

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

METHODOLOGICAL APPROACH TO THE EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF INNOVATIVE PROJECTS BASED ON FUZZY SETS

**I. Marushchak
A. Paramonov
S. Shibaev**

Summary. The article is devoted to the consideration of perspective from a scientific point of view approach to the evaluation of the effectiveness of innovative projects based on fuzzy sets. Unlike traditional approaches to assessing the effectiveness of investment in innovative projects, the fuzzy set device allows to significantly improve the accuracy of the calculations. As part of the study, the authors developed a model for calculating the effectiveness of an innovative projects based on fuzzy sets.

Keywords: innovations, innovative project, efficiency evaluation, investments, fuzzy sets.

Марущак Илья Иванович

К.э.н., доцент, Московский международный университет
i.marushchak@mmu.ru

Парамонов Алексей Федорович

К.э.н., доцент, Московский международный университет
a.paramonov@mmu.ru

Шубаев Сергей Вадимович

Аспирант, Московский финансово-юридический университет
sergey-shibaev@yandex.ru

Аннотация. статья посвящена рассмотрению перспективного с научной точки зрения подходу к оценке эффективности инновационных проектов на основе нечетких множеств. В отличие от традиционных подходов к оценке эффективности инвестиций в инновационные проекты, аппарат нечетких множеств позволяет в значительной степени повысить точность проводимых расчетов. В рамках проведенного исследования авторами разработана модель расчета эффективности инновационного проекта на основе нечетких множеств.

Ключевые слова: инновации, инновационный проект, оценка эффективности, инвестиции, нечеткие множества.

Введение

В условиях современного экономического кризиса и введенных против российской экономики политических и экономических санкций важнейшим фактором ее роста является формирование инновационной промышленности. Активное развитие государственной политики в сфере интенсификации инновационной деятельности за последние годы позволило обеспечить институциональные, экономические и структурные предпосылки для такого роста. В числе прочих мер, были направлены существенные ресурсы на развитие высокотехнологичных предприятий в рамках программы импортозамещения, созданы пилотные территориальные инновационные кластеры, обеспечены базовые механизмы консолидации вузов как разработчиков инновационных технологий и предприятий как производственных систем, обеспечивающих их выпуск в качестве инновационных продуктов.

Повышение значимости инноваций для российской экономики привело к росту числа исследований в сфере инновационной деятельности, проводимых отечественными учеными и направленными на формирование и совершенствование теории, методологии и прикладных основ управления инновациями. Благодаря проведенной работе, за последние десятилетия были созданы десятки подходов к проектированию и управлению инновационными проектами, построению организационной и технологической инфраструктуры для их внедрения в производство, оценке их эффективности и реализации в различных отраслях промышленности. При этом одной из важнейших составляющих процесс управления инновационным проектом выступает именно оценка его эффективности как тот механизм, на основе использования которого руководство предприятия становится способным оценить возможный экономический эффект от его реализации. В рамках данного исследования авторами предлагается новый с научной точки зрения

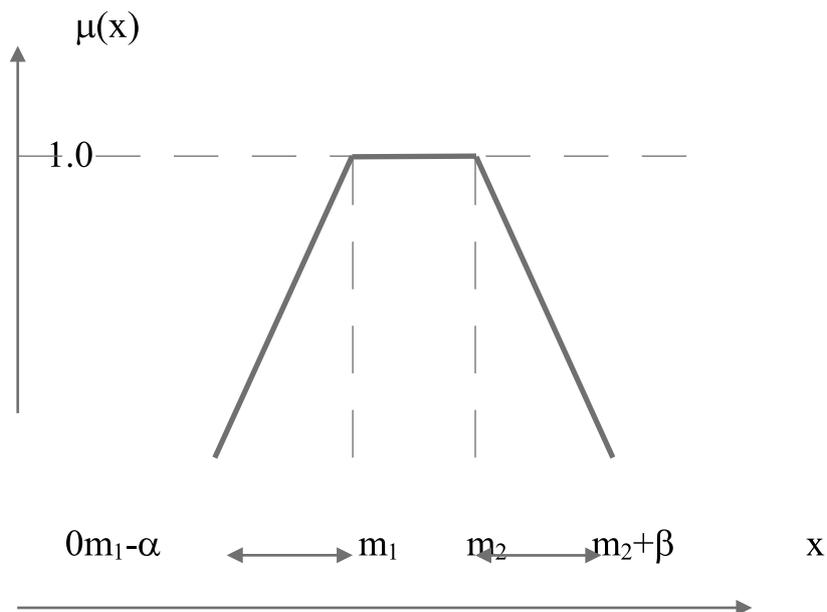


Рис. 1. Представление нечеткой стоимости инновационного проекта с помощью нечеткого множества.

