УДК 336.648

JEL G24

DOI 10.25205/2542-0429-2020-20-1-20-45

**Оценка эффективности инновационного проекта
по созданию производства биотоплива с использованием
опционного и нечетко-множественного анализа**

А. О. Баранов^{1,2}, Е. И. Музыка^{2,3}, В. Н. Павлов²

¹ *Новосибирский национальный исследовательский государственный университет
Новосибирск, Россия*

² *Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН
Новосибирск, Россия*

³ *Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, Россия*

Аннотация

Для инновационных проектов характерно отсутствие прибыльности на первых этапах их реализации и большой риск, связанный с высокой неопределенностью оценки генерируемых ими прогнозируемых денежных потоков. В этих условиях использование стандартных методов анализа экономической эффективности проектов не позволяет количественно оценить достоверность динамики прогнозируемых показателей. Все это требует развития методов анализа экономической эффективности финансирования инноваций. Применение метода реальных опционов, а также аппарата нечетких множеств является, по нашему мнению, направлениями совершенствования названных методов.

В статье приводятся результаты оценки эффективности инновационного проекта по созданию производства моторного топлива из высокоэнергонасыщенной биомассы на основе опционного и нечетко-множественного подходов. Использование нечетко-множественных методов позволяет дополнить традиционный финансовый анализ. Появляется возможность количественно оценить устойчивость различных характеристик эффективности инновационного проекта к изменению экзогенных переменных. Это может быть весьма полезным при определении «узких» мест проекта. Помимо этого, появляется возможность количественно оценить надежность получаемых расчетных показателей эффективности проекта. Такие оценки не могут быть выполнены на основе традиционных методов финансового анализа. Низкая или высокая надежность полученных показателей эффективности послужит дополнительным аргументом в пользу отрицательного или положительного решения по поводу финансирования проекта, что позволит венчурному фонду рационально распределить свои ограниченные ресурсы среди анализируемых инновационных проектов.

В целом использование метода реальных опционов в сочетании с методом нечетких множеств расширяет инструментарий венчурного инвестора, используемый им для обоснования решений по финансированию проектов.

Ключевые слова

© А. О. Баранов, Е. И. Музыка, В. Н. Павлов, 2020

инвестиции, инновации, инновационный проект, венчурное финансирование, реальные опционы, нечеткие множества, биотопливо, альтернативные источники энергии

Источник финансирования

Работа выполнена по плану НИР ИЭОПП СО РАН, проект XI.170.1.1 «Инновационные и экологические аспекты структурной трансформации российской экономики в условиях новой геополитической реальности», № AAAA-A17-117022250127-8

Для цитирования

Баранов А. О., Музыко Е. И., Павлов В. Н. Оценка эффективности инновационного проекта по созданию производства биотоплива с использованием опционного и нечетко-множественного анализа // Мир экономики и управления. 2020. Т. 20, № 1. С. 20–45. DOI 10.25205/2542-0429-2020-20-1-20-45

Effectiveness Evaluation of Innovative Project on the Creation of Biofuel Production with Option and Fuzzy Set Analysis

A. O. Baranov^{1,2}, E. I. Muzyko^{2,3}, V. N. Pavlov²

¹ Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russian Federation

² Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State Technical University
Novosibirsk, Russian Federation

Abstract

Implementation of innovative projects at first stages is associated with risks determined by high uncertainty of cash flows. As such, the application of standard methods to analyze the project's economic efficiency does not allow us to give reliable estimates of the forecast dynamics of economic indicators. All this requires the development of special techniques for the analysis of the effectiveness of innovation spending. The use of real options as well as fuzzy sets approach seems to be a basic conceptual focus for the further improvement of these methods.

The paper contains the results of the effectiveness estimation for an innovative project aimed at establishing motor fuel production from high energy biomass with the use of option and fuzzy sets analysis. The use of fuzzy sets methods makes it possible to complement the traditional financial analysis and quantitatively estimates sustainability of different indicators of the innovative project efficiency to a change in exogenous parameters. Besides, it could be rather useful to identify the project's bottlenecks. Moreover, the application of this method allows to quantitatively estimate reliability of the calculated project effectiveness indicators. Hardly can such estimations be made by means of traditional methods of financial analysis; either low or high reliability of the obtained effectiveness indicators could serve as an additional argument in favor of negative or positive decision on the project finance, allowing a venture capital fund to allocate the resources among the analyzed innovative projects more efficiently.

On the whole, the use of the real options combined with the fuzzy sets method is sure to expand venture capital tools used for financial justification of submitted projects.

Keywords

investments, innovations, innovative project, venture finance, real options, fuzzy sets, biofuel, alternative energy sources

Funding

This work was carried out according to the plan of scientific research of the Institute of Economics and Industrial Engineering of SB RAS, project XI.170.1.1 "Innovative and environmental aspects of the structural transformation of the Russian economy in the new geopolitical reality", no. AAAA-A17-117022250127-8.

For citation

Baranov A. O., Muzyko E. I., Pavlov V. N. Effectiveness Evaluation of Innovative Project on the Creation of Biofuel Production with Option and Fuzzy Set Analysis. *World of Economics and Management*, 2020, vol. 20, no. 1, p. 20–45. (in Russ.) DOI 10.25205/2542-0429-2020-20-1-20-45

Проблема энергетической безопасности является ключевой для устойчивого развития современного общества. В связи с тем, что использование невозобновляемого традиционного углеводородного сырья, запасы которого истощаются с каждым годом, влечет за собой глобальные проблемы – эмиссия CO₂, глобальное потепление, загрязнение окружающей среды и др., существенную и все возрастающую роль в мировой энергетике играют возобновляемые (или так называемые альтернативные) источники энергии, в частности солнечная энергия, биомасса животного, растительного, микробного, бытового и промышленного происхождения [1].

