*Секция: Инвестиции и инновации*

**АНДРЕНКО ЕЛЕНА АНАТОЛЬЕВНА**
*канд. экон. наук, доцент кафедры*
*финансово-экономической безопасности, учета и аудита*
*Харьковский национальный университет*
*городского хозяйства им. А.М. Бекетова*
*г. Харьков, Украина*
**МОРДОВЦЕВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ**
*канд. экон. наук, ст. преп. кафедры менеджмента*
*внешнеэкономической деятельности и финансов*
*Национальный технический университет*
*«Харьковский политехнический институт»*
*г. Харьков, Украина*
**МОРДОВЦЕВ СЕРГЕЙ МИХАЙЛОВИЧ**
*канд. техн. наук., доцент кафедры высшей математики*
*Харьковский национальный университет*
*городского хозяйства им. А.М. Бекетова*
*г. Харьков, Украина*

# ОЦЕНКА РИСКОВ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Одной из причин неэффективного практического использования научно-методических подходов к оценке инвестиционных рисков, основанных на качественных, количественных и гибридных методах, является неполнота информации на различных стадиях инвестиционного процесса, что затрудняет выбор адекватной модели оценки и прогнозирования инвестиционных рисков в условиях неопределенности. В такой ситуации приобретает актуальность разработка экономико-математических моделей, основанных на вероятностных подходах и теории нечетких множеств.

Целью исследования является совершенствование подхода к оценке инвестиционных рисков предприятия на основе теории нечетких множеств

[1-4]. Использование методов, основанных на этой теории, предусматривает формализацию исходных параметров и целевых показателей в виде нечеткого интервала. Попадание в каждый интервал характеризуется некоторой степенью неопределенности. Разработчики инвестиционных проектов, используя исходную информацию, опыт и интуицию способны количественно охарактеризовать интервалы возможных и пороговых значений параметров.

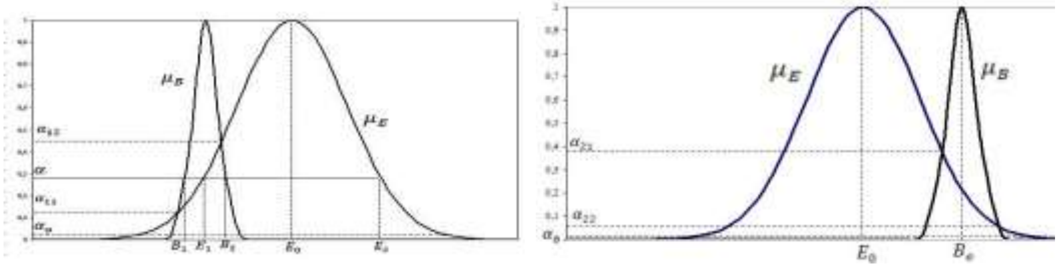
Для оценки уровня риска введем в рассмотрение два нечетких множества: $E$ - предполагаемое значение исследуемого показателя; $B$ - показатель, характеризующий граничные условия показателя. В качестве $E$ и $B$ можно, например, выбрать: $NPV$ - чистую приведённую стоимость; $PI$ - индекс рентабельности инвестиций; $RII$ - внутреннюю нормы доходности и другие параметры, характеризующие риски на всех стадиях инвестиционного процесса. При выполнении неравенства $E>B$ инновационный проект можно считать успешным.

Для оценки рисков предлагается использовать гауссову функцию принадлежности, которая в отличие от многоугольных функций является непрерывной и дифференцируемой на заданном интервале. Предположим, что для минимального среза выполняется условие $\mu_E(E_0-\lambda)=\mu_E(E_0+\lambda)=\alpha_o$, где λ-параметр, задающий узловые точки функции принадлежности, ограничивающие ее носитель. Тогда функции принадлежности для $E$ и $B$ записываются в виде

$$\mu_E = e^{\frac{(E-E_O)^2}{\lambda_E^2} ln\alpha_o}; \qquad \mu_B = e^{\frac{(B-B_O)^2}{\lambda_B^2} ln\alpha_o} \qquad (1)$$

Положим $B_o < E_0$. (рис. 1а). Для произвольного уровня $\alpha_o \le \alpha \le 1$ имеем

$$E_1 = E_o - \lambda\sqrt{\frac{ln\alpha}{ln\alpha_o}};\ E_2 = E_o + \lambda\sqrt{\frac{ln\alpha}{ln\alpha_o}};B_1 = B_o - \lambda\sqrt{\frac{ln\alpha}{ln\alpha_o}};B_2 = B_o + \lambda\sqrt{\frac{ln\alpha}{ln\alpha_o}} \qquad (2)$$



а) случай $B_o < E_0$ б) случай $B_o > E_0$

Рис. 1 – Функции принадлежности $\mu_E$; $\mu_B$

Функции $\mu_E, \mu_B$ пересекаются в двух точках $\alpha_{11}$ и $\alpha_{12}$, причем

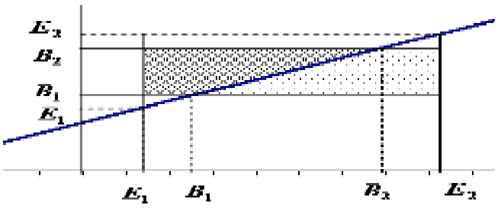
$$\alpha_{11} = \exp\left(\frac{(E_o-B_o)^2}{(\lambda_B-\lambda_E)^2} ln\alpha_o\right); \ \alpha_{12} = exp\left(\frac{(E_o-B_o)^2}{(\lambda_E+\lambda_B)^2} ln\alpha_o\right) \quad (3)$$

где $E_o$ , $B_o$ – модальные значения функций, соответствующие $\sup(\mu) = 1$.