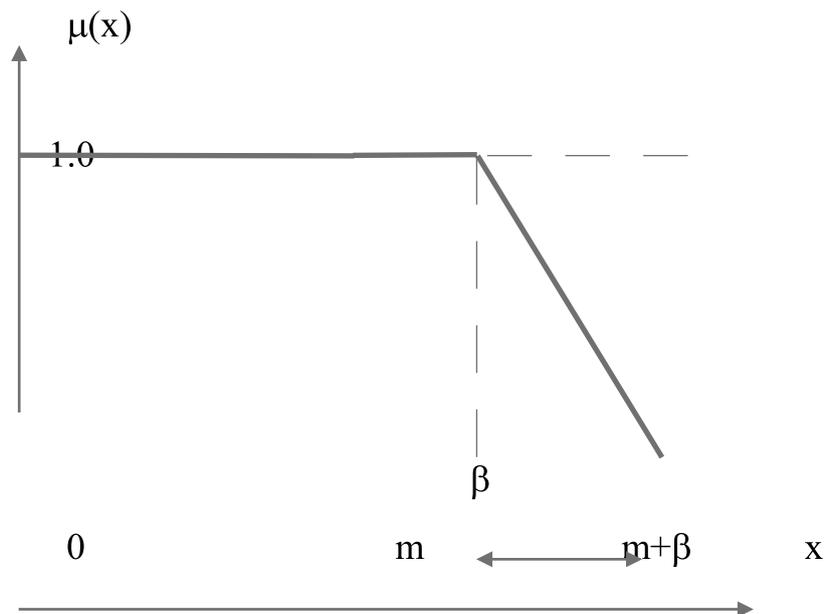


Рис. 2. Представление предпочтительного бюджета с помощью нечеткого множества.

подход к оценке инновационных проектов, основанный на теории нечетких множеств.

Часть 1. Основы оценки эффективности инновационного проекта с применением нечетких множеств

Теорию нечетких множеств широко использовали для представления нечеткой или общей информации в таких

областях как составление маршрутных карт, инженерном проектировании и управлении производством. Она может обеспечить альтернативную и удобную основу для контроля нечетких проектных параметров (например, проектная полезность, проектная стоимость и т.д.), в то же время присутствует недостаток определенности в данных или даже недостаток в наличии данных прошлых лет. Это происходит, потому что возможный диапазон проектных параметров и наиболее правдоподобная

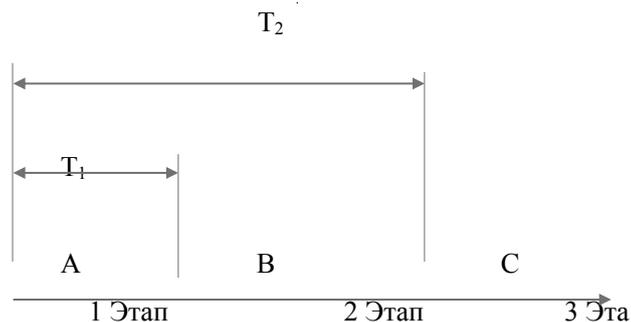


Рис. 3. Вариант представления инновационного процесса для лекарственного изобретения

полезность в рамках этого диапазона часто могут быть оценены и точно определены экспертами, основываясь на собственном опыте.

Теория нечетких множеств используется для описания неточной и подвижной проектной информации. С того момента, как традиционные подходы финансового анализа обычно недооценивали стоимость инновационного проекта, подход нечетких сложных опционов используется для оценки стоимости каждого инновационного проекта. Модель нечеткого выбора может контролировать как нечеткие, так и гибкие параметры, которые разрабатываются для выбора оптимального инновационного проекта. Новый вероятностный подход преобразует модель нечеткого портфельного выбора в жесткую математическую модель, которая развивается исходя из не расположенной к риску перспективы. Оптимальный инновационный проект может быть получен решением измененной модели, используя оптимизационный метод. Находясь в зависимости от ресурсной эластичности (гибкости), ЛПР может использовать чувствительный анализ для оценки соответствия выбранного проекта.

