dfrac{D_1+D_3-\alpha(C_1+C_3)}{1-\alpha} & \text{при}\quad 0<\alpha<\alpha_{22}\\[2ex] 1-\dfrac{1}{2\lambda_E\lambda_B}\left(\dfrac{D_2-\alpha C_2}{1-\alpha}\right)^2 & \text{при}\quad \alpha_{22}<\alpha<\alpha_{21}.\\[2ex] 1 & \text{при}\quad \alpha_{21}<\alpha<1\end{cases}$$

У розглянутому раніше прикладі змінимо граничну умову B. При B (0,8, 1,2, 2,0) сумарний ризик (згідно з (12), випадок 3.1) складе 22,4 %. При B (1,0; 1,8; 2,1) сумарний ризик (згідно з (13), випадок 3.2) дорівнює 57 %.

Практичний інтерес представляють частинні випадки 3.1 і 3.2, коли показник, що характеризує граничні умови проекту B, має точкову оцінку $B_{min}= B_{max} =B_o$. Отримано, що при зростанні B_0, тобто посиленні граничного рівня, ризик R зростає (рис. 9).

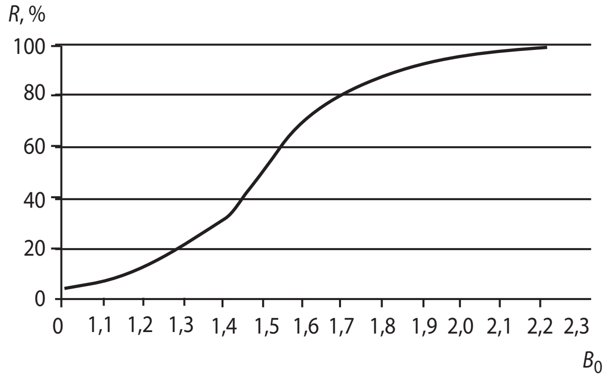

Рис. 9. Залежність ризику інвестування інноваційного проекту від величини граничного рівня B_0 індексу рентабельності

Випадок 4.1. $B_1<E_1<E_2<B_2;\quad E_0<B_0.$

Виберемо довільний рівень приналежності α та визначимо інтервали [E_1, E_2] і [B_1, B_2] (рис. 10а). Маємо дві точки перетину функцій належності:

- точку перетину першої гілки функції E і першої гілки функції B позначено як α_{11};
- точку перетину другої гілки функції E і першої гілки функції B позначено як α_{21}.

При $\alpha < \alpha_{11}$ (рис. 10а) зону ризику показано у фазовій площині (E, B) у вигляді заштрихованої трапеції (рис. 11). При $\alpha_{11} < \alpha < \alpha_{21}$ (рис. 10б) маємо умови для випадку 2.

В результаті отримано:

$$R=\int_0^{\alpha_{11}}P(\alpha)d\alpha+\int_{\alpha_{11}}^{\alpha_{21}}P(\alpha)d\alpha+\int_{\alpha_{21}}^{1}P(\alpha)d\alpha=R_1+R_2+R_3,\qquad (14)$$

де $R_1=\dfrac{1}{2\lambda_B}[(C_1+C_4)\alpha_{11}-(D_1+D_4-C_1-C_4)\ln(1-\alpha_{11})];$

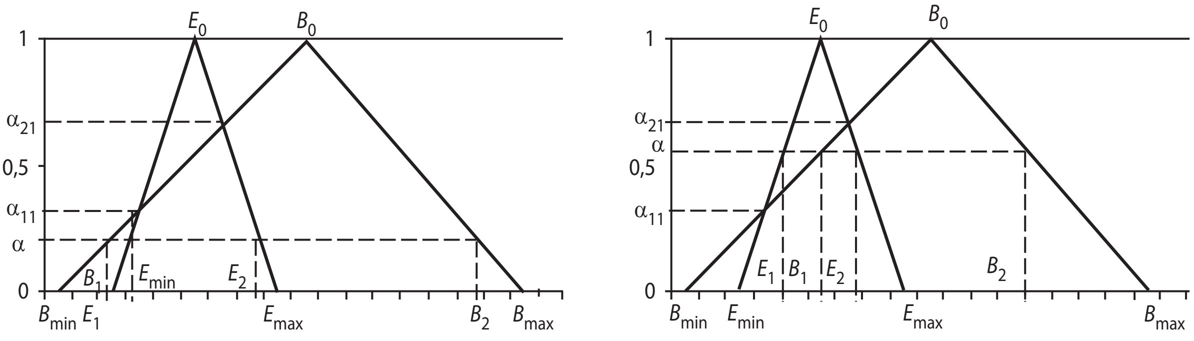

Рис. 10. Функції приналежності μ_E та μ_B (випадок 4.1)