Одним из основных видов возобновляемых (альтернативных) энергоносителей является биотопливо, которое производится из предобработанной различными способами липидосодержащей биомассы различных растений, опилок и микродорослей. В настоящее время во всем мире интенсивно развивается отрасль производства масличных технических (непищевых) культур для получения биотоплива. Сегодня мы являемся свидетелями новой энергетической революции – взрывного развития инновационных технологий производства традиционных топлив: бензина, керосина, дизельного и авиационного топлива из энергонасыщенной и быстрорастущей непищевой биомассы различных растений.

Для инновационных проектов характерно отсутствие прибыльности на первых этапах их реализации и большой риск, связанный с высокой неопределенностью оценки генерируемых ими прогнозируемых денежных потоков. В этих условиях использование стандартных методов анализа экономической эффективности проектов не позволяет получить комплексную оценку целесообразности осуществления инвестиций, а также количественно оценить достоверность динамики прогнозируемых показателей. В результате довольно часто инновационные проекты не получают финансирования, или инвесторы вынуждены опираться в решениях об инвестировании на свою интуицию, не подкрепленную результатами количественного анализа экономической эффективности вложений. Все это, по нашему мнению, требует развития теории и методов анализа экономической эффективности инноваций и определяет высокий уровень фундаментальности проблематики.

Небольшие инновационные компании довольно часто финансируются венчурными фондами. В этой ситуации актуальной задачей является совершенствование методических подходов к оценке эффективности инновационных проектов венчурными фондами с применением новых методов, использующихся в мировой практике. К числу таких методов относятся *метод реальных опционов* и *метод нечетких множеств*.

Применение метода нечетких множеств в рамках методики оценки эффективности инновационного проекта с реальными опционами, финансируемого венчурным фондом, выполнено впервые и не описывается в мировой экономической литературе. Существуют работы, в которых метод нечетких множеств используется

при оценке реальных опционов, возникающих в инновационных проектах, но без венчурного финансирования (см., например, [2–11]).

В рамках данной статьи нами будет проанализирована экономическая эффективность инновационного проекта по созданию производства моторного топлива из высокоэнергонасыщенной биомассы с использованием метода реальных опционов и нечетко-множественного анализа. Будут представлены результаты расчетов и дана их содержательная экономическая интерпретация.

На рис. 1 представлена блок-схема разработанного нами в [12] методического подхода к оценке экономической эффективности инновационных проектов с венчурным финансированием на основе метода реальных опционов в четкой постановке без применения нечетко-множественного анализа.

Рис. 1. Блок-схема методического подхода к оценке экономической эффективности инновационных проектов с венчурным финансированием на основе метода реальных опционов
Fig. 1. Flow chart of methodical approach to evaluation of economic efficiency of innovative projects with venture capital funds based on the Real options

В работе [13] нами была представлена методика оценки эффективности инновационных проектов с венчурным финансированием на основе метода реальных опционов и нечетко-множественного подхода.

Идея экспериментальных расчетов состоит в том, что с использованием метода Монте-Карло в заданных пределах «раскачиваются» экзогенные показатели финансовой модели проекта и анализируются последствия этих флюктуаций для основных эндогенных показателей, характеризующих экономическую эффективность проекта. Таким образом, на каждом этапе методики (см. рис. 1) на «входе» у нас будут нечеткие показатели, следовательно, и на «выходе» мы получаем нечеткие показатели.

Анализируемый нами инновационный проект предполагает использование ряда последовательных технологий для получения конечных продуктов из биомассы микроводорослей: биодизель; витаминизированные кормовые добавки для животноводства; органические удобрения; биогаз; пропан. Ни одно из существующих наземных растений не в состоянии конкурировать с водорослями по эффективности фотосинтеза, лежащего в основе урожайности, и по содержанию масел и, соответственно, энергии в них [14].

Оценка эффективности инновационного проекта по производству биодизельного топлива с позиции венчурного фонда с использованием метода реальных опционов

В рамках данного раздела проведем оценку эффективности инновационного проекта по производству биотоплива с позиции венчурного фонда традиционным методом NPV (стандартный расчет) и с применением метода реальных опционов (в четком виде).

Оценка инновационного проекта по производству биодизельного топлива традиционным методом NPV с позиции венчурного фонда

Предполагается, что в финансировании проекта примет участие венчурный фонд. Общий объем финансирования проекта составит примерно 397 379 тыс. руб., в том числе инвестиции венчурного фонда 61 557 тыс. руб.

Стоимость Проектной компании была оценена на основе генерируемых ею денежных потоков. Чистый приведенный доход (NPV) с учетом ликвидационной стоимости, рассчитанный для прогнозного периода, равен 125 626 тыс. руб.

Венчурный фонд будет варьировать свою долю в уставном капитале инвестируемой компании в пределах 25–49 %, поскольку инициаторы проекта хотят сохранить контрольный пакет акций в своих руках.

Сделаем расчеты для двух крайних значений долей венчурного фонда в уставном капитале инвестируемой компании 25 и 49 % (нижняя и верхняя границы).

Опишем расчеты для верхней границы доли венчурного фонда 49 %

Предположим, что доля венчурного фонда в уставном капитале Проектной компании составит 49 %, т. е. примерный объем инвестиций венчурного фонда 61 557 тыс. руб. ($125\,626 \text{ тыс. руб.} \cdot 0,49 = 61\,557 \text{ тыс. руб.}$). Стало быть, в общем объеме инвестиций в проект доля фонда составит 15,5 % ($61\,557 \text{ тыс. руб.} / 397\,379 \text{ тыс. руб.} \cdot 100 \% = 15,5 \%$). Инвестиции венчурного фонда осуществля-

ются в два этапа. На первом этапе в 2018 г. (начало проекта) инвестируется 18 467 тыс. руб., или 30 % инвестиций, и приобретается 14,7 % ($18\,467 / 125\,626 \times 100 \% = 14,7 \%$) акций Проектной компании. В случае успешного развития проекта, после того как он начнет генерировать чистую прибыль (2020 г. – см. рис. 1), на втором этапе (2021 г.) вкладываются оставшиеся 70 % инвестиций фонда, или 43 090 тыс. руб., и приобретаются зарезервированные за фондом 34,3 % акций Проектной компании.

