

# СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

---

DOI: 10.17212/2075-0862-2018-1.2-190-209

УДК 330.322.01

## СИНТЕЗ МЕТОДА РЕАЛЬНЫХ ОПЦИОНОВ И МЕТОДА НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ: КРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

**Баранов Александр Олегович,**

*доктор экономических наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник Института экономики  
и организации промышленного производства СО РАН,  
Россия, 630090, Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева, 17;  
заведующий кафедрой экономической теории  
Национального исследовательского  
Новосибирского государственного университета,  
Россия, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2  
ORCID: 0000-0001-8597-9788  
baranov@icic.nsc.ru*

**Музыка Елена Игоревна,**

*кандидат экономических наук,  
доцент кафедры экономической теории  
и прикладной экономики Новосибирского  
государственного технического университета,  
Россия, 630073, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20;  
доцент кафедры экономической теории Национального  
исследовательского Новосибирского государственного университета,  
Россия, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2  
ORCID: 0000-0003-2684-6162  
mei927@mail.ru*

**Павлов Виктор Николаевич,**

*доктор технических наук, профессор,  
ведущий научный сотрудник Института экономики  
и организации промышленного производства СО РАН,  
Россия, 630090, Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева, 17;  
профессор кафедры информационных систем  
и информационных технологий Санкт-Петербургского  
государственного политехнического университета Петра Великого,  
Россия, 194064, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29  
ORCID: 0000-0001-7829-1635  
victor\_n\_pavlov@mail.ru*

### Аннотация

В статье проведен критический обзор исследований, в которых метод реальных опционов в сочетании с методом нечетких множеств применяется для оценки эффективности инновационных проектов. В России подобные исследования на настоящий момент не получили распространения, поэтому акцент в данной статье сделан на анализе зарубежных публикаций. Данные публикации проанализированы по следующим шести критериям: направление исследований, нечеткие «входные» параметры, тип нечетких чисел, тип реального опциона, модель оценки опциона, наличие апробации. Выявлены следующие направления исследований в выбранной области: оценка эффективности стратегических мегаинвестиций, имеющих высокую степень неопределенности; оценка эффективности R&D-проектов; проблема выбора оптимального портфеля R&D-проектов; оценка инвестиций в недвижимость; оценка стоимости фирмы; оценка инвестиций в программное обеспечение (сфера IT). В проанализированных исследованиях используются следующие типы реальных опционов: европейский колл-опцион (стандартный): опцион роста, опцион на отказ от инвестирования, опцион на уменьшение масштабов инвестирования; американский колл-опцион; составной европейский двухстадийный колл-опцион с постоянной волатильностью. Для оценки реального опциона применяются такие модели, как модель Блэка–Шоулза в нечетком виде (в подавляющем большинстве работ), модель Геске в нечетком виде, биномиальная модель Кокса–Росса–Рубинштейна в нечетком виде. Используются следующие нечеткие «входные» параметры: текущая стоимость ожидаемых денежных потоков по инновационному проекту, текущая стоимость ожидаемых затрат по проекту, «входные» параметры биномиальной модели, «входные» параметры формулы Блэка–Шоулза, модели Геске. В большинстве работ используются трапецевидные нечеткие числа. К недостаткам проанализированных работ можно отнести то, что далеко не во всех статьях проводится апробация предлагаемых подходов (это скорее исключение из правил). Если такая апробация и проводится, то отсутствует содержательная экономическая интерпретация полученных результатов. Отсутствуют статьи по использованию метода реальных опционов и аппарата нечетких множеств для оценки эффективности венчурного финансирования инновационных проектов.

**Ключевые слова:** нечеткие множества, нечеткие числа, реальные опционы, инвестиции, инновационные проекты, неопределенность, модель Блэка–Шоулза, модель Геске, модель Кокса–Росса–Рубинштейна.

### Библиографическое описание для цитирования:

Баранов А.О., Музыка Е.И., Павлов В.Н. Синтез метода реальных опционов и метода нечетких множеств для оценки эффективности инновационных проектов: критический обзор // Идеи и идеалы. – 2018. – № 1, т. 2. – С. 190–209. doi: 10.17212/2075-0862-2018-1.2-190-209.