Существует два вида нечетких чисел:

- ◆ трапециевидные;
- ◆ треугольные.

Трапециевидные и треугольные нечеткие числа используются для описания обозначенных выше нечетких проектных параметров в рамках расчетной эффективности.

Трапециевидное нечеткое число $A=(m_1, m_2, \alpha, \beta)$ определено как

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (m_1 - x) / \alpha, & x \leq m_1 \\ 1, & m_1 \leq x \leq m_2 \\ (x - m_2) / \beta, & x \geq m_2 \end{cases} \quad (1)$$

где m_1 и m_2 левое и правое значение по модулю, α и β — левая и правая область рассеивания, соответ-

ственно. Треугольные нечеткие числа уточняются трапециевидными нечеткими числами с $m_1=m_2$ и обычно обозначаются как $A=(m_1, m_2, \alpha, \beta)$ или (m_1, α, β) . Например, неопределенная проектная стоимость может быть представлена трапециевидным неточным числом V (см. рис. 1). Состав функции $\mu_V(x)$ описывает степень вероятности проектной стоимости, которая затем будет реализована в x . Значения, лежащие в диапазоне (m_1, m_2) — существенной области, точно выберут, а значения, лежащие вне диапазона $(m_1-\alpha, m_2+\beta)$ — несущее множество — вряд ли попадут во внимание. Значения, лежащие вне существенной области и внутри несущего множества V , занимают промежуточное положение.

К тому же часто существует неопределенность (гибкость, подвижность) в принятии портфельного решения. Например, наличие бюджета может быть изменено. Оно часто определяется предпочтениями лица, принимающего решения (ЛПР) и может быть представлено нечеткими множествами, т.к. существует возможность поиска ограниченного дополнительного финансирования, если это оправдано ожидаемой полезностью (проектной стоимостью) выбранных проектов.

Пример предпочитаемого бюджета $B=(0, m, 0, \beta)$ показан на рис. 2 и означают степень исполнения бюджета. Если бюджет меньше m , то ЛПР полностью удовлетворен. Однако, если бюджет больше, чем m , то степень удовлетворенности снижается. Когда бюджет больше, чем $m+\beta$, то степень удовлетворенности становится равной 0.

Операции неточной арифметики, включая сложение и вычитание, используемые в этой статье, определены как:

$A=(a, b, \alpha, \beta)$, $B=(c, d, \delta, \gamma)$ и обозначают нечеткие числа. Затем

$$A \oplus B = (a + c, b + d, \alpha + \delta, \beta + \gamma) \quad (2)$$

$$A - B = (a - d, b - c, \alpha + \delta, \beta + \gamma) \quad (3)$$

Где + и — операции сложения и вычитания соответственно.

Вероятностное значение и дисперсия A определены как:

$$E(A) = \frac{\alpha + \beta}{2} + \frac{\beta - \alpha}{6}, \quad (4)$$

$$Var(A) = \frac{(b-a)^2}{4} + \frac{(b-a)(\alpha + \beta)}{6} + \frac{(\alpha + \beta)^2}{24} \quad (5)$$

A — Первоначальные инвестиции

B — первый опцион

C — второй опцион

1 Этап — разработка лекарства

2 Этап — тестирование

3 Этап — рыночное внедрение

Рассматривая оценочную модель с помощью нечетких сложных опционов, можно сказать, что ценность инвестиций в инновационный проект первоначально не определена как начальное вложение денег, а определена как возможность будущего инвестирования, обеспеченная первоначальным инвестированием. Количество подходов, включающих оценку и классификацию методов, предполагаемый подход NPV, анализ дисконтированных денежных потоков (ДДП) и подход реальных опционов, основанный на модели биржевых опционов, разрабатывались для оценки стоимости, а затем и эффективности инновационных проектов. Оценка и классификация методов субъективна: анализ NPV и ДДП также не очень удобны для оценки рисков инновационных проектов, потому что ценность успешных проектов обычно недооценивают, а ценность неудачных — переоценивают.