В анализируемом проекте по производству биодизельного топлива 2022-й год выбран как год «выхода» венчурного фонда из бизнеса Проектной компании. На рис. 2 хорошо видно, что после 2022 г. темп роста чистой прибыли Проектной компании резко падает. Поэтому венчурному фонду необходимо продать свои акции в момент, когда потенциальный покупатель будет рассчитывать на дальнейший существенный рост прибыли, опираясь на данные о ее динамике в 2020–2022 гг.

Рис. 2. Динамика чистой прибыли Проектной компании в 2013–2019 гг., млн руб.

Fig. 2. Net profit dynamics of the Project Company in 2013–2019 (mln. RUB)

Рассчитаем финансовые потоки венчурного фонда и показатели эффективности вложений фонда NPV^v и IRR^v для 2017 г. (года «выхода») для двух крайних значений долей венчурного фонда в уставном капитале инвестируемой компании 25 и 49 % и разных значений ожидаемой величины отношения цены акции к получаемому по ней доходу ($P/E = 2, 3, 4, 5, 6, 7$).

Проанализируем полученные результаты. Из практической деятельности известно, что приемлемая для венчурного фонда внутренняя норма доходности начинается с 20 %. В соответствии с нашими расчетами приемлемая для фонда внутренняя норма доходности IRR^v начинается со значения $P/E = 4$ (т. е. при до-

ходности 25 %): $IRR^v = 28\%$. При значениях $P/E = 2$ и $P/E = 3$ (т. е. достаточно высокой доходности – 50 и 33,3 % соответственно), характерных для венчурного бизнеса, значения внутренней нормы доходности для венчурного фонда ниже требуемых 20 %: при $P/E = 2$ $IRR^v = -6\%$; при $P/E = 3$ $IRR^v = 14\%$.

Для расчета чистого приведенного дохода венчурного фонда NPV^v продисконтируем его денежные потоки по ставкам 20, 30 и 35 %, которые широко используются при оценке проектов в России венчурными инвесторами. При $P/E = 2$ и $P/E = 3$ для ставок дисконтирования 20, 30 и 35 % NPV^v венчурного фонда является отрицательным. Таким образом, при действительно «венчурных» условиях, приемлемых для фонда, NPV^v фонда отрицателен. Анализируемый инновационный проект по созданию производства моторного топлива из высокоэнергонасыщенной биомассы не является эффективным для венчурного фонда и должен быть отвергнут инвестиционным комитетом.

*Оценка инновационного проекта по производству биодизельного топлива
для венчурного фонда с применением метода реальных опционов*

Опишем в качестве примера ход наших расчетов для доли венчурного фонда в уставном капитале инвестируемой компании 49 %.

Действия венчурного фонда по финансированию данного инновационного проекта могут быть описаны в терминах составного опциона. *Составной опцион колл* – это опцион, базовым активом которого является внутренний колл-опцион. Нами предлагается следующая содержательная интерпретация составного опциона колл применительно к анализируемому проекту. Формула расчета стоимости составного опциона колл подробно описана нами в работе [12].

Нулевым моментом времени T_0 является 2013-й год; T_1 – 2016-й; T_2 – 2017-й (год «выхода» венчурного фонда из бизнеса проинвестированной компании).

Инвестиции на приобретение в момент времени $T_0 = 2013$ г. составного опциона колл равны $I_0^v = 18\,467$ тыс. руб. Этот опцион предоставляет инвестору (венчурному фонду) право (но не обязанность) купить через определенное время (предполагается, что этот период равен трем годам) в момент времени $T_1 = 2016$ г. по цене $I_1^v = 43\,090$ тыс. руб. оставшуюся часть зарезервированных за ним акций Проектной компании. Приобретение венчурным фондом части акций в момент T_1 по цене I_1^v может быть истолковано как покупка внутреннего опциона колл на приобретение актива со сроком исполнения T_2 и ценой исполнения I_2^v .

Активы, право на покупку которых инвестор приобретает в момент времени T_1 , есть не что иное, как прибыль венчурного инвестора, которую он может получить в момент T_2 (в нашем расчете это 2017 г.) после продажи всех своих акций (49 %), приобретенных в моменты T_0 и T_1 . Если проект будет развиваться неудачно, то внутренний опцион не будет исполнен, в том смысле что венчурный фонд не получит никакой прибыли. Если проинвестированная компания будет иметь хорошие результаты, то венчурный фонд продаст свои акции с прибылью, т. е. получит в свое распоряжение активы, равные полученной им от продажи акций прибыли. Это трактуется нами как исполнение внутреннего опциона колл.

Срок исполнения составного (внешнего) опциона колл T_1 составит 3 года. Срок исполнения внутреннего опциона T_2 составит 4 года. В случае исполнения состав-

ного (внешнего) опциона колл венчурным фондом в момент времени T_1 будут осуществляться инвестиции I_1^v в размере 43 090 тыс. руб. Приведенная к нулевому моменту времени величина I_1^v дисконтир. составит 36 312 тыс. руб. Для доли фонда 49 % неявные издержки венчурного фонда (цена исполнения внутреннего опциона колл) составит:

$$I_2^v = \text{NPAT}_{\text{total в 2017 году}} * \text{доля фонда} = 62\,770 \text{ тыс. руб.} * 0,49 = 30\,757 \text{ тыс. руб.}$$

Приведенная к нулевому моменту времени величина I_2^v дисконтир. составит 24 483 тыс. руб.