Для инвестиций, которые осуществляют венчурные фонды, характерны высокие неопределенность и риск, и 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, распространенных 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 сектора в реальный сектор экономики [1]. *Реальный опцион* представляет собой инструмент уменьшения неопределенности инновационного проекта посредством создания опционов, базовым активом по которым выступают доходы, генерируемые инновационным проектом, менеджмент которого обладает управленческой гибкостью при принятии решений о дальнейшей его реализации [2].

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

Применение метода реальных опционов и аппарата нечетких множеств является, по нашему мнению, важным направлением совершенствования методических подходов к оценке эффективности инновационных проектов.

В России исследования, в которых метод нечетких множеств в совокупности с методом реальных опционов применяется для оценки эффективности инновационных проектов, на настоящий момент не получили распространения. Проведем обзор зарубежных исследований. Нами было проанализировано более сорока публикаций, в которых реальные опционы в сочетании с нечеткими множествами используются для оценки высокорисковых инвестиций. География исследуемых публикаций достаточно широкая: Финляндия, Венгрия, Китай, Великобритания, Швейцария, Турция, Чехия, Италия, Южная Корея, Германия, США, Канада, Иран и др.

Мы анализировали публикации по следующим шести критериям:

- направление исследований;
- нечеткие «входные» параметры;
- тип нечетких чисел;

- тип реального опциона;
- модель оценки опциона;
- наличие апробации.

Проанализированные нами работы могут быть разбиты на шесть групп. К *первой группе* статей относятся исследования, в которых метод реальных опционов в сочетании с методом нечетких множеств используется для оценки эффективности инвестиционных проектов в условиях высокой степени неопределенности (стратегические инвестиции) [3, 7, 9, 14, 17, 18, 26, 31].

Ко *второй группе* статей относятся публикации, в которых метод реальных опционов в сочетании с методом нечетких множеств используется для оценки эффективности R&D-проектов (проекты НИОКР). Это работы [4, 15, 25, 29].

В *третьей группе* статей исследуется проблема выбора оптимального портфеля R&D-проектов с использованием аппарата нечетких множеств и концепции реальных опционов. Это работы [8, 13, 27].

К *четвертой группе* статей относятся работы, в которых инструмент нечетких множеств в сочетании с методом реальных опционов используется для оценки инвестиций в недвижимость (см., например, [19]).

К *пятой группе* статей относятся публикации, где метод нечетких множеств в совокупности с методом реальных опционов применяется для оценки стоимости фирмы (оценка стоимости активов фирмы как нечеткого коллопциона) [30].

И, наконец, *шестая группа* – это статьи, в которых нечеткие множества и реальные опционы используются для оценки инвестиций в программное обеспечение (сфера IT) [16, 23, 24, 28].

Начнем наш анализ с рассмотрения статей *первой группы*.

В работе [7] используется метод реальных опционов в нечетко-множественной форме: текущая стоимость ожидаемых денежных потоков по инвестиционному проекту и ожидаемая стоимость затрат оцениваются с помощью трапециевидных нечетких чисел. Авторы этой статьи делают вывод о том, что модель нечетких реальных опционов полезна и хорошо применима на практике. В случае с классическим методом реальных опционов для оценки неопределенности, содержащейся в оценках будущих денежных потоков, используется теория вероятностей. Это может быть справедливо для финансовых опционов, для которых мы можем предположить существование эффективного рынка с множеством игроков и множеством торгуемых акций, на котором выполняется предположение о справедливости закона больших чисел. Однако ситуация с реальными опционами, по мнению авторов данной статьи, совершенно иная. Опцион на отсрочку инвестиций, характерный для мегапроектов и мегаинвестиций, бу-

дет иметь последствия, отличные от ситуации эффективных рынков, поскольку число игроков очень мало. Неопределенность, с которой мы сталкиваемся при оценке будущих денежных потоков, не является по своей природе стохастической, и использование теории вероятностей дает ложный уровень точности. Предлагаемая авторами модель, которая включает в себя субъективные оценки и статистическую неопределенность, позволит инвесторам более глубоко понимать проблему, когда они будут принимать решение об инвестировании [7, с. 310, 311]. Свою модель авторы апробировали на примере компании Nordic Telekom Inc – оператора мобильной связи в Европе.

Проведенный авторами статьи анализ выявