

Вакулина Г.М.
**НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ ПОДХОД В АНАЛИЗЕ РИСКОВ
ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ**

*Уральский государственный университет путей сообщения,
г.Екатеринбург
g_vakulina@mail.ru*

Аннотация

В статье рассмотрен метод оценки проектных рисков с использованием теории нечетких множеств. Данный метод относительно нов и малоизучен, однако имеет неоспоримые преимущества по сравнению с существующими способами оценки рисков.

Ключевые слова

Нечеткое множество, максимизация функции прибыли, чистая приведенная стоимость.

Vakulina G.M.
**FUZZY-SET APPROACH IN RISK ANALYSIS OF INVESTMENT
PROJECTS**

*Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg
g_vakulina@mail.ru*

Abstract

The paper presents a method of assessment of project risks using fuzzy set theory. This method is relatively new, but it has obvious advantages over existing methods of risk assessment.

Keywords

Fuzzy set, the maximization of return, net present value.

Введение

Точная оценка рисков – одна из наиболее сложных задач в сфере проектного финансирования. Динамично развивающаяся рыночная среда, нестабильная экономика, множество игроков на рынке – все это способствует тому, что при анализе инвестиционного проекта необходимо учитывать несколько сотен факторов, влияющих на результат.

Современная отечественная и зарубежная литература предлагает несколько различных способов анализа проектных рисков с помощью качественных и количественных методов оценки, однако точные методы требуют большого количества трудозатрат, в то время как простые методы не дают необходимого результата. Как следствие, в настоящее время развиваются новые, альтернативные методы риск-анализа инвестиционных проектов.

Теоретический анализ

Под инвестиционным проектом подразумевается план или программа мероприятий, связанных с осуществлением капитальных вложений и их последующим возмещением и получением прибыли.

В качестве основного показателя эффективности проекта принимается его чистая приведенная стоимость (NPV): текущая стоимость будущих денежных потоков инвестиционного проекта, рассчитанная с учетом дисконтирования, за вычетом инвестиций [1].

$$NPV = -I + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta V_i}{(1 + r_i)^i} + \frac{C}{(1 + r_{N+1})^{N+1}}, \quad (1)$$

где I – стоимость инвестиций, N – количество периодов инвестиционного проекта, i – порядковый номер периода, ΔV – разница между финансовыми потоками проекта в i -том периоде, r – ставка дисконтирования в i -том периоде, C – ликвидационная стоимость активов после завершения инвестиционного проекта.

Обычно предполагается, что проект является успешным, если чистая приведенная стоимость проекта принимает значение, большее нуля. В некоторых случаях проект признается эффективным, если значение NPV больше или равно некоего числа G . Данный критерий используется, если инвестор хочет получить гарантированную прибыль от проекта:

$$NPV \geq G > 0 \quad (2)$$

или в случае реализации социальных проектов с целью зафиксировать уровень убытков

$$NPV \geq G, \quad (3)$$

$$G < 0.$$

Прогнозное значение NPV вычисляется на основании моделирования финансовых потоков проекта. Однако в случае неверного моделирования или реализации негативных факторов фактическое значение NPV может существенно отличаться от прогнозного и принимать отрицательные значения. Необходимо минимизировать данный риск на начальном этапе инвестирования. Иными словами, не стоит вкладывать деньги в проект, если вероятность его провала выше уровня, определенного инвестором.

Анализ рисков проекта состоит из двух шагов.

1. Идентификация рисков (нахождение, составления перечня и описания элементов риска).

2. Определение степени влияния рисков фактора на проект и вероятность его появления с помощью количественных и качественных методов анализа.

Идентификация и оценка рисков выполняется членами команды проекта и экспертами в области управления рисками и обычно представляет собой таблицу со списком всевозможных рисков [4]. Учеными предлагается множество методологий составления риск-листов и

классификаций рисков факторов. В целях данной работы мы будем выбирать несколько основных факторов риска и оценивать их влияние на проект.

Следующим шагом после идентификации рисков является определение степени влияния рисков фактора на проект и вероятность его появления. Часто используется метод компьютерной симуляции: в программе задаются вероятностные характеристики входных параметров, моделируется проектный цикл и рассчитывается *NPV* с использованием значений, взятых программой компьютером случайным образом. Данный метод несложен, если в качестве входных параметров берется несколько факторов. Если параметров много (а для тщательного анализа проекта необходимо учитывать все факторы, способные повлиять на экономическую эффективность проекта), такой расчет представляется кропотливым и весьма трудоемким процессом.