Текущая стоимость базового актива в нашей интерпретации представляет собой текущую стоимость акций проинвестированной компании, принадлежащих венчурному фонду: V^v – стоимость базового актива внутреннего опциона колл в момент его исполнения, т. е. в 2017 г., приведенная к моменту оценки. Безрисковая ставка процента r в наших расчетах составит 5,87 %. Ее значение взято на уровне средней ставки вложений в альтернативные активы по состоянию на 21.05.2018, под которыми подразумеваются депозиты для юридических лиц с наибольшим сроком в наиболее крупном и надежном банке России – ПАО «Сбербанк России».

В качестве уровня рискованности операций компании в течение промежутка времени $(0, T_1)$, σ_1 , было взято значение коэффициента вариации индекса «ММБФ-инновации» Московской биржи за период с 2010 г. (расчет данного индекса ведется только с 2010 г.) по 21.05.2018: $\sigma_1 = 49,88\%$ ¹. Полагаем, что анализируемый нами инновационный проект находится на стадии уверенного развития, поэтому есть все основания полагать, что волатильность стоимости базового актива с течением времени будет снижаться: в наших расчетах $\sigma_2 = 39,904\%$.

Результаты расчетов стоимости составного опциона колл для долей фонда 25 и 49 % при разных значениях показателя P/E представлены на рис. 3.

Рассчитаем внутреннюю норму доходности венчурного фонда IRR^v и чистый приведенный доход венчурного фонда NPV^v , учитывая стоимость составного опциона колл. Показатели эффективности венчурного фонда IRR^v и NPV^v при расчете с учетом стоимости составного опциона колл улучшаются: значение внутренней нормы доходности венчурного фонда и чистого приведенного дохода венчурного фонда повышаются.

Представим на одном графике NPV^v венчурного фонда, полученное на основе стандартного расчета, и NPV^v , полученное в результате расчета с учетом стоимости составного опциона колл, для доли фонда 49 % при разных значениях P/E и ставке дисконтирования 20 % (рис. 4).

¹ Индекс «ММБФ-инновации MICEXINNOV» Московской биржи. URL: <https://www.moex.com/ru/index/MICEXINNOV/archive/#/from=2010-01-10&till=2018-05-21&sort=TRADEDATE&order=desc> (дата обращения 22.05.2018).

Рис. 3. Стоимость составного опциона колл для долей венчурного фонда 25 и 49 % при разных значениях P/E

Fig. 3. The price of composite call option for venture fund with 25 and 49 % of equity capital for different P/E values

Рис. 4. NPV^v венчурного фонда для доли 49 % при разных значениях P/E и ставке дисконтирования 20 %

Fig. 4. NPV^v venture fund with 49 % of equity capital for different P/E values and 20 % discount rate

Представим на графике IRR^v , посчитанное стандартным методом, и IRR^v , полученное в результате расчета с учетом стоимости составного опциона колл, для доли фонда 49 % и значения показателя $P/E = 4$ (рис. 5).

Рис. 5. Стандартный расчет IRR^v и расчет IRR^v с учетом составного опциона колл при $P/E = 4$ для доли фонда 49 %

Fig. 5. Standard IRR^v calculation and IRR^v calculation with composite call option at $P/E = 4$ for the fund share of 49 %

Таким образом, во многих случаях, согласно стандартному расчету методом дисконтированных денежных потоков, анализируемый инновационный проект не является эффективным для венчурного фонда при действительно «венчурных» условиях и должен быть отвергнут инвестиционным комитетом. Однако, если в стоимости проекта для венчурного фонда мы учтем стоимость составного опциона колл, проект во многих случаях будет иметь положительную стоимость и получит финансирование.

**Оценка эффективности инновационного проекта
по производству биодизельного топлива для венчурного фонда
с использованием метода реальных опционов
на основе нечетко-множественного анализа**

В данном разделе исследования мы зафиксировали долю венчурного фонда в уставном капитале Проектной компании на уровне 49 %. Применительно к анализируемому проекту по производству биодизельного топлива изменялись рыночные цены на производимую продукцию и цены на ресурсы (цены на основные сы-

рье, материалы, электроэнергию и пр.). «Раскачка» экзогенных параметров проекта в каждый год прогнозного периода проводилась нами в пределах $\pm 10\%$. Расчеты проводились при значении показателя $P/E = 4$ и ставке дисконтирования финансовых потоков венчурного фонда $r = 20\%$. При $P/E = 4$ доходность активов, приобретаемых потенциальным инвестором у венчурного фонда, равна 25% , т. е. доходность актива определяется как $1/(P/E)$, где P – цена актива, а E – доходы, которые он генерирует.

Результаты расчетов *надежности* и *устойчивости* показателей эффективности инновационного проекта по производству биодизельного топлива представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Опишем результаты расчетов на каждом этапе разработанной нами методики.

На первом этапе методики (оценка эффективности инновационного проекта методом NPV с позиции проекта в целом) с использованием результатов расчетов по построенной детерминированной финансовой модели проекта осуществляется моделирование с применением метода нечетких множеств финансовых потоков, характеристики которых определяются степенью «раскачивания» экзогенных параметров.

Таблица 1

Характеристика надежности показателей эффективности инновационного проекта по производству биодизельного топлива

Table 1

Reliability characteristics for efficiency indicators of innovative biodiesel production

Показатель	Надежность, %	
	вариация базовых цен ресурсов $\pm 10\%$	вариация базовых цен продукции $\pm 10\%$
NPV _{проекта в целом}	95,36	81,15
IRR _{проекта в целом}	95,36	80,04
NPV ^v _{венчурного фонда}	91,41	86,01
IRR ^v _{венчурного фонда}	77,17	67,27
$V_{T_1}^v$ – текущая стоимость акций инвестируемой компании в момент времени T_1	91,28	91,28
$V_{T_2}^v$ – текущая стоимость акций проинвестированной компании, принадлежащих венчурному фонду, в момент времени T_2	91,28	91,28
C^v	88,39	38,43
NPV ^v _{с учетом опциона}	87,96	82,88
IRR ^v _{с учетом опциона}	76,35	66,20

Источник: составлено авторами на основе результатов расчетов.