$$R_2=\alpha_{21}-\alpha_{11}-\frac{1}{2\lambda_E\lambda_B}\left[C_2^2(\alpha_{21}-\alpha_{11})-(D_2-C_2)\left(2C_2\ln\frac{(1-\alpha_{21})}{(1-\alpha_{11})}-\left(\frac{D_2-C_2}{1-\alpha_{21}}-\frac{D_2-C_2}{1-\alpha_{11}}\right)\right)\right];$$

$$R_3=1-\alpha_{21};\quad \alpha_{11}=\frac{D_3}{C_3};\quad \alpha_{21}=\frac{D_2}{C_2};\quad C_2=B_0-B_{\min}+E_{\max}-E_0;\quad D_2=E_{\max}-B_{\min};$$

$$C_3=B_{\min}-B_0+E_0-E_{\min};\quad D_3=B_{\min}-E_{\min};$$

$$C_4=E_0-E_{\max}+B_{\max}-B_0;\quad D_4=B_{\max}-E_{\max};$$

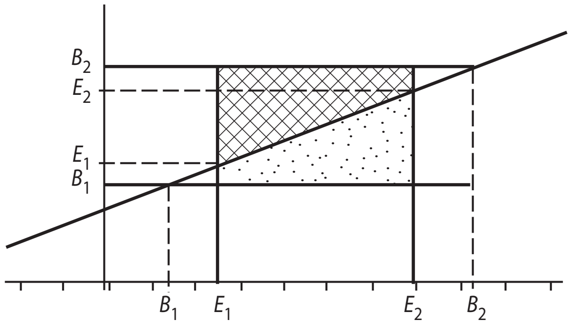

Рис. 11. Фазова площина (E, B) для рівня α

$$P(\alpha)=\begin{cases}\dfrac{1}{2\lambda_B}\dfrac{D_1+D_4-\alpha(C_1+C_4)}{1-\alpha} & \text{при}\quad 0<\alpha<\alpha_{11}\\ 1-\dfrac{1}{2\lambda_E\lambda_B}\left(\dfrac{D_2-\alpha C_2}{1-\alpha}\right)^2 & \text{при}\quad \alpha_{11}<\alpha<\alpha_{21}.\\ 1 & \text{при}\quad \alpha_{21}<\alpha<1\end{cases}$$

Випадок 4.2. $B_1<E_1<E_2<B_2$; $B_0<E_0$.

Виберемо довільний рівень приналежності α та визначимо інтервали $[E_1, E_2]$ і $[B_1, B_2]$ (рис. 12а). Маємо дві точки перетину функцій належності:

- точку перетину першої гілки функції *E* і другої гілки функції *B* позначено як α_{12};
- точку перетину другої гілки функції *E* і другої гілки функції *B* позначено як α_{22}.

При $\alpha<\alpha_{22}$ (рис 12а) зону ризику показано в фазовій площині (*E, B*) у вигляді заштрихованої трапеції (рис. 11). При $\alpha_{22}<\alpha<\alpha_{12}$ (рис. 12б) маємо умови для випадку 1. В результаті отримано:

$$R=\int_0^{\alpha_{22}}P(\alpha)d\alpha+\int_{\alpha_{22}}^{\alpha_{12}}P(\alpha)d\alpha+=R_1+R_2, \qquad (15)$$

де $R_1=\dfrac{1}{2\lambda_B}[(C_1+C_4)\alpha_{22}-(D_1+D_4-C_1-C_4)\ln(1-\alpha_{22})]$;