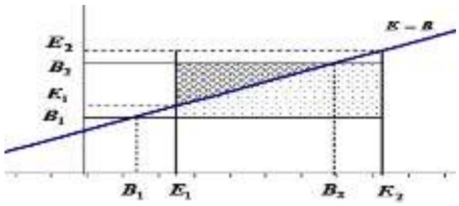
Зоны риска показаны на фазовой плоскости (E, B) как заштрихованная трапеция для $\alpha_o \le \alpha \le \alpha_{11}$ (рис. 2а) и заштрихованный треугольник для $\alpha_{11} \le \alpha \le \alpha_{12}$ (рис. 2б). Заштрихованный прямоугольник определяет область ожидаемых реализаций значений параметра. Геометрическая вероятность события попадания точки (E, B) в зону риска определяется по формуле

$$P(\alpha) = \frac{S_r}{S}, \quad (4)$$

где $S_r$ – площадь заштрихованной трапеции (треугольника), S – площадь заштрихованного прямоугольника.



а) $\alpha_o \le \alpha \le \alpha_{11}$



б) $\alpha_{11} \le \alpha \le \alpha_{12}$

Рис. 2 – Фазовая плоскость для уровня $\alpha$

Суммарный риск вычисляется по формуле

$$R = R_1 + R_2 = \int_{\alpha_0}^{\alpha_{11}} P(\alpha)d\alpha + \int_{\alpha_{11}}^{\alpha_{12}} P(\alpha)d\alpha \quad (5)$$

В результате получим

$$R_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{E_o-B_o}{\lambda_E} D \cdot \Delta ERF_1 + \alpha_{11} - \alpha_o\right); \quad (6)$$

$$R_2 = \frac{B_o-E_o}{8\lambda_E\lambda_B}[(B_o - E_o)\ln(\alpha_o)\,\Delta Li + \lambda_{\text{BE}}^2 \cdot (\alpha_{12} - \alpha_{11}) - 2\lambda_{\text{EB}} \cdot D \cdot \Delta ERF_2], \quad (7)$$

где $\text{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z e^{-u^2}du = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k z^{2k+1}}{(2k+1)\cdot k!}$ – функция ошибок;

$\Delta\text{ERF}_1 = \text{erf}\left(\sqrt{|ln\alpha_{11}|}\right) - \text{erf}\left(\sqrt{|ln\alpha_o|}\right)$; $\Delta\text{ERF}_2 = \text{erf}\left(\sqrt{|ln\alpha_{12}|}\right) - \text{erf}\left(\sqrt{|ln\alpha_{11}|}\right)$;

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

$\Delta Li = li(\alpha_{12}) - li(\alpha_{11})$; $D = \sqrt{\pi|ln\alpha_o|}$; $\lambda_{\text{EB}} = (\lambda_E + \lambda_B)$

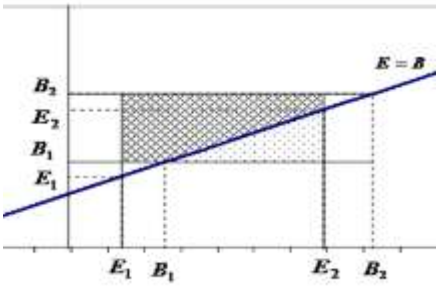
Рассмотрим случай, когда $E_o < B_0$ (рис.1б). Из условия симметрии следует, что $\alpha_{22} = \alpha_{11}$; $\alpha_{21} = \alpha_{12}$.

Суммарный риск вычисляется по формуле

$$R^* = R_1^* + R_1^* + R_1^* = \int_{\alpha_0}^{\alpha_{22}} P(\alpha)d\alpha + \int_{\alpha_{22}}^{\alpha_{21}} P(\alpha)d\alpha + \int_{\alpha_{21}}^{1} d\alpha \quad (8)$$

При выборе произвольного уровня принадлежности $\alpha_o \leq \alpha \leq \alpha_{22}$ можно доказать, что риск $R_1^* = R_1$.

При выборе произвольного уровня принадлежности $\alpha_{22} \leq \alpha \leq \alpha_{21}$ зоной риска для выбранного уровня α является интервал [$B_1$, $E_2$]. На фазовой




плоскости (E, B) это заштрихованная трапеция (рис. 3).

