

УДК 330.322.01

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С ВЕНЧУРНЫМ ФИНАНСИРОВАНИЕМ¹

БАРАНОВ АЛЕКСАНДР ОЛЕГОВИЧ,

доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической теории, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет; ведущий научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

E-mail: baranov@ieie.nsc.ru

МУЗЫКО ЕЛЕНА ИГОРЕВНА,

кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической теории и прикладной экономики, Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

E-mail: mei927@mail.ru

ПАВЛОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ,

доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и информационных технологий, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: victor_n_pavlov@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Для инновационных проектов характерны отсутствие прибыльности на первых этапах их реализации и большой риск, связанный с высокой неопределенностью оценки генерируемых ими прогнозируемых денежных потоков. В этой ситуации использование стандартных методов анализа экономической эффективности проектов не позволяет получить комплексную оценку целесообразности осуществления инвестиций, а также количественно оценить достоверность динамики прогнозируемых показателей. Все это требует развития теории и методов анализа экономической эффективности инноваций и определяет высокий уровень фундаментальности проблематики. Применение метода реальных опционов, а также аппарата нечетких множеств является, по нашему мнению, направлением совершенствования названных методов.

В статье рассматриваются вопросы применения новых методов оценки экономической эффективности инновационных проектов с венчурным финансированием в промышленности, а именно: исследуются возможности приложения концепции реальных опционов к оценке эффективности инновационных проектов с венчурным финансированием с использованием аппарата нечетких множеств. Дается краткий обзор работ зарубежных и российских ученых по исследуемой проблематике.

Описывается новая методика оценки экономической эффективности инновационных проектов с венчурным финансированием на основе метода реальных опционов с использованием модифицированной формулы Геске и включением нечетко-множественного анализа. Методика позволит количественно оценить факт поэтапной реализации проекта и возможность прекращения финансирования при получении негативной информации о его реализации, т.е. учесть и количественно оценить управленческую гибкость при принятии решений о дальнейшей реализации проекта.

В целом синтез теоретико-вероятностных и нечетко-множественных методов в анализе венчурного финансирования инновационных проектов на основе метода реальных опционов расширяет инструментарий венчурного инвестора, используемый для обоснования решений по инвестированию проектов, а также позволяет

¹ Работа выполнена в рамках научного проекта № 15-06-06914, поддержанного Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ).

получить более точную оценку эффективности проектов с высокой степенью неопределенности по сравнению с традиционными подходами.

Ключевые слова: инновационный проект; венчурное финансирование; неопределенность; реальный опцион; финансовый опцион; метод реальных опционов; нечеткие множества; прогнозирование денежных потоков.

THE METHODOLOGY OF ASSESSMENT OF ECONOMIC EFFICIENCY OF INNOVATIVE PROJECTS WITH VENTURE FINANCING BASED ON REAL OPTIONS METHOD WITH FUZZY SETS ANALYSIS

ALEXANDR A. BARANOV,

Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Chair „Economic Theory”, Novosibirsk National Research State University; senior research fellow, Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

E-mail: baranov@ieie.nsc.ru

ELENA I. MUZYKO,

Candidate of economic Sciences, Associate Professor of the Chair „Economic Theory and Applied Economics”, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

E-mail: mei927@mail.ru

VICTOR N. PAVLOV,

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Chair „Information systems and information technologies”, Saint-Petersburg State Polytechnical University, St. Petersburg, Russia

E-mail: victor_n_pavlov@mail.ru

ABSTRACT

The absence of profitability is typical for innovative projects on the early stages of its implementation and high risk because of high level of uncertainty of the estimates of forecasted cash flows. In this situation, the use of standard methods for economic efficiency analysis of the projects does not allow to obtain a comprehensive assessment of the advisability of investing, as well as to quantify the accuracy of the dynamics of forecasted indicators. All of this requires the development of the theory and methods for analysis of economic efficiency of innovations and determines the high level of fundamentality of the issue. The application of real options method and fuzzy sets theory is, in our opinion, the directions of the improvement of these methods.

The paper deals with the problems of usage of new methods for evaluation of economic efficiency of innovative projects with venture financing in the industry sector. The opportunities of application the real options method to evaluation of the effectiveness of innovative projects with venture financing using fuzzy sets are investigated. Short review of works of foreign and Russian researchers is given.

The new methodological approach to the evaluation of the economic effectiveness of innovative projects with venture financing based on the real options method using modified Geske's formula with fuzzy sets analysis is proposed. The methodological approach will enable to evaluate quantitatively the fact of staged investment of the project and the possibility to stop financing in the case of receiving negative information about its implementation. In other words it will enable to take into account and quantitatively evaluate the flexibility in making managerial decisions.

In general, synthesis of the probability methods and fuzzy sets in the analysis of venture financing of innovative projects based on the real options method extends the venture capital investor's tools used to validate the investment decisions. Also the proposed approach allows to get a more accurate assessment of the effectiveness of investment projects with high degree of uncertainty in comparison with traditional methods.

Keywords: innovative project; venture financing; uncertainty; real option; financial option; real options method; fuzzy sets; cash flow forecasting.