Таблица 2

Характеристика устойчивости показателей эффективности инновационного проекта по производству биодизельного топлива

Table 2

Stability characteristics for efficiency indicators of innovative biodiesel production

Показатель	Устойчивость, %	
	увеличение цен ресурсов на 10 %	снижение цен продукции на 10 %
$NPV_{\text{проекта в целом}}$	48,40	92,53
$IRR_{\text{проекта в целом}}$	38,43	86,01
$NPV^v_{\text{венчурного фонда}}$	22,78	35,41
$IRR^v_{\text{венчурного фонда}}$	15,82	32,69
$V^v_{T_1}$ – текущая стоимость акций инвестируемой компании в момент времени T_1	22,33	39,73
$V^v_{T_2}$ – текущая стоимость акций проинвестированной компании, принадлежащих венчурному фонду, в момент времени T_2	22,40	39,90
C^v	23,57	43,07
$NPV^v_{\text{с учетом опциона}}$	26,67	39,51
$IRR^v_{\text{с учетом опциона}}$	4,12	8,19

Источник: составлено авторами на основе результатов расчетов.

Далее, имея «раскачанные» прогнозные значения финансовых потоков по проекту, определяем диапазон колебания показателей экономической эффективности проекта в целом ($NPV_{\text{проекта}}$, $IRR_{\text{проекта}}$). Оцениваем степень *надежности* и *устойчивости* вычисленных нечетких показателей эффективности по отношению к нечеткому описанию экзогенных параметров модели ².

Проанализируем сначала *надежность* оценки показателей эффективности проекта в целом – чистый приведенный доход проекта в целом ($NPV_{\text{проекта в целом}}$) и внутреннюю норму доходности проекта в целом ($IRR_{\text{проекта в целом}}$) в случае вариации базовых цен ресурсов в диапазоне $\pm 10\%$ (рис. 6 и 7).

Геометрическая интерпретация надежности. Надежность оценки показателя равна минимуму из двух отношений: заштрихованной области на рисунке (например, см. рис. 6) к подграфу эталона на рис. 6 (пунктирная кривая) и той же заштрихованной области к подграфу функции принадлежности показателя при базовых ценах на ресурсы (сплошная кривая) на том же рис. 6.

² Описание формул вычисления показателей устойчивости и надежности дано в работе [13].

Рис. 6. Надежность оценки показателя $NPV_{\text{проекта в целом}}$ в случае вариации базовых цен ресурсов на 10 % равна 95,36 %

Fig. 6. Reliability of the estimate of NPV for the project in case in case of 10 % variation in the base prices for the resource is 95.36 %

Экономическая интерпретация результатов расчетов этапа 1 в части надежности

Надежность $NPV_{\text{проекта в целом}}$ выше в случае вариации базовых цен на ресурсы по сравнению с надежностью этого показателя в случае вариации базовых цен продукции: 95,36 % > 81,15 %. Сильнее отклоняется от эталона показатель $NPV_{\text{проекта в целом}}$, который мы получаем при вариации цен на продукцию, т. е. в этом случае показатель эффективности инновационного проекта в целом менее надежен. Таким образом, можно сделать вывод, что при вариации цен ресурсов прогноз показателя $NPV_{\text{проекта в целом}}$ более надежен, при вариации цен продукции – менее надежен (см. табл. 1 и рис. 6).

При вариации цен продукции надежность прогноза показателя $IRR_{\text{проекта в целом}}$ также меньше, чем надежность прогноза этого показателя в случае вариации цен ресурсов: 95,36 % > 80,04 % (см. табл. 1).

Теперь проанализируем *устойчивость* оценки показателей эффективности проекта в целом – чистый приведенный доход проекта в целом ($NPV_{\text{проекта в целом}}$) и внутреннюю норму доходности ($IRR_{\text{проекта в целом}}$) в случае увеличения цен ресурсов на 10 % (рис. 7).

Геометрическая интерпретация устойчивости

Устойчивость оценки показателя характеризуется минимумом из двух отношений: заштрихованной области на рисунке (например, см. рис. 7) к подграфу функции принадлежности показателя для случая базовых цен (сплошная кривая) и отношения той же заштрихованной области к подграфу функции принадлежности

показателя при ценах на ресурсы, увеличенных на 10 %, на том же рис. 7 (пунктирная кривая).

Рис. 7. Устойчивость $NPV_{\text{проекта в целом}}$ в случае увеличения цен ресурсов на 10 % равна 48,40 %

Fig. 7. Sustainability of the estimate of NPV for the project in case of 10 % increase in the base prices for the resource is 48.40 %

Экономическая интерпретация результатов расчетов этапа 1 в части устойчивости

Чем выше устойчивость какого-либо «выходного» параметра оценки эффективности проекта, тем меньшее влияние на него оказывает изменение «входного» параметра, в данном случае цен на ресурсы или цен на производимую компанией продукцию.

Устойчивость $NPV_{\text{проекта в целом}}$ при снижении цен на продукцию (92,53 %) больше (т. е. из 100 вариантов в 92-х нечеткое множество $NPV_{\text{проекта в целом}}$ не меняется), чем при увеличении цен на ресурсы (48,40 %). Иными словами, цены на ресурсы оказывают более сильное влияние на $NPV_{\text{проекта в целом}}$, так как устойчивость для ресурсов меньше. $NPV_{\text{проекта в целом}}$ более устойчиво (т. е. менее изменчиво), когда меняются цены на продукцию (см. табл. 2).

В случае устойчивости $IRR_{\text{проекта в целом}}$ изменение цен ресурсов влияет на этот показатель сильнее, чем вариация цен на продукцию (устойчивость составляет 38,43 и 86,01 % соответственно) – результат, аналогичный устойчивости $NPV_{\text{проекта в целом}}$ (см. табл. 2).