Поэтому ученые современного мира предлагают альтернативные варианты оценки рискованности проекта с помощью более простых, но не менее эффективных методов [3]. Все чаще в литературе встречается метод, основанный на анализе рисков с точки зрения нечетко-множественного подхода. Этот метод примечателен тем, что вместо стандартных статистических приемов, присваивающих каждому рисковому фактору свои вероятностные характеристики, параметры описываются языком нечетких множеств.

Пусть U – некоторое множество элементов u , и $\mu_A: U \rightarrow [0,1]$. Нечетким подмножеством A в U называется график отображения μ_A , то есть множество вида $\{(u, \mu_A(u)) : u \in U\}$; при этом значение $\mu_A(u)$ называется степенью принадлежности u к A . Задание нечеткого подмножества A в U эквивалентно заданию его функции принадлежности [3].

Суть метода – представить прибыльность проекта в виде нечеткого числа и определить его функцию принадлежности и максимизировать эту функцию, выполняя при этом условие минимизации риска проекта (вероятность провала проекта не превышает уровня, заданного инвестором).

Для того чтобы представить целевую функцию в нечетком виде, необходимо оценить величины, из которых она складывается, и затем определить вид функции принадлежности их комбинации. В нашем случае *NPV* может быть функцией, определяющей прибыльность. Составление функций принадлежности параметров, влияющих на прибыльность, часто производится на основе экспертных оценок.

Рассмотрим некоторые самые распространенные функции принадлежности, к которым можно привести функцию *NPV*:

- треугольная;

- трапециевидная;
- колоколообразная;
- сигмоидная;
- L-R типа.

В данной работе мы будем рассматривать первые два типа. Самым распространенным видом является треугольная функция принадлежности.

Треугольная функция принадлежности используется, когда данных для построения более сложной функции не хватает. Для ее построения необходимо знать только минимально и максимально возможные значения, а также точечной оценке среднего значения. Данная функция соответствует выражению « X скорее всего равен X_{av} , но точно не меньше X_{min} и не больше X_{max} ». Ядром множества будет являться только одна точка – X_{av} , а носителем множества – стороны треугольника. В этом случае необходимо определить минимальное, максимальное и среднее (наиболее возможное) значение NPV . Значение функции принадлежности для NPV_{min} и NPV_{max} будет равняться нулю. Значение функции принадлежности для NPV_{av} равно единице. Если величина NPV_{min} отрицательна, существует риск того, что проект будет неэффективным.

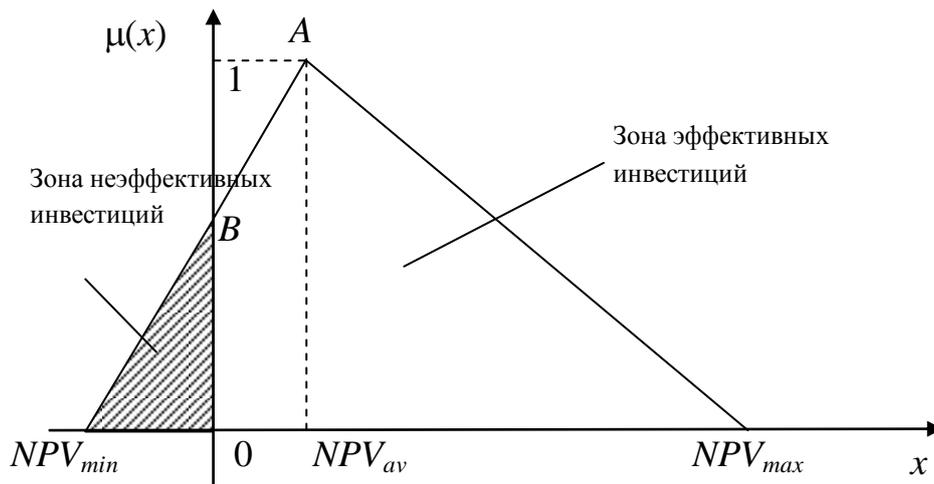


Рис.1. Треугольный вид функции принадлежности NPV

Пары значений $(x; \mu(x))$ из заштрихованной зоны – значения параметра NPV , при которых проект будет неэффективным, и соответствующие им значения функции принадлежности.

Уровень риска проекта будет выражен как

$$\alpha = \frac{NPV_{min}^2}{(NPV_{av} - NPV_{min})(NPV_{max} - NPV_{min})}. \quad (4)$$

Трапециевидная функция принадлежности – обобщение треугольной функции принадлежности. Используется, когда есть высокая вероятность того, что значение параметра X находится в интервале $[X_1; X_2]$. При этом степень уверенности в том, что параметр примет одно из значений внутри

отрезка, одинаковое в каждой точке. Ядро нечеткого множества – интервал $[X_1; X_2]$ – является пессимистической оценкой параметра. Носитель множества – стороны трапеции – пессимистическая оценка параметра.