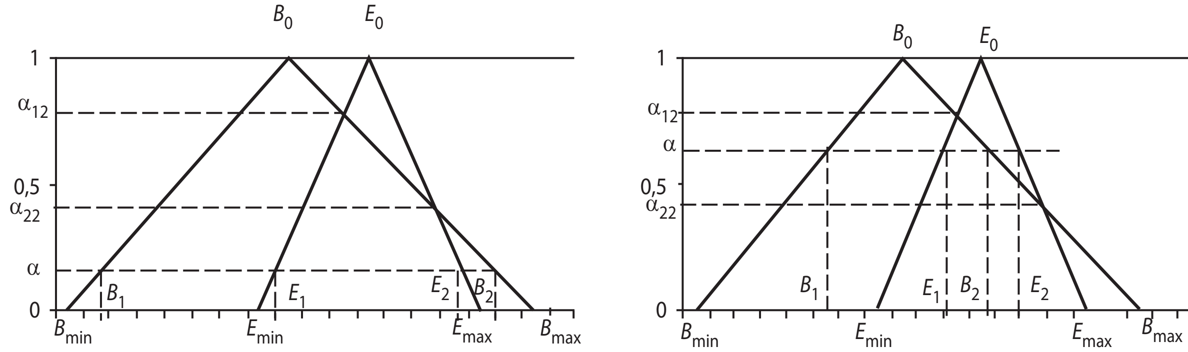

Рис. 12. Функції приналежності μ_E і μ_B (випадок 4.2)

$$R_2=\frac{1}{2\lambda_E\lambda_B}\left[C_1^2(\alpha_{12}-\alpha_{22})-(D_1-C_1)\left(2C_1\ln\frac{(1-\alpha_{12})}{(1-\alpha_{22})}-(D_1-C_1)\frac{(\alpha_{12}-\alpha_{22})}{(1-\alpha_{12})(1-\alpha_{22})}\right)\right];$$

$$\alpha_{12}=\frac{D_1}{C_1};\quad \alpha_{22}=\frac{D_4}{C_4};\quad C_1=E_0-E_{\min}+B_{\max}-B_0;\quad D_1=B_{\max}-E_{\min};$$

$$C_4=E_0-E_{\max}+B_{\max}-B_0;\quad D_4=B_{\max}-E_{\max};$$

$$P(\alpha)=\begin{cases}\dfrac{1}{2\lambda_B}\dfrac{D_1+D_4-\alpha(C_1+C_4)}{1-\alpha} & \text{при}\quad 0<\alpha<\alpha_{22}\\ \dfrac{1}{2\lambda_E\lambda_B}\left(\dfrac{D_1-\alpha C_1}{1-\alpha}\right)^2 & \text{при}\quad \alpha_{22}<\alpha<\alpha_{12}\ .\\ 0 & \text{при}\quad \alpha_{12}<\alpha<1\end{cases}$$

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, теорія нечітких множин є однією з найбільш ефективних теорій, що дозволяє подолати недоліки, пов'язані з урахуванням невизначеності, які притаманні методам оцінки та прогнозування ризику. На основі теорії нечітких множин формується повний спектр можливих сценаріїв інноваційного процесу. Метод не вимагає точного завдання функцій приналежності, тому що, на відміну від імовірнісних методів, отриманий результат характеризується низькою варіативністю до зміни виду функцій приналежності вихідних нечітких чисел, що важливо в умовах недостатньої якості вихідної інформації та робить застосування цього методу більш надійним і привабливим.

Завдяки отриманим формулам потенційні інвестори та розробники можуть приймати управлінські рішення про доцільність впровадження та реалізації інноваційного проекту. Слід зазначити, що наведені моделі орієнтовані на оцінку та прогнозування ризику за одним критерієм. Тому в подальшій роботі доцільно розглянути запропонований метод для випадків прогнозування ризиків за двома (або більше) критеріями одночасно.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ghaleb T., Alsri A., Shabanen L., Niazi M. A survey of project risk assessment and estimation models. *Proceeding of the Word Congress on Engineering*. 2014. Vol. 1. P. 416–421.

2. Єлейко Ю., 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.

3. Недосекин А. О. Оценка риска бизнеса на основе нечетких данных: монография. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 100 с.

4. Абдулаева З. И., Недосекин А. О. Стратегический анализ инновационных рисков: монография. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 150 с.

5. Великоиваненко В. И., Гусаков Н. В., Пантенков Д. Г., Соколов В. М. Упрощенный алгоритм построения вероятностной модели оценки степени рисков инновационных проектов. *Космическая техника и технологии*. 2014. № 3 (6). С. 81–89.