На *втором этапе* методики (оценка эффективности инновационного проекта методом NPV с позиции венчурного фонда) осуществим моделирование с применением метода нечетких множеств «раскачанных» финансовых потоков венчурно-

го фонда, характеристики которых определяются степенью изменчивости экзогенных параметров – рыночных цен на продукцию и цен на основное сырье, материалы, электроэнергию. Имея «раскачанные» прогнозные значения финансовых потоков венчурного фонда, определяем диапазон колебания показателей его экономической эффективности: чистого приведенного дохода венчурного фонда NPV^v

и внутренней нормы доходности венчурного фонда IRR^v . Оцениваем степень *надежности* и *устойчивости* вычисленных нечетких показателей эффективности проекта по отношению к нечеткому описанию экзогенных параметров модели. Рассмотрим *надежность* показателя NPV^v венчурного фонда для случая вариации базовых цен на продукцию на 10 %, а также для случая вариации базовых цен на ресурсы на 10 % (NPV^v венчурного фонда возьмем при $P/E = 4$ и ставке дисконтирования фонда $r = 20\%$) (см. табл. 1 и рис. 8 и 9).

Теперь проанализируем *устойчивость* показателя NPV^v венчурного фонда в случае снижения цен продукции на 10 % (рис. 10) и в случае увеличения цен ресурсов на 10 % (рис. 11).

Экономическая интерпретация результатов расчетов этапа 2 в части надежности и устойчивости

В случае показателей эффективности анализируемого инновационного проекта с точки зрения венчурного фонда NPV^v венчурного фонда и IRR^v венчурного фонда их надежность также выше при вариации базовых цен ресурсов, как и в случае с показателями NPV проекта в целом и IRR проекта в целом.

Рис. 8. Надежность оценки показателя NPV^v венчурного фонда в случае вариации базовых цен продукции на 10 % равна 86,01 %

Fig. 8. Reliability of the estimate of NPV^v indicator for venture capital fund in case of 10 % variation in basic prices of products is 86.01 %

Рис. 9. Надежность оценки показателя NPV^v венчурного фонда в случае вариации базовых цен ресурсов на 10 % равна 91,41 %

Fig. 9. Reliability estimate of NPV^v for venture capital fund in case of 10 % variation in base prices of the resources is 91.41 %

Рис. 10. Устойчивость показателя NPV^v венчурного фонда в случае снижения цен продукции на 10 % равна 35,41 %

Fig. 10. Sustainability of NPV^v for venture capital fund in case of 10 % decrease in product prices is 35.41 %

Рис. 11. Устойчивость показателя NPV^v венчурного фонда в случае увеличения цен ресурсов на 10 % равна 22,78 %

Fig. 11. Sustainability of NPV^v for venture capital fund in case of an increase in resource prices by 10 % is 22.78 %

Для случая венчурного фонда показатель NPV^v венчурного фонда оценивается как более надежный, чем показатель IRR^v венчурного фонда и при вариации базовых цен ресурсов (91,41 % > 77,17 %), и при вариации базовых цен продукции (86,01 % > 67,27 %) (см. табл. 1).

Что же касается *устойчивости* показателей эффективности венчурного фонда, и NPV^v , и IRR^v более устойчивы в случае снижения цен продукции компании на 10 % и менее устойчивы при увеличении цен на ресурсы на 10 % (тенденция, аналогичная показателям эффективности проекта в целом) (см. табл. 2). Это может быть объяснено высокой долей затрат на электроэнергию в структуре себестоимости: 75 % затрат на сырье и материалы составляет электроэнергия, что связано с технологическими особенностями выращивания микроводорослей для получения биомассы, из которой впоследствии получают биотопливо.

На *третьем этапе* методики (оценка эффективности инновационного проекта методом NPV с позиции венчурного фонда на основе метода реальных опционов) выполним расчет стоимости составного опциона колл C^v , которым владеет венчурный фонд, по модифицированной формуле Геске, которая также зависит от «входных» параметров, моделируемых с помощью метода нечетких множеств, соответственно стоимость составного опциона колл C^v также становится нечеткой. Модифицированная формула Геске описана нами в работе [12].

Затем осуществим расчет показателей эффективности вложений венчурного фонда с учетом стоимости составного опциона колл NPV^v с учетом опциона и IRR^v с учетом опциона. Эти показатели будут зависеть от того, как, в каком режиме изменяются экзогенные 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, а также оценить *надежность* этих показателей.

Для доли венчурного фонда в уставном капитале инвестируемой компании 49 % проанализируем *надежность* оценки стоимости составного опциона колл C^v в случае вариации базовых цен ресурсов (рис. 12) и в случае вариации базовых цен продукции в диапазоне $\pm 10\%$ (рис. 13).

Проанализируем *надежность* показателя «стоимость составного опциона колл C^v » в случае вариации базовых цен продукции $\pm 10\%$ (см. рис. 13). Надежность данного показателя сразу же снижается при вариации цен продукции и становится равной 38,43 %, надежность же в случае вариации цен ресурсов высокая – 88,39 %.

Выводы по надежности показателя стоимости составного опциона колл C^v : надежность стоимости составного опциона колл C^v выше в случае вариации базовых цен ресурсов (88,39 %), при вариации базовых цен продукции надежность снижается и составляет 38,43 %.

Проанализируем *устойчивость* стоимости составного опциона колл C^v в случае снижения цен продукции на 10 % (рис. 14) и в случае увеличения цен на ресурсы на 10 % (рис. 15).

Выводы по устойчивости стоимости составного опциона колл C^v . Так же как и на все проанализированные ранее показатели, на стоимость составного опциона колл C^v цены ресурсов опять влияют больше, так как устойчивость ниже, чем в случае изменения цен на продукцию ($23,57\% < 43,07\%$).

Проанализируем *надежность* показателя NPV^v венчурного фонда с учетом составного опциона колл при вариации базовых цен продукции (рис. 16) и при вариации базовых цен ресурсов (рис. 17).