Как и в случае с треугольной функцией принадлежности, пары значений $(x; \mu(x))$ из заштрихованной зоны – значения параметра NPV , при которых проект будет неэффективным, и соответствующие им значения функции принадлежности.

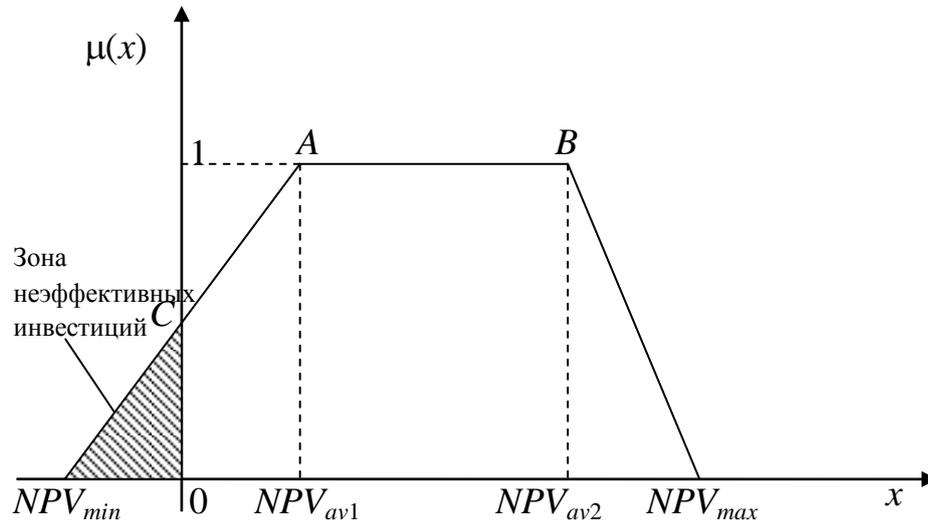


Рис.2. Трапециевидный вид функции принадлежности NPV

Уровень риска проекта α выражается следующей формулой:

$$\alpha = \frac{NPV_{\min}^2}{(NPV_{av1} - NPV_{\min})(NPV_{av2} - NPV_{av1} + NPV_{\max} - NPV_{\min})}. \quad (5)$$

Более сложный вид функций – колоколообразная функция принадлежности. Эта функция является гладкой на всей области определения и принимает ненулевые значения. Для построения такой функции необходим довольно большой набор данных, но в отличие от предыдущих двух видов функций принадлежности колоколообразную функцию можно лучше настроить под каждый конкретный случай. Однако если графики треугольной и трапециевидной функций принадлежности могут быть несимметричными, график колоколообразной функции симметричен относительно своей моды.

График функции строится по следующему уравнению:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-a}{b}\right)^2}, \quad (6)$$

где a – мода, b – степень крутизны ветвей функции.

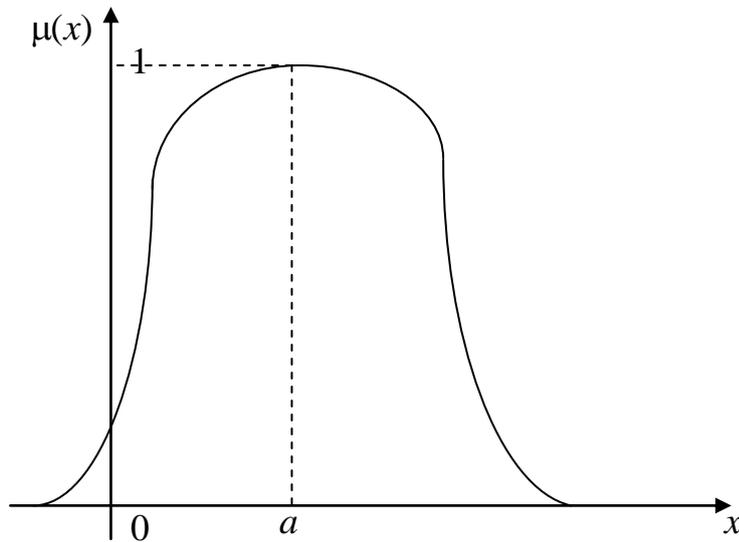


Рис.3. Колоколообразный вид функции принадлежности

Практическое применение метода.