Для инвестиций, которые осуществляют венчурные фонды, характерны высокие неопределенность и риск, они достаточно часто имеют поэтапную природу. В связи с этим традиционный метод дисконтированных денежных потоков (метод *NPV*) может быть дополнен иными подходами, способными учесть гибкость в принятии решений, в частности посредством оценки эффективности проекта с использованием методов, используемых в мировой практике, но пока не нашедших в России широкого применения. Одним из таких методов является метод реальных опционов.

Концепция реальных опционов возникла в результате переноса созданного инструментария управления рисками с помощью опционных контрактов из финансового в реальный сектор экономики.

Реальный опцион представляет собой инструмент уменьшения неопределенности инновационного проекта посредством создания опционов, где базовым активом выступают доходы, генерируемые инновационным проектом, менеджмент которого обладает управленческой гибкостью при принятии решений о дальнейшей его реализации [1].

Обзор зарубежных исследований, касающихся оценки стоимости реальных опционов, возникающих при венчурном финансировании инновационных проектов, выполнен в работах [2, 3].

По нашему мнению, традиционный анализ эффективности инновационного проекта может быть дополнен исследованием влияния на показатели эффективности неопределенности генерируемых проектом будущих финансовых потоков. Набор экзогенных показателей, которые будут «раскачиваться» с применением метода нечетких множеств (МНМ), может быть взят из арсенала стандартного анализа чувствительности проекта к вариации его ключевых параметров. Такими показателями являются: цены на выпускаемую продукцию, объем инвестиций, величина затрат на основные компоненты необходимых для производства сырья и материалов и ряд других показателей.

Очевидно, что финансовые потоки венчурного фонда и финансовые потоки собственно

проекта отличаются. Эти отличия описаны авторами в работе [3].

При выборе модели оценки реального опциона для случая венчурного инвестирования необходимо подобрать такую модель, которая будет учитывать тот факт, что волатильность цены базового актива изменяется с течением времени.

Формула, полученная Блэком и Шоулзом (1973) в работе *The Pricing of Options and Corporate Liabilities [Journal of Political Economy, 1973, No 81 (3), pp. 637–659]* для оценки стоимости европейского колл-опциона, а также формула Геске [1979; *The valuation of compound options // Journal of Financial Economics, 1979, No 7 (1), pp. 63–81*], полученная для оценки двухстадийного составного европейского колл-опциона, применимы только в случае постоянной волатильности стоимости базового актива.

Постоянство волатильности стоимости базового актива является одной из предпосылок и квадратичной модели Вэйли, описанной в работе *Efficient Analytic Approximation of American Option Values (Journal of Finance, June 1987, No 42, pp. 301–320)*. Данная модель получена на основе формулы Блэка–Шоулза для оценки стоимости опционов колл и пут американского типа.

По нашему мнению, именно модифицированная формула Геске [4] в полной мере учитывает особенности венчурного инвестирования и может быть использована для оценки стоимости реальных опционов, возникающих при венчурном финансировании инновационных проектов.

Однако нам представляется необходимым модифицировать исходные данные для этой модели следующим образом: анализировать венчурные вложения не с позиции проекта в целом, а с позиции венчурного фонда. Иными словами, нам представляется необходимым изменить интерпретацию параметров, входящих в модифицированную модель Геске.

Ввиду ограниченности объема статьи мы не будем подробно описывать предлагаемую нами содержательную интерпретацию параметров модифицированной модели Геске, которая представлена в работе авторов [3].

Стоимость составного колл-опциона в текущий момент времени t , которым владеет венчурный фонд, будет составлять (модифицированная формула Геске):

$$C^v = V^v N_2(h + \sqrt{\sigma_1^2 \tau_1}, l + \sqrt{\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2}; \rho) - I_2^v e^{-r\tau} N_2(h, l; \rho) - I_1^v e^{-r\tau_1} N_1(h), \quad (1)$$

где C^v — стоимость составного колл-опциона в текущий момент времени t , которым владеет венчурный фонд; V^v — текущая стоимость акций проинвестированной компании, принадлежащих венчурному фонду;

$$h = \frac{\ln \frac{V^v}{\bar{V}^v} + r\tau_1 - \frac{1}{2}\sigma_1^2 \tau_1}{\sqrt{\sigma_1^2 \tau_1}};$$

$$l = \frac{\ln \frac{V^v}{I_2^v} + r\tau - \frac{1}{2}(\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2)}{\sqrt{\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2}};$$

$$\rho = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 \tau_1}{\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2}};$$

I_1^v — цена исполнения составного (внешнего) колл-опциона (инвестиции венчурного фонда в момент времени T_1 в приобретение части акций рискованной компании); I_2^v — цена исполнения внутреннего колл-опциона (величина неявных издержек венчурного фонда); r — безрисковая процентная ставка;