Рис. 12. Надежность оценки стоимости составного опциона колл C^v в случае вариации базовых цен ресурсов на 10 % равна 88,39 %

Fig. 12. Reliability of call option C^v valuation in case of 10 % variation in the base resource prices is 88.39 %

Рис. 13. Надежность оценки стоимости составного опциона колл C^v в случае вариации базовых цен продукции на 10 % равна 38,43 %
 Fig. 13. Reliability of composite call option C^v valuation in case of 10 % variation in basic prices of products is 38.43 %

Рис. 14. Устойчивость стоимости составного опциона колл C^v в случае снижения цен продукции на 10 % равна 43,07 %
 Fig. 14. Sustainability of the composite call option C^v in case of 10 % reduction in product prices is 43.07 %

Рис. 15. Устойчивость стоимости составного опциона колл C^v в случае увеличения цен ресурсов на 10 % равна 23,57 %

Fig. 15. Sustainability of the composite call option C^v in case of 10 % increase in resource prices is 23.57 %

Рис. 16. Надежность оценки показателя NPV^v венчурного фонда с учетом составного опциона колл в случае вариации цен продукции на 10 % равна 82,88 %

Fig. 16. Reliability of the estimate of NPV^v for venture capital fund with composite call option in case of 10 % variation in product prices is 82.88 %

Рис. 17. Надежность оценки показателя NPV^v венчурного фонда с учетом составного опциона колл в случае вариации цен ресурсов на 10 % равна 87,96 %

Fig. 17. Reliability of the estimate of NPV^v for venture capital fund with composite call option in case of 10 % variation in resource prices is 87.96 %

Рассмотрим *устойчивость* NPV^v венчурного фонда с учетом составного опциона колл в случае снижения цен продукции на 10 % (рис. 18) и в случае увеличения цен ресурсов на 10 % (рис. 19).

Рис. 18. Устойчивость NPV^v венчурного фонда с учетом составного опциона колл в случае снижения цен продукции на 10 % равна 39,51 %

Fig. 18. Sustainability of NPV^v for venture capital fund with composite call option in case of 10 % decrease in product prices is 39.51 %

Рис. 19. Устойчивость NPV^v венчурного фонда с учетом составного опциона колл в случае увеличения цен ресурсов на 10 % равна 26,67 %

Fig. 19. Sustainability of NPV^v for venture fund with composite call option in case of 10 % increase in resource prices is 26.67 %

Выводы по надежности и устойчивости показателей эффективности для венчурного фонда с учетом стоимости составного опциона колл NPV^v с учетом опциона и IRR^v с учетом опциона. Как и в случае с показателями эффективности проекта в целом, а также с позиции венчурного фонда надежность NPV^v с учетом опциона и IRR^v с учетом опциона выше в случае вариации базовых цен ресурсов.

NPV^v с учетом опциона более подвержено увеличению цен ресурсов (26,67 %), чем влиянию снижения цен на производимую продукцию (39,51 %). То же справедливо и для показателя IRR^v с учетом опциона.

Основные выводы

1. Установлено, что цены на ресурсы оказывают более значительное влияние на все основные показатели эффективности анализируемого инновационного проекта, чем цены на производимую продукцию, что связано со спецификой структуры себестоимости для данного вида производства, а именно весьма высокой долей затрат на электроэнергию.

2. В стандартном финансовом анализе эффективности инвестиционных (в том числе инновационных) проектов с помощью имитационных финансовых моделей влияние вариации экзогенных параметров (цены на продукцию инвестируемой компании, цены на сырье и пр.) проводится с помощью анализа чувствительности проекта к изменению этих переменных. В результате получается «вилка», в рамках которой меняются основные показатели эффективности проекта (чистый при-

веденный доход (NPV) и внутренняя норма доходности (IRR)) при колебании экзогенных параметров. Использование нечетко-множественных методов позволяет дополнить традиционный финансовый анализ. Появляется возможность количественно оценить устойчивость различных характеристик эффективности инновационного проекта к изменению экзогенных переменных, сравнить устойчивость различных показателей. Это может быть весьма полезным при определении «узких» мест инновационного проекта.

3. Появляется возможность количественно оценить надежность получаемых расчетных показателей эффективности проекта. Такие оценки не могут быть выполнены на основе традиционных методов финансового анализа. Низкая или высокая надежность полученных показателей эффективности послужит дополнительным аргументом в пользу отрицательного или положительного решения по поводу финансирования проекта, что позволит венчурному фонду более рационально распределить свои ограниченные ресурсы среди анализируемых инновационных проектов.

4. Показано, что использование метода реальных опционов в сочетании с методом нечетких множеств расширяет инструментарий венчурного инвестора, используемый им для обоснования решений по инвестированию инновационных проектов и позволяет получить более точные и обоснованные оценки.

Список литературы

1. **Моисеев И. И., Плате Н. А., Варфоломеев С. Д.** Альтернативные источники органического топлива // Вестник РАН. 2006. Т. 76, № 3. С. 252–261.
2. **Carlsson C., Fuller R.** A fuzzy approach to real option valuation. *Fuzzy Sets and Systems*, 2003, no. 139, p. 297–312.
3. **Carlsson C., Fuller R., Heikkilä M., Majlender P.** A fuzzy approach to R&D project portfolio selection. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2007, no. 44, p. 93–105.
4. **Liao S.-H., Ho S.-H.** Investment project valuation based on a fuzzy binomial approach. *Information Sciences*, 2010, no. 180, p. 2124–2133.
5. **Tolga A. C., Kahraman C.** Fuzzy Multiattribute Evaluation of R&D Projects Using a Real Options Valuation Model. *International Journal of Intelligent Systems*, 2008, vol. 23, p. 1153–1176.
6. **Bednyagin D., Gnansounou E.** Real options valuation of fusion energy R&D programme. *Energy Policy*, 2011, no. 39, p. 116–130.
7. **Hassanzadeh F., Collan M., Modarres M.** A practical R&D selection model using fuzzy pay-off method. *Journal of Applied Manufacturing Technology*, 2011, no. 58, p. 227–236.
8. **Magni C. A., Mastroleo G., Vignola M., Facchinetti G.** Strategic options and expert systems: a fruitful marriage. *Soft Computing*, 2004, no. 8, p. 179–192.
9. **Arasteh A., Aliahmadi A.** A proposed real options method for assessing investments. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2014, no. 70, p. 1377–1393.
10. **Lee Y.-C., Lee S.-S.** The valuation of RFID investment using fuzzy real option. *Expert Systems with Applications*, 2011, no. 38, p. 12195–12201.