Метод реальных опционов получил огромное внимание в последние годы, так как первоначальные инвестиции в инновационные проекты походи на покупку опциона на будущее инвестирование. Инновационный проект обычно включает несколько фаз и ЛПП имеет право остановить или отложить проект на конец каждой из фаз. Поэтому, каждая фаза — это опцион, который зависит от выполнения других предыдущих опционов. Если инновация технически успешна, то она оставляет за собой право выбора (опцион) на значительно большее инвестирование в текущем проекте с относительно высоким ожидаемым уровнем чистого дохода. Если инновация терпит фиаско в достижении технического успеха, то нет необходимости вкладывать дополнительные ресурсы и, поэтому, снижение риска ограничено стоимостью первоначальных инвестиций инновационного проекта.

Часть 2. Практический пример оценки фармацевтического инновационного проекта с использованием аппарата нечетких множеств

Пример трехфазного фармацевтического инновационного проекта показан на рис. 3. Первая фаза распознает новые лекарства из числа возможных веществ. На второй фазе, после распознавания и синтеза новых лекарств, наступает право выбора (опцион) инвестирования в тестирование лекарства. Фаза тестирования обычно включает четыре тестировочных действия от доклинического тестирования до клинического тестирования для оценки силы воздействия и безопасности лекарства. На третьем этапе, после того, как подходящее подтверждение, касающееся безопасности и силы воздействия лекарства будет собрано и официально утверждено, вторым выбором (опционом) может быть инвестирование в производственный объем и рыночное внедрение.

Использование модели сложных опционов для исследования данного примера дополняется теорией нечетких множеств для оценки стоимости инновационных проектов, ввиду того, что будущие денежные потоки (напр. Стадия инвестирования в НИОКР, будущая проектная доходность и т.д.) трудно предсказать одним показателем [7]. Некоторые авторы разработали модель нечетких реальных опционов для оценки проекта, учитывающую только один опцион. Однако инновационный проект обычно включает множество этапов. Поэтому, модель оценки сложных опционов, которая включает опционы, стоимость (ценность) которых зависит от ценности других опционов, больше подходит для оценки инновационного проекта.

Предположим, что инновационный проект включает три этапа. Пусть C_i — текущая стоимость инвестиций на стадии $i=1,2,3$ и S — текущая стоимость проектной доходности после введения на рынок. Заметьте, что $C_i(i=1,2,3)$ и S оцениваются нечеткими числами. T_1 и T_2 — сроки погашения первого и второго опциона в проекте, соответственно. Пусть δ — дивидендный подход, r — процентная ставка, σ — волатильность (изменчивость) проектной доходности, N — кумулятивное нормальное распределение и $M(a, b, \rho)$ — двумерная функция кумулятивного нормального распределения с a и b (верхний и нижний интегральный предел) и корреляции коэффициента ρ . Нечеткое значение инновационного проекта может быть определено как [8]:

$$\begin{aligned} V = & S e^{-\delta T} 2M(a_1, b_1; \sqrt{T_1 / T_2}) - \\ & - C_3 * e^{-r T_2} \times M(a_2, b_2; \sqrt{T_1 / T_2}) - \\ & - C_2 * e^{-r T_1} N(a_2) \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$a_1 = \frac{\ln[E(S)/S^c] + (r - \delta + \sigma^2/2)T_1}{\sigma\sqrt{T_1}} \quad (7)$$

$$a_2 = a_1 - \sigma\sqrt{T_1} \quad (8)$$

$$b_1 = \frac{\ln[E(S)/E(C_3)] + (r - \delta + \sigma^2/2)T_2}{\sigma\sqrt{T_2}} \quad (9)$$

$$b_2 = b_1 - \sigma\sqrt{T_2} \quad (10)$$

Первый многочлен уравнения 9 показывает математическое ожидание нейтрального риска доходности проекта, второй многочлен показывает ожидаемые инвестиции во времени T_2 и последний многочлен — ожидаемые инвестиции в периоде T_1 .

Волатильность (σ) ставки изменчивости проектного дохода рассчитывается как $\sqrt{\text{var}(S)}/E(S)$, и дивидендные выплаты (δ) рассчитываются как $E(C)/E(S)$. $E(A)$ и $\text{var}(A)$ — вероятностные средние значения и дисперсия нечеткого числа A . (уравнения 4–5). Критическое значение S^c проекта может быть получено следующим уравнением, используя алгоритм Ньютона-Рафсона:

$$S_e^{c-\delta(T_2-T_1)} * N(c_1) - E(C_3)e^{-r(T_2-T_1)} * N(c_2) - E(C_2) = 0 \quad (11)$$