6. Мельников В. И. Применение теории нечетких множеств в анализе рисков инвестиционных проектов. *Экономическая теория, анализ, практика*. 2010. № 3. С. 57–71.

7. Мячин В. Г. Нечетко-множественный подход к оценке рисков при разработке стратегии инновационного развития промышленных предприятий. *Економічний вісник ДВНЗ УДХТУ*. 2016. № 1 (13). С. 12–16.

8. Павлова В. А., Мячин В. Г., Жукова А. Г. Оценка инновационного потенциала машиностроительного предприятия методом нечётких множеств. *Бюлетень Міжнародного Нобелівського економічного форуму*. 2013. № 1 (6). С. 243–252.

9. Гнуни Т. С. Методика оценки риска инвестиционного проекта с использованием неопределенно-множественной модели с Гауссовой функцией принадлежности. *Математические методы анализа в экономике*. 2012. № 9 (99). С. 27–33.

10. Ильяшенко С. Н. Риски инновационной деятельности. Классификация и методы оценки. *Вісник Української академії банківської справи*. 2000. № 1 (8). С. 39–42.

11. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH: монография. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

12. Zimmerman H.-J. Fuzzy Set Theory and its Applications. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. 315 p.

REFERENCES

Abdulayeva, Z. I., and Nedosekin, A. O. *Strategicheskiy analiz innovatsionnykh riskov* [Strategic analysis of innovative risks]. St. Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2013.

Ghaleb, T. et al. "A survey of project risk assessment and estimation models"*Proceeding of the Word Congress on Engineering* vol. 1 (2014): 416-421.

Gnuni, T. S. "Metodika otsenki riska investitsionnogo proekta s ispolzovaniyem neopredelenno-mnozhestvennoy modeli s Gaussovoy funktsiyey prinadlezhnosti" [Methods of assessment of risk investment project with the use of uncertain multiple model with Gaussian membership function]. *Matematicheskie metody analiza v ekonomike*, no. 9 (99) (2012): 27-33.

Ilyashenko, S. N. "Riski innovatsionnoy deyatelnosty. Klassifikatsiya i metody otsenky" [The risks of innovation. Classification and assessment methods]. *Visnyk Ukrainskoi akademii bankivskoi spravy*, no. 1 (8) (2000): 39-42.

Leonenkov, A. V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH]. St. Petersburg: BKhV-Peterburg, 2005.

Melnikov, V. I. "Primenenie teorii nechetkikh mnozhestv v analize riskov investitsionnykh proektov" [Application of fuzzy set theory in risk analysis of investment projects]. *Ekonomicheskaya teoriya, analiz, praktika*, no. 3 (2010): 57-71.

Myachin, V. H. "Nechetko-mnozhestvennyy podkhod k otsenke riskov pri razrabotke strategii innovatsionnogo razvitiya promyshlennykh predpriyatiy" [Fuzzy-multiple approach to risk assessment in the development of the strategy of innovative development of industrial enterprises]. *Ekonomichnyi visnyk DVNZ UDKhTU*, no. 1 (13) (2016): 12-16.

Nedosekin, A. O. *Otsenka riska biznesa na osnove nechetkikh dannykh* [Assessment of business risk based on fuzzy data]. St. Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2004.

Pavlova, V. A., Myachyn, V. H., and Zhukova, A. H. "Otsenka innovatsionnogo potentsiala mashinostroitelnogo predpriyatiya metodom nechetkikh mnozhestv" [The estimation of innovative potential of machine-building enterprise by the method of fuzzy sets]. *Biuleten Mizhnarodnoho Nobelivskoho ekonomichnoho forumu*, no. 1 (6) (2013): 243-252.

Velikoivanenko, V. I. et al. "Uproshchennyy algoritm postroeniya veroyatnostnoy modeli otsenki stepeni riskov innovatsionnykh proektov" [A simplified algorithm for constructing probabilistic models for the risk assessment of innovative projects]. *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, no. 3 (6) (2014): 81-89.

Yeleiko, Yu., Shcherbyna, Yu., and Dmytriv, S. "Vyznachennia poniattia ryzyku za dopomohoiu teorii nechitkykh mnozhyn" [The definition of risk using fuzzy set theory]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriia: Prykladna matematyka ta informatyka*, no. 21 (2014): 79-83.

Zimmerman, H.-J. *Fuzzy Set Theory and its Applications*Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.