$\tau_1 = T_1 - t$, $\tau_2 = T_2 - T_1$, $\tau = T_2 - t = \tau_1 + \tau_2$; $N_2(h, l; \rho)$ — функция двумерного стандартного нормального распределения; $N_1(\cdot)$ — функция одномерного стандартного нормального распределения; \bar{V}^v — такое значение стоимости акций инвестируемой компании в момент времени $T_1 (V_{T_1}^v)$, для которого выполняется следующее равенство:

$$V_{T_1}^v N_1(l^* + \sqrt{\sigma_2^2 \tau_2}) - I_2^v e^{-r\tau_2} N_1(l^*) = I_1^v, \quad (2)$$

где l^* — величина l в момент времени T_1 ;

$$l^* = \frac{\ln \frac{V_{T_1}^v}{I_2^v} + r\tau_2 - \frac{1}{2}\sigma_2^2 \tau_2}{\sqrt{\sigma_2^2 \tau_2}}. \quad (3)$$

НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОЙ ВОЛАТИЛЬНОСТИ

Для математического исследования неопределенности в настоящее время разработаны две теории: теория вероятностей и теория нечеткости. Основным объектом теории нечеткости является *нечеткое множество*, которое обобщает понятие четкого (канторовского) множества.

Наш интерес к теории нечетких множеств связан с тем, что нечетко-множественный подход к оценке стоимости реальных опционов не зависит от типа модели: будет это модель с постоянной волатильностью стоимости базовых активов или с переменной.

Определение нечеткого множества. Нечеткое множество $A \subseteq X$ определяется функцией принадлежности:

$$\chi_A : X \rightarrow [0; 1], \quad (4)$$

удовлетворяющей в каждой точке $x \in X$ условию $0 \leq \chi_A(x) \leq 1$.

Здесь значение $\chi_A(x)$ называется степенью принадлежности точки $x \in X$ нечеткому множеству $A \subseteq X$. В терминах многозначной логики функцию принадлежности нечеткого множества можно проинтерпретировать следующим образом. Если $\chi_A(x) = 0$, то высказывание $x \in A$ абсолютно ложное. Если $\chi_A(x) = 1$, то высказывание $x \in A$ абсолютно истинное. Если $0 < \chi_A(x) < 1$, то степень правдоподобности высказывания $x \in A$ равна $\chi_A(x)$.

Для вычисления наиболее правдоподобного значения s_0 нечеткого показателя $S \subseteq X$ решается задача максимизации функции принадлежности χ_S :

$$\chi_S(s_0) = \max_{x \in X} \chi_S(x). \quad (5)$$

Для исследования неопределенности, сопровождающей принятие решений в экономике, все источники неопределенности агрегируются в две группы: неопределенность цели и неопределенность располагаемых ресурсов. Располагаемые ресурсы определяют множество допустимых решений, а цель определяет

выбор конкретного решения из множества допустимых. Применительно к реальным опционам располагаемым ресурсом является стоимость базового актива.

Особенность описания неопределенности располагаемых ресурсов на языке теории вероятностей заключается в том, что она должна быть описана случайным точечно-множественным отображением. В монографии [5] разработана концепция исследования свойств случайных точечно-множественных отображений на основе их нечетко-множественного описания. Основным математическим результатом, на котором базируются исследования в работе [5], является установленное авторами соответствие F , которое каждому случайному точечно-множественному отображению $\xi : \omega \rightarrow \xi(\omega) \subseteq X$, где ω — случайный элемент вероятностного пространства Ω , ставит в соответствие нечеткое множество $F(\xi) \subseteq X$ в том же пространстве, порожденное отображением ξ . Обратное преобразование $F(\xi) \rightarrow \xi$ нечеткого множества в случайное точечно-множественное отображение неоднозначно, т.е. одному нечеткому множеству соответствует целый класс K случайных точечно-множественных отображений. Важным свойством соответствия F является то, что $\xi \in K = F^{-1}(F(\xi))$.

Продуктивность идеи перехода от случайных точечно-множественных отображений к нечетким множествам заключается в следующем. Во-первых, нечеткое множество $F(\xi)$ сохраняет многие свойства исходного отображения ξ ; во-вторых, для анализа нечетких множеств в настоящее время разработаны прикладные пакеты программ, которые отсутствуют для случайных точечно-множественных отображений.

Теоретико-множественные операции над нечеткими множествами. Следуя [5], определим результирующие множества через их функции принадлежности:

$\chi_{A \cup B}(x) = \max\{\chi_A(x), \chi_B(x)\}$ — функция принадлежности объединения;

$\chi_{A \cap B}(x) = \min\{\chi_A(x), \chi_B(x)\}$ — функция принадлежности пересечения;

$\chi_{X-A}(x) = 1 - \chi_A(x)$ — функция принадлежности дополнения.

Совпадение нечетких множеств. Пусть X — некоторое пространство с мерой μ . Определим функцию $\|f\| = \int |f| d\mu$.