где

$$c_1 = \frac{\ln(S^c/E(C_3)) + (r - \delta + \sigma^2/2)(T_2 - T_1)}{\sigma\sqrt{T_2 - T_1}} \quad (12)$$

$$c_2 = c_1 - \sigma\sqrt{T_2 - T_1} \quad (13)$$

Отметим, что инвестиционные затраты (C_2, C_3) стадий 2 и 3 и будущая проектная доходность (S), определенная в уравнениях (7–13), заменены средними вероятностными значениями и дисперсионными значениями для упрощения расчета проектной стоимости. Предложенную процедуру расчета иллюстрирует следующий пример:

Предположим, что фармацевтическая компания намеревается развивать новое лекарство с новыми биотехнологиями. Это займет три года ($T_1=3$) и требует первоначальных инвестиций в размере $C_1=(20,21,2)$ (в млн.) для открытия лекарства. Этап тестирования требует шесть лет ($T_2=9$) и имеет инвестиции $C_2=(200,400,20)$. Этап вывода на рынок требует инвестиций $C_3=(300,350,50)$ для запуска продукта на рынок. Ожидается, что будущий результат денежных притоков в текущей стоимости $S=(1000,1200,100)$ наступит примерно в девятом году. Допустим, что безрисковая процентная ставка равна 4%.

Согласно указанной выше информации, следующие параметры могут быть получены как:

$$E(S) = \frac{a+b}{2} + \frac{\beta-\alpha}{6} = 1100$$

$$\text{Var}(S) = \frac{(b-a)^2}{4} + \frac{(b-a)(\alpha+\beta)}{6} + \frac{(\alpha+\beta)^2}{24} = 18333.3$$

$$E(C_2) = 300, E(C_3) = 325$$

Затем,

$$\sigma = \sqrt{\text{Var}(S)}/E(S) = 135.4/1100 = 0.1231$$

$$\delta = E(C_1)/E(S) = 20.5/1100 = 0.0186$$

Обращаясь к алгоритму Ньютона-Рафсона для решения уравнения, мы можем получить критическое значение $S^c = 621,31$. Согласно уравнениям (10–13), параметры a_1, a_2, b_1, b_2 рассчитаны следующим образом:

$$a_1 = \frac{\ln[1100/623.21] + (0.04 - 0.0186 + 0.1231^2/2) * 1}{0.1231\sqrt{1}} = 3.087$$

$$a_2 = 4.851 - 0.1231\sqrt{1} = 2.873$$

$$b_1 = \frac{\ln[1100/623.21] + (0.04 - 0.0186 + 0.1231^2/2) * 3}{0.1231\sqrt{3}} = 4.007$$

$$b_2 = 6.126 - 0.1231\sqrt{3} = 3.638$$

Из уравнения 9, мы можем получить неточную проектную стоимость $V=(267.0, 627.8, 137.0)$. Используя подход NPV, полученный NPV для проекта будет:

$$\text{NPV} = \frac{S}{(1+r)^{T_2}} - \frac{C_2}{(1+r)^{T_1}} - \frac{C_3}{(1+r)^{T_2}} = (101.1, 454.5, 123.2, 123.2)$$

Он показывает, что NPV-подход недооценивает значение инновационного проекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя сказанное, можно сказать, что предложенная модель может помочь ЛПП в анализе согласования между проектными инвестициями и полной стоимостью проекта в неопределенной среде реализации инноваций. Таким образом, делаем вывод, что обычный подход расчета NPV больше подходит для оценки типичного инвестиционного проекта, следовательно, для инновационного проекта он некорректен в плане точности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голов Р.С., Мыльник А. В. Инновационно-синергетическое развитие промышленных организаций. Теория и методология. М.: Дашков и Ко. 2018.
2. Мыльник В. В. Инвестиционный менеджмент. М.: Академический проект, 2003.
3. Мыльник В.В., Титаренко Б. П. Исследование систем управления. М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2014. 238 с.
4. Табекин А. В. Инновационный менеджмент. М.: Юрайт. 2017.
5. Советов Б.Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 2009.
6. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2006.
7. R. Geske. The evaluation of compound options, University of California, USA, 1997.
8. Juite Wang, W.-L.Hwang, A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model. S-tech Corp, Taiwan, 2005.

© Марущак Илья Иванович (i.marushchak@mnu.ru),

Парамонов Алексей Федорович (a.paramonov@mnu.ru), Шibaев Сергей Вадимович (sergey-shibaev@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Московский международный университет