11. **Uchal I., Kahraman C.** Fuzzy Real Options Valuation for Oil Investments. *Technological and Economic Development of Economy*, 2009, no. 15 (4), p. 646–669.
12. **Баранов А. О., Музыко Е. И.** Оценка эффективности венчурного финансирования инновационных проектов методом реальных опционов: Монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. 272 с.
13. **Баранов А. О., Музыко Е. И., Павлов В. Н.** Оценка эффективности инновационных проектов с использованием опционного и нечетко-множественного подходов: Монография. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2018. 336 с.
14. **Johnson D. A., Sprague S.** Liquid Fuels from Microalgae. Prepared for the Inter-society Energy. In: Conversion Engineering Conference, 10–14 August 1987. Philadelphia, Pennsylvania.

References

1. **Moiseev I. I., Plate N. A., Varfolomeev S. D.** Alternative fossil fuels Alternative fossil fuels. *Vestnik RAN*, 2006, vol. 76, no. 3, p. 252–261. (in Russ.)
2. **Carlsson C., Fuler R.** A fuzzy approach to real option valuation. *Fuzzy Sets and Systems*, 2003, no. 139, p. 297–312.
3. **Carlsson C., Fuller R., Heikkila M., Majlender P.** A fuzzy approach to R&D project portfolio selection. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2007, no. 44, p. 93–105.
4. **Liao S.-H., Ho S.-H.** Investment project valuation based on a fuzzy binomial approach. *Information Sciences*, 2010, no. 180, p. 2124–2133.
5. **Tolga A. C., Kahraman C.** Fuzzy Multiattribute Evaluation of R&D Projects Using a Real Options Valuation Model. *International Journal of Intelligent Systems*, 2008, vol. 23, p. 1153–1176.
6. **Bednyagin D., Gnansounou E.** Real options valuation of fusion energy R&D programme. *Energy Policy*, 2011, no. 39, p. 116–130.
7. **Hassanzadeh F., Collan M., Modarres M.** A practical R&D selection model using fuzzy pay-off method. *Journal of Applied Manufacturing Technology*, 2011, no. 58, p. 227–236.
8. **Magni C. A., Mastroleo G., Vignola M., Facchinetti G.** Strategic options and expert systems: a fruitful marriage. *Soft Computing*, 2004, no. 8, p. 179–192.
9. **Arasteh A., Aliahmadi A.** A proposed real options method for assessing investments. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2014, no. 70, p. 1377–1393.
10. **Lee Y.-C., Lee S.-S.** The valuation of RFID investment using fuzzy real option. *Expert Systems with Applications*, 2011, no. 38, p. 12195–12201.
11. **Uchal I., Kahraman C.** Fuzzy Real Options Valuation for Oil Investments. *Technological and Economic Development of Economy*, 2009, no. 15 (4), p. 646–669.
12. **Baranov A. O., Muzyko E. I.** The assessment of the effectiveness of venture financing of innovative projects using the real options method. Novosibirsk, NSTU Publ., 2013, 272 p. (in Russ.)
13. **Baranov A. O., Muzyko E. I., Pavlov V. N.** Evaluation of the effectiveness of innovative projects using options and fuzzy-sets approaches. Novosibirsk, IEIE SB RAS Publ., 2018, 336 p. (in Russ.)

14. **Johnson D. A., Sprague S.** Liquid Fuels from Microalgae. Prepared for the Inter-society Energy. In: Conversion Engineering Conference, 10–14 August 1987. Philadelphia, Pennsylvania.

*Материал поступил в редколлегию
Received*

Сведения об авторах

Баранов Александр Олегович, доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой, Новосибирский государственный университет (ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия); зам. директора по научной работе, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (пр. Академика Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия)
baranov@ieie.nsc.ru
ORCID 0000-0001-8597-9788
Scopus AuthorID 7201565132

Музыка Елена Игоревна, кандидат экономических наук, доцент, Новосибирский государственный технический университет (пр. К. Маркса, 20, Новосибирск, 630073, Россия); старший научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (пр. Академика Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия)
mei927@mail.ru
ORCID 0000-0003-2684-6162

Павлов Виктор Николаевич, доктор экономических наук, главный научный сотрудник, Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (пр. Академика Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия)
victor_n_pavlov@mail.ru
ORCID 0000-0001-7829-1635
Scopus AuthorID 7402575976

Information about Authors

Alexander O. Baranov, Doctor of Sciences (Economics), Head of Chair, Novosibirsk State University (1 Pirogov St., Novosibirsk, 630090, Russian Federation); Deputy Director, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (17 Academician Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation)
baranov@ieie.nsc.ru
ORCID 0000-0001-8597-9788
Scopus AuthorID 7201565132

Elena I. Muzyko, Candidate of Sciences (Economics), Associated Professor, Novosibirsk State Technical University (20 K. Marx Ave., Novosibirsk, 630073, Russian Federation); Senior scientific researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (17 Academician Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation)
mei927@mail.ru
ORCID 0000-0003-2684-6162

Victor N. Pavlov, Doctor of Sciences (Technics), Professor, Chief Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS (17 Academician Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation)
victor_n_pavlov@mail.ru
ORCID 0000-0001-7829-1635
Scopus AuthorID 7402575976