Обозначим через $\mathfrak{F}(X)$ совокупность нечетких множеств в пространстве X . Пусть $A, B \in \mathfrak{F}(X)$. Так как для всякого $x \in X$ справедливо неравенство $\chi_{A \cap B}(x) \leq \chi_B(x), \chi_B(x)$, имеем:

$$\int_X \chi_{A \cap B} d\mu \leq \int_X \chi_B d\mu.$$

Определение. Назовем неотрицательное число $Pl(A; B) = \frac{\int_X \chi_{A \cap B} d\mu}{\int_X \chi_B d\mu}$, не превосходящее единицы, правдоподобностью включения $B \subseteq A$, а число $T(A; B) = \min\{Pl(A; B); Pl(B; A)\}$ — правдоподобностью совпадения нечетких множеств A и B .

Очевидно, справедливо равенство: $T(A; B) = T(B; A)$.

Устойчивость экономических показателей означает их устойчивость относительно некоего уровня, определяемого трендом; таким образом, предполагается детерминистский подход к анализу экономического развития. Однако в условиях высокой неопределенности экономических систем само понятие тренда является, на наш взгляд, размытым, а использование подобного подхода не позволяет в полной мере учитывать сложные взаимосвязи экономического развития и ограничивает сферу решаемых на его основе задач.

Предлагаемый ниже инструментарий дает возможность не только количественно оценить уровень устойчивости, но и соотнести степень согласованности неопределенности прогнозной траектории исследуемого показателя с неопределенностью траектории экзогенных параметров модели. Благодаря этому реализуемый подход позволяет измерить степень увеличения или уменьшения исходной неопределенности экономической системы в динамике различных анализируемых показателей и по-новому взглянуть на традиционное понятие устойчивости динамики экономических показателей.

Предлагаемый ниже инструментарий дает возможность не только количественно оценить уровень устойчивости, но и соотнести степень согласованности неопределенности прогнозной траектории исследуемого показателя с неопределенностью траектории экзогенных параметров модели. Благодаря этому реализуемый подход позволяет измерить степень увеличения или уменьшения исходной неопределенности экономической системы в динамике различных анализируемых показателей и по-новому взглянуть на традиционное понятие устойчивости динамики экономических показателей.

Пусть $D \in R^n$ есть набор экзогенных параметров некой финансовой модели и x — прогнозируемый финансовый показатель. Будем считать, что процедура вычисления прогнозируемого показателя x по этой модели имеет вид

$$x = F(D). \quad (6)$$

Если экзогенные параметры содержат ошибки измерения $D'_j = D_j \pm r_j$, то прогнозируемый показатель также содержит ошибку $x' = x \pm \Delta x$. Если функция F непрерывно дифференцируема по каждой переменной, то для ошибки прогнозируемого параметра справедливо равенство:

$$\Delta x = \sum_j \frac{\partial F(D)}{\partial D_j} \cdot r_j + o(\|r\|), \quad (7)$$

где через $o(\|r\|)$ обозначена бесконечно малая по сравнению с максимальной величиной ошибка.

Если через r_j задается максимальная величина ошибки j -го параметра, а фактическая ошибка распределена по интервалу $(D_j - r_j, D_j + r_j)$ с заданной функцией распределения, то ошибка прогнозируемого параметра также является случайной величиной.

Количественное измерение устойчивости траектории исследуемого показателя основывается на расчете коэффициента устойчивости (u), расчет которого, в свою очередь, основывается на коэффициенте степени согласованности нечетких значений экзогенных параметров и нечеткого значения прогнозируемого показателя.

При определении коэффициента устойчивости на основе степени согласованности возникает ряд методических трудностей. Это связано с тем, что:

- коэффициент согласованности для абсолютно устойчивого показателя и показателя, имеющего высокую степень неустойчивости, близок к нулю, что не позволяет связать коэффициент устойчивости с коэффициентом согласованности непрерывно дифференцируемой функции;

- показатель, имеющий коэффициент согласованности, равный 100%, обладает не-

устойчивостью, соответствующей неустойчивости эталонного образца;

- коэффициенты устойчивости, измеренные для разных показателей, должны быть сопоставимы между собой, т.е. показатель, обладающий большей устойчивостью, должен иметь больший коэффициент устойчивости.

С учетом данных аспектов предлагается подход к измерению коэффициента устойчивости ($u(s)$) на базе коэффициента согласованности.

Определение коэффициента согласованности функций принадлежности предполагает сравнение функции принадлежности одного показателя с функцией принадлежности другого. Для сопоставимости данных по степени согласованности нескольких экономических показателей необходимо выбрать единую базу для их сравнения, т.е. или задать один из рассматриваемых показателей в качестве эталона, или ввести некую эталонную функцию принадлежности. Нами реализован второй подход, одним из преимуществ которого является обеспечение сопоставимости результатов, полученных в рамках различных исследований, при условии использования единой эталонной функции принадлежности.