Предположим, что инвестору предлагается проект транспортной компании, осуществляющей перевозку пассажиров с использованием собственных транспортных средств. Все финансовые потоки предприятия спрогнозированы заранее, после окончания проекта организация не будет ликвидирована или продана (ликвидационная стоимость активов не учитывается).

NPV проекта может быть выражена формулой

$$NPV = -I + \sum_{i=1}^n \frac{h_i p - k(w_i + z_i) - l_i}{(1 + r_i)^i}, \quad (7)$$

где k – количество автобусов, приобретенных инвестором,

h_i – количество пассажиров, перевезенных в i -тый период,

p – стоимость проезда для одного пассажира,

z_i – заработная плата водителя за период i ,

w_i – стоимость ГСМ и содержания одного транспортного средства за период i ,

l_i – постоянные расходы организации, включая налоги, страхование, административные расходы.

Также необходимо учитывать ограничения:

$$k \leq K, \quad (8)$$

где K – максимальное количество автобусов, которое может иметь компания (которое может позволить себе инвестор);

$$h \leq kq, \quad (9)$$

где q – совокупная вместимость пассажиров в одно транспортное средство в день.

Инвестор может принимать или не принимать проект, а также выбирать количество купленных им автобусов от 1 до K и уровень приемлемого риска χ .

Таким образом, перед инвестором встает задача максимизации:

$$\begin{aligned} NPV &= NPV(k) \rightarrow \max \\ P(NPV < 0) &\leq \chi, \end{aligned} \tag{10}$$

которую он может решать, регулируя объем инвестиций в проект.

Предположим, что для данного проекта

$$I = 10000 + 2000k;$$

$$K = 10;$$

$$q = 150;$$

$$p = 1;$$

$$l_i = 30;$$

$$z_i = 60;$$

$$w_i = 50;$$

$$r = 10\% \text{ годовых};$$

$$N = 365$$

$$\chi = 0,25.$$

Каждый i -тый период равен одному дню.

Идентифицируем риски проекта. Основным рисковым фактором является недостаточное количество пассажиров, перевезенных в единицу времени и возможность повышения стоимости ГСМ и расходных материалов для обслуживания транспорта. Предположим, что остальные параметры спрогнозированы верно и не могут значительно измениться в течение всего проекта.

С экспертной точки зрения функция принадлежности первого параметра является трапецевидной и соответствует выражению «количество пассажиров скорее всего будет в интервале от 900 до 1000 в день, но точно не меньше 900 и не больше 1300». Функция принадлежности параметра z_i оценивается экспертами как треугольная и соответствует выражению «затраты на ГСМ для одного транспортного средства в день скорее всего будут равны 60, но точно не меньше 55 и не больше 65». В соответствии с правилами арифметических действий над нечеткими числами определяем параметры нечеткой функции NPV для каждого k и вероятность попадания в зону неэффективных инвестиций. При этом необходимо помнить, что при небольших k минимальное и максимальное количество перевезенных пассажиров в день будет

определяться вместимостью транспортных средств, а не значением параметра h_i .

Для определения оптимальной стратегии для инвестора максимизируем среднее значение каждой из функций принадлежности и применим критерий минимизации риска. Путем несложных вычислений получаем, что функция прибыльности будет принимать максимальное значение при $k=6$ (значение наиболее ожидаемого дохода равно 67 тыс. \$). Но при этом риск проекта равен 33%, что неприемлемо.

Рассматривая другие варианты, находим оптимальный: $k=5$. При этом уровень рискованности проекта равен 0,24, а ожидаемый уровень прибыли – 52,7 тыс. \$.

Представленный метод является альтернативой уже существующим методам анализа проектных рисков в условиях неопределенности. В отличие от метода Монте-Карло, требующего имитацию нескольких тысяч итераций, он несложен в применении и легко переводит лексические формулировки в математическое выражение. Основными путями развития метода представляются: рассмотрение более сложных и точных функций принадлежности, а также рассмотрение инвестиционных проектов с тремя и более нечеткими параметрами и портфелей инвестиционных проектов.

Список использованных источников

1. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов. Москва, Финансы и статистика, 2000.
2. Недосекин А.О. Простейшая оценка риска инвестиционного проекта // Современные аспекты экономики, №11, 2002.
3. Рыжков А.П. Элементы теории нечетких множеств и ее приложений. Москва, Диалог-МГУ, 1998.
4. Bogdan Rebiasz. Fuziness and randomness in investment project risk appraisal // Computers&Operations Research, №34, 2007. С.199-210.
5. Yiha Mao, Wenjing Wu. Fuzzy real option evaluation of real estate project based on risk analysis // Systems Engineering Procedia, №1, 2011. С.228-235.