Рис. 3 – Фазовая плоскость для уровня $\alpha_{22} \leq \alpha \leq \alpha_{21}$

В этом случае суммарный риск вычисляется по формуле

$$R_2^* = \left[1 - \frac{\lambda_{\text{BE}}^2}{8\lambda_E\lambda_B}\right](\alpha_{21} - \alpha_{22}) - \frac{B_o - E_o}{4\lambda_E\lambda_B}[(B_o - E_o)\ln(\alpha_o) \cdot \Delta Li_1 + \lambda_{\text{EB}} D \cdot \Delta ERF_3], \quad (9)$$

где $\Delta ERF_3 = \text{erf}\left(\sqrt{|ln\alpha_{21}|}\right) - \text{erf}\left(\sqrt{|ln\alpha_{22}|}\right)$; $\Delta Li_1 = li(\alpha_{21}) - li(\alpha_{22})$

При $\alpha_{21} < \alpha \leq 1$ риск равен $R_3^* = 1 - \alpha_{21}$. (10)

Приняты следующие критерии: если R<10%, то он признается приемлемым для всех случаев инновационного проектирования; если 10% <R<20%, то он признается условно приемлемым, необходимы дополнительные мероприятия по страхованию риска; если R> 20%, то проект признается неприемлемым.

Приведем пример расчета риска инвестирования инновационного проекта, с использованием индекса рентабельности инвестиций, который, в нашем случае, является нечеткое множество *E* = *PI*.

$$(PI_{min}; PI_0; PI_{max}) = \left(\frac{1}{I_{max}}\sum_{k=1}^{T}\frac{CF_k^{min}}{(1+r_k^{max})^k}; \frac{1}{I_0}\sum_{k=1}^{T}\frac{CF_k^{0}}{(1+r_k^{0})^k}; \frac{1}{I_{min}}\sum_{k=1}^{T}\frac{CF_k^{max}}{(1+r_k^{min})^k}\right) (11)$$

где $T$ - срок внедрения и реализации инновационного проекта; $I$ ($I_{min}$, $I_0$, $I_{max}$) - размер стартовых инвестиций; $CF_k$ ($CF_k^{min}$; $CF_k^0$; $CF_k^{max}$) - планируемый чистый денежный поток по к-период; $r\ (r_k^{min}; r_k^0;\ r_k^{max})$ –-ставка дисконтирования. В таблице 1 представлены параметры проекта. Остаточная (ликвидационная) стоимость проекта равна нулю. Инвестиционный проект признается эффективным, если индекс рентабельности инвестиций $PI$ превышает предельный уровень $B$.

**Таблица 1 – Ожидаемые параметры инвестиционного проекта**

| Показатель | сценарий 1 | сценарий 2 | сценарий 3 |
|---|---|---|---|
| размер стартовых инвестиций $I$, тыс.грн | 200 | 200 | 200 |
| планируемый чистый денежный поток $CF_k$ | | | |
| первый год $CF_1$, тыс.грн | 0 | 0 | 0 |
| второй год $CF_2$, тыс.грн | 80 | 180 | 230 |
| третий год $CF_3$, тыс.грн | 160 | 260 | 370 |
| ставка дисконтирования $r$, % | 0,15 | 0,2 | 0,25 |

Используя (11) определим $E_o$=$PI_o$=1,4; $\lambda_E$=0,7. Примем $B_o$=1,1; $\lambda_B$=0,2, а также зададим минимальный уровень среза $\alpha_o$=0,02. В результате расчетов по формулам (3, 5-7) ожидаемый итоговый инвестиционный риск составил $R = 6{,}9\%$, т.е инвестиционные проект можно принять. При $B_o$=1,5>$E_o$, по формулам (3, 5, 9-10) получим $R^*$ =66%, т.е. проект отклоняется. Отметим, что в случае применения треугольных функций принадлежности [4] итоговые инвестиционные риски составили: $R = 10{,}7\%$; $R^*$ =60%, соответсвенно.

Использование полученных зависимостей риска от параметров, характеризующих инвестиционный проект, позволяет потенциальным инвесторам и разработчикам прогнозировать возможные сценарии инвестиционного процесса и принимать обоснованные управленческие решения о целесообразности внедрения и реализации проекта. Недостатком рассмотренной гауссовой функции принадлежности является ее симметричность, что не всегда удобно при разработке реальных инвестиционных проектов. Поэтому имеет смысл провести аналогичные исследования, используя асимметричные функции принадлежности.

**Литература:**


1. Недосекин А. О. Стратегический анализ инновационных рисков: монография / З.И. Абдулаева, А.О. Недосекин. - СПб : Изд-во Политехн. университета, 2013. – 150 с.
2. Гнуни Т. С. Методика оценки риска инвестиционного проекта с использованием неопределенно-множественной модели с Гауссовой функцией принадлежности / Т.С. Гнуни // Математические методы анализа в экономике. – 2012. – № 9 (99). – С. 27-33.
3. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.
4. Мордовцев О.С. Прогнозування інноваційних ризиків з використанням нечітких множин / І. А. Федоренко, А.С. Мордовцев, В.О. Мясников // Проблеми економіки. – 2017. – № 1 . – С. 420-429.