При анализе устойчивости A является заданным нечетким множеством с функцией принадлежности $\chi_A(t)$. Множество A играет роль эталона. Эталон подбирается так, чтобы для каждого исследуемого нечеткого показателя x нашлось s и множество положительной меры $G \subseteq R$, а для всякого $t \in G$ было справедливо неравенство $\chi_A(t-s) \geq \chi_x(t)$. Если через A_s обозначить нечеткое множество, имеющее функцию принадлежности $\chi_{A_s}(t-s)$, то для каждого нечеткого экономического показателя x определяется *степень его устойчивости* $u(x)$ относительно эталона A по формуле

$$u_A(x) = \sup_{s \in R} T(A_s, x). \quad (8)$$

В работе [5] показано, что при замене эталона A на B относительные показатели устойчивости для всех x одновременно увеличиваются или уменьшаются с обязательным выполнением условия: если $u_A(x) > u_A(y)$, то $u_B(x) > u_B(y)$.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ В АНАЛИЗЕ ВЕНЧУРНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

В настоящее время в России отмечается активная научная деятельность по разработке методических и методологических вопросов применения нечетко-множественных методов в анализе венчурного финансирования инновационных проектов и оценке дохода исполнения реальных опционов. Это подтверждается большим количеством диссертаций, защищенных российскими экономистами по данной тематике. Подавляющее большинство этих исследований базируются на результатах докторской диссертации А. О. Недосекина «Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко-множественных описаний», где автор разработал основополагающие подходы к нечетко-множественному анализу финансовых процессов. Усилия исследователя В. П. Акининой в диссертации «Инновационное реформирование национальной экономики в контексте современных финансово-экономических трансформаций и глобальной турбулентности: теория, методология, практика» направлены на применение нейронных сетей и нечеткой кластеризации к анализу финансовой устойчивости. В диссертации Т. Ф. Гареева «Формирование комплексной оценки инноваций на основе нечетко-интервальных описаний» предлагаются нечетко-множественные методы анализа многокритериальности венчурного финансирования.

Сравнительный анализ применения теории нечетких множеств и классического вероятностного подхода к оценке возможности неблагоприятного исхода венчурных инвестиций выполнен в диссертации Е. С. Трифоновой «Оценка экономической эффективности венчурных инвестиций». В работе А. О. Недосекина, З. И. Абдулаевой, Е. И. Нарышкиной рассматривается нечетко-множественная оценка стоимости реального опциона на основе арифметики Дюбуа–Прада (см. Недосекин А. О., Абдулаева З. И., Нарышкина Е. И. Анализ

стоимости «отношенческих» реальных опционов. International Fuzzy Economics Lab Russia. URL: http://www.ifel.ru/docs/Opt_AZN.doc; дата обращения: 28.03.2015). Различные аспекты и свойства реальных опционов и венчурного финансирования инноваций исследуются на языке теории нечетких множеств в публикациях [6–8].

Кратко остановимся на зарубежных публикациях по исследуемой проблематике. В работе [11] предложена модель оценки реальных опционов с использованием метода нечетких множеств в нефтегазовом секторе. Модель с нечеткими параметрами разработана в [12] для оценки эффективности венчурных инвестиций. Метод нечетких множеств в совокупности с методом реальных опционов в [13] применен для оценки уровня рисков инвестирования в недвижимость. В работе [14] развивается методология оценки реальных опционов, характерных для *R&D*-проектов, когда будущие денежные потоки оцениваются с помощью метода нечетких множеств.

Модель оценки стоимости реальных опционов с нечеткими параметрами для оценки эффективности инвестиций в сфере строительства предложена в работе Wang Qian, Kilgour D. Marc, Hipel Keith W. (*Facilitating Risky Project Negotiation: An Integrated Approach Using Fuzzy Real Options; Multicriteria Analysis, and Conflict Analysis. Information Sciences. 2015. No 295, pp. 544–557*). В статье Wu Hsien-Chung *Using Fuzzy Sets Theory and Black-Scholes Formula to Generate Pricing Boundaries of European Options (Applied Mathematics and Computation, 2007, no 185, pp. 136–146)* теория нечетких множеств применена для определения границ, в пределах которых может варьироваться стоимость финансовых опционов пут и колл европейского типа. Используются нечеткая процентная ставка, нечеткая волатильность и нечеткая цена базового актива опциона. В работе Carlson Christer и Fullera Robert *A fuzzy approach to real option valuation (Fuzzy Sets and Systems, 2003, No 139, pp. 297–312)* текущая стоимость ожидаемых денежных потоков и ожидаемых затрат по инвестиционному проекту оценивается с использованием нечетких множеств.

Отличительной особенностью нашего подхода является синтез теоретико-вероятностных и нечетко-множественных методов в анализе венчурного финансирования инвестиционных проектов на основе реальных опционов.

ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С ВЕНЧУРНЫМ ФИНАНСИРОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДА РЕАЛЬНЫХ ОПЦИОНОВ И НЕЧЕТКО- МНОЖЕСТВЕННОГО ПОДХОДА

Методика оценки инновационных проектов с венчурным финансированием на основе метода реальных опционов и нечетко-множественного подхода может быть сведена к следующей последовательности шагов.

1. *Построение прогнозной финансовой модели инновационного проекта.* С использованием результатов расчетов по построенной детерминированной финансовой модели проекта осуществляется моделирование с применением *метода нечетких множеств (МНМ)* финансовых потоков, характеристики которых определяются степенью «раскачивания» экзогенных параметров — рыночных цен на продукцию, цен на основные сырье, материалы, электроэнергию и т.д. Теоретически можно «раскачивать» и объем инвестиций (например, могут измениться цены на оборудование). Однако обычно эта величина в проектах является достаточно стабильной, и на данной стадии исследования мы будем предполагать ее неизменность. В инвестиционных проектах, в том числе инновационных, степень неопределенности показателей нарастает по мере удаления от периода начала реализации проекта. Поэтому «раскачка» экзогенных параметров проекта в расчетах постепенно нарастает относительно прогнозных значений, использованных в детерминированной модели, по мере удаления от начального периода времени реализации проекта. Например, в первом году $\pm 2\%$, втором году $\pm 5\%$, в третьем году $\pm 10\%$ и т.д.

2. *Оценка экономической эффективности инновационного проекта в целом методом дисконтированных денежных потоков: расчет*

показателей чистого приведенного дохода проекта в целом $NPV_{\text{проекта}}$ и внутренней нормы доходности проекта $IRR_{\text{проекта}}$.

Имея «раскачанные» прогнозные значения положительных финансовых потоков, определяем диапазон колебания показателей экономической эффективности проекта в целом ($NPV_{\text{проекта}}$, $IRR_{\text{проекта}}$). Оцениваем степень устойчивости вычисленных нечетких показателей эффективности по отношению к нечеткому описанию экзогенных параметров модели. Геометрическая характеристика устойчивости представляет собой отношение площади пересечения подграфиков функций принадлежности исследуемого показателя и эталона к общей площади подграфика эталона (см. рисунок).

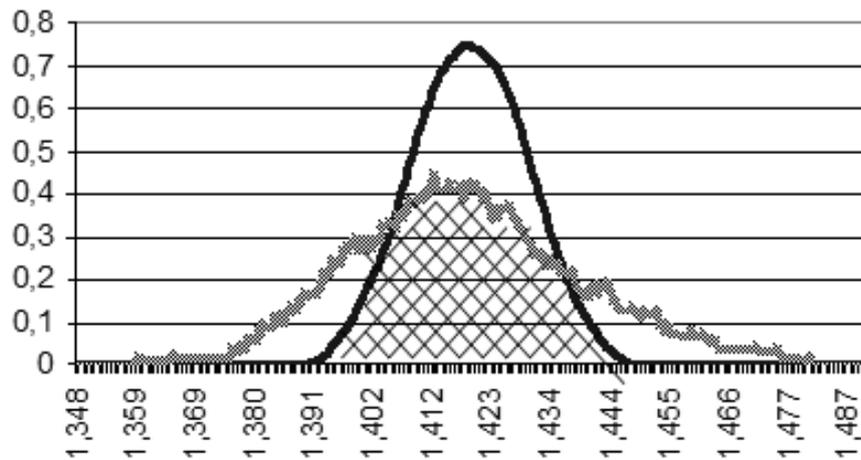
3. *Далее проводится оценка экономической эффективности инновационного проекта методом NPV с позиции венчурного фонда.*

3.1. Определение доли фонда в уставном капитале инвестируемой компании. С учетом вариации чистой прибыли в зависимости от того, как «раскачаны» экзогенные параметры, доля венчурного фонда также становится не числом, а множеством. Это позволяет определить пределы, в рамках которых фонд будет вести переговоры с инвестируемой компанией о доле, которую он приобретет за свои инвестиции.

3.2. Расчет денежных потоков венчурного фонда. Моделирование с применением МНМ «раскачанных» финансовых потоков венчурного фонда, характеристики которых определяются степенью «раскачки» экзогенных параметров — рыночных цен на продукцию, цен на основные сырье, материалы, электроэнергию, а также долей фонда в уставном капитале инвестируемой компании.

3.3. Расчет внутренней нормы доходности венчурного фонда IRR^v и чистого приведенного дохода венчурного фонда NPV^v .

Имея «раскачанные» прогнозные значения финансовых потоков венчурного фонда, определяем диапазон колебания показателей его экономической эффективности (NPV^v , IRR^v). Оцениваем степень устойчивости вычисленных нечетких показателей эффективности по отношению к нечеткому описанию экзогенных параметров модели.



Геометрическая характеристика устойчивости [представляет собой отношение площади пересечения подграфиков функций принадлежности исследуемого показателя и эталона к общей площади подграфика эталона (заштрихованная область)]

4. Оценка эффективности инновационного проекта для венчурного фонда с применением метода реальных опционов.

4.1. Расчет стоимости составного опциона колл, которым владеет венчурный фонд по модифицированной формуле Геске [см. формулу (1)].

4.1.1. Определение значений «входных» параметров модифицированной формулы Геске.

а) Затраты на приобретение в момент времени T_0 составного опциона колл I_0^v .

б) Цена исполнения составного (внешнего) опциона колл (инвестиции венчурного фонда в момент времени T_1 в приобретение части акций рискованной компании I_1^v).

в) Цена исполнения внутреннего колл-опциона (величина неявных издержек венчурного фонда) I_2^v .

г) Оценка безрисковой процентной ставки.

д) Вычисление функций двумерного стандартного нормального распределения с использованием программного пакета Maple 14.

е) Вычисление функции одномерного стандартного нормального распределения с использованием статистической функции Microsoft Excel НОРМСТРАСП.

ж) Вычисление текущей стоимости базового актива внутреннего опциона колл V^v , которая представляет собой ликвидационную стоимость проекта для венчурного фонда TER^v в году «выхода» фонда из бизнеса проинвестированной компании. Параметр V^v также

находится под влиянием «раскачанных» с применением МНМ показателей. В частности, он зависит от значения чистой прибыли, генерируемой проектом, которая моделируется с применением МНМ. Следовательно, он будет меняться в зависимости от колебаний входных параметров.

з) Определение уровня рискованности операций венчурной компании в течение промежутка времени $(0, T_1)$, σ_1 и определение уровня рискованности операций венчурной компании в течение промежутка времени $(0, T_2)$, σ_2 .

4.1.2. Определение порогового значения стоимости акций инвестируемой компании в момент времени T_1 , \bar{V} [решение уравнения (2)], где \bar{V} также зависит от «раскачки» входных параметров. В частности, значение стоимости акций инвестируемой компании в момент времени T_1 (V_{T_1}) зависит от величины генерируемой проектом прибыли, которая моделируется с применением МНМ.

4.1.3. Принятие решения по поводу исполнения внешнего опциона (проверка правила исполнения внешнего опциона).

4.1.4. Принятие решения по поводу исполнения внутреннего опциона (проверка правила исполнения внутреннего опциона).

4.2. Расчет показателей эффективности вложений венчурного фонда с учетом стоимости составного опциона колл $NPV_{с.уч. опц.}^v$ и $IRR_{с.уч. опц.}^v$. Эти показатели будут зависеть от того, как, в каком режиме «раскачаны» экзо-

генные параметры инновационного проекта. Следовательно, можно будет оценить степень устойчивости показателей эффективности вложений венчурного фонда в зависимости от вариации экзогенных параметров проекта с учетом стоимости составного опциона колл.

В целом синтез теоретико-вероятностных и нечетко-множественных методов в анализе

венчурного финансирования инновационных проектов на основе метода реальных опционов, на наш взгляд, расширяет инструментарий венчурного инвестора, используемый им для обоснования решений по инвестированию проектов, а также позволяет получить более точную оценку эффективности проектов с высокой степенью неопределенности по сравнению с традиционными подходами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Музыка Е. И.* Анализ развития подходов к трактовке экономической сущности категории «реальный опцион» // *Экономический анализ: теория и практика.* 2011. № 36 (243). С. 12–17.
2. *Музыка Е. И.* Применение метода реальных опционов в венчурном финансировании инвестиционных проектов / *Современные процессы в российской экономике: сборник научных трудов.* Новосибирск: ИЭОПП, 2011. 141 с.
3. *Баранов А. О., Музыка Е. И.* Оценка эффективности венчурного финансирования инновационных проектов методом реальных опционов: монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. 272 с.
4. *Hsu Y.-W.* Staging of Venture Capital Investment: A Real Options Analysis. University of Cambridge. *JIMS*, 2002. May. pp. 1–47.
5. *Павлов А. В., Павлов В. Н.* Нечетко-случайные методы исследования неопределенности и их макроэкономические приложения: монография. Новосибирск, 2012. 188 с.
6. *Медников М. Д.* Нечетко-множественный анализ в антикризисном менеджменте // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки.* 2008. № 2. С. 315–321.
7. *Клементьева С. В.* Применение теории нечетких множеств для измерения и оценки эффективности реализации наукоемкой продуктовой инновации // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов.* 2006. № 11. С. 65–69.
8. *Ильин И. В.* Разработка методики оценки инвестиционных проектов на основе метода реальных опционов и теории нечетких множеств // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки.* 2009. № 6. С. 114–119.
9. *Никонова И. А., Колесников М. А.* Развитие методов анализа и оценки инвестиционных проектов // *Вестник Финансового университета.* 2013. № 6 (78). С. 89–97.
10. *Кальченко О. А.* Принципы и методы оценки эффективности промышленных инновационных проектов в условиях неопределенности и рисков: дис. ... канд. экон. наук. СПб, 2012.
11. *Uchal Irem, Kahraman Cengiz.* Fuzzy Real Options Valuation for Oil Investments // *Technological and Economic Development of Economy.* 2009. No 15 (4). P. 646–669.
12. *Zhang Xubo.* Venture Capital Investment Selection Decision-Making Base on Fuzzy Theory. International Conference on Solid State Devices and Materials Science-2012. School of Economics and Management, Wuhan Polytechnic University, Wuhan, China.
13. *Maoa Yihua, Wubab Wenjing.* Fuzzy Real Option Evaluation of Real Estate Project Based on Risk Analysis // *Systems Engineering Procedia.* 2011. No 1. P. 228–235.
14. *Carlsson Christer, Fuller Robert, Heikkila Markku, Majlender Peter.* A fuzzy approach to R&D project portfolio selection // *International Journal of Approximate Reasoning,* 2007, no 44, pp. 93–105.
15. *Просолупова К. А.* Реальные опционы: аналитическая химера или ключ к реальным сделкам? // *Вестник Финансового университета.* 2012. № 4 (70). С. 128–138.

REFERENCES

1. *Muzyko E. I.* Analysis of the development of approaches to the interpretation of the economic essence of the category „real option” [Analiz razvitija podhodov k traktovke jekonomicheskoy sushhnosti kategorii

- „real’nyj opcion”) // *Jekonomicheskij analiz: teorija i praktika — Economic analysis: theory and practice*, 2011, no. 36 (243), pp. 12–17 (In Russ.).
2. *Muzyko E.I.* Application of real options method in venture financing of investment projects [Primenenie metoda real’nyh opcionov v venchurnom finansirovanii investicionnyh proektov] / *Sovremennye processy v rossijskoj jekonomike: sbornik nauchnyh trudov — Modern processes in the Russian economy: proceedings*. Novosibirsk, 2011. 141 p. (In Russ.).
 3. *Baranov A.O., Muzyko E.I.* Evaluation of the effectiveness of venture capital financing of innovative projects by real options method: Monografija [Ocenka jeffektivnosti venchurnogo finansirovanija innovacionnyh proektov metodom real’nyh opcionov: monografija]. Novosibirsk: NGTU Publ., 2013. 272 p. (In Russ.).
 4. *Hsu Y.-W.* Staging of Venture Capital Investment: A Real Options Analysis. University of Camnridge, JIMS, 2002, May. pp. 1–47.
 5. *Pavlov A.V., Pavlov V.N.* Fuzzy-random research methods of uncertainty and macroeconomic applications: Monografija [Nechetko-sluchajnye metody issledovanija neopredelennosti i ih makrojekonomicheskie prilozhenija: monografija]. Novosibirsk, 2012, 188 p. (In Russ.).
 6. *Mednikov M.D.* Fuzzy-sets analysis in the crisis management [Nechetko-mnozhestvennyj analiz v antikrizisnom menedzhmente] // *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Jekonomicheskie nauki — Scientific and technical sheets of SPbSPU. Economic sciences*. 2008. No. 2. P. 315–321 (In Russ.).
 7. *Klement’eva S.V.* Application of fuzzy set theory to measure and evaluation of the effectiveness of the implementation of high-tech product innovations [Primenenie teorii nechetkih mnozhestv dlja izmerenija i ocenki jeffektivnosti realizacii naukoemkoj produktovoj innovacii] // *Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov — Factory laboratory. Diagnostics of materials*. 2006. No. 11. P. 65–69 (In Russ.).
 8. *Il’in I.V.* Development of the methodology of evaluation of investment projects on the basis of the real options method and fuzzy sets theory. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. Jekonomicheskie nauki — Scientific and technical sheets of SPbSPU. Economic sciences*, 2009, no. 6, pp. 114–119 (In Russ.).
 9. *Nikonova I.A., Kolesnikov M.A.* Development of methods for analysis and evaluation of investment projects [Razvitie metodov analiza i ocenki investicionnyh proektov] // *Vestnik Finansovogo universiteta — Bulletin of Financial University*. 2013. No. 6 (78). P. 89–97 (In Russ.).
 10. *Kal’chenko O.A.* Principles and methods of evaluation of the effectiveness of industrial innovative projects under uncertainty and risk: dis. ... kand. jekon. nauk [Principy i metody ocenki jeffektivnosti promyshlennyh innovacionnyh proektov v uslovijah neopredelennosti i riskov: dis. ... kand. jekon. nauk]. St. Petersburg, 2012 (In Russ.).
 11. *Uchal Irem, Kahraman Cengiz.* Fuzzy Real Options Valuation for Oil Investments. *Technological and Economic Development of Economy*, 2009, no 15 (4), pp. 646–669.
 12. *Zhang Xubo.* Venture Capital Investment Selection Decision-Making Base on Fuzzy Theory. International Conference on Solid State Devices and Materials Science-2012. School of Economics and Management, Wuhan Polytechnic University, Wuhan, China.
 13. *Maoa Yihua, Wubab Wenjing.* Fuzzy Real Option Evaluation of Real Estate Project Based on Risk Analysis. *Systems Engineering Procedia*, 2011, no 1, pp. 228–235.
 14. *Carlsson Christer, Fuller Robert, Heikkila Markku, Majlender Peter.* A fuzzy approach to R&D project portfolio selection // *International Journal of Approximate Reasoning*. 2007. No 44. P. 93–105.
 15. *Prosolupova K.A.* Real options: analytical chimera or the key to actual deals? [Real’nye opciony: analiticheskaja himera ili kljuch k real’nym sdelkam?] // *Vestnik Finansovogo universiteta — Bulletin of Financial University*. 2012. No. 4 (70). P. 128–138 (In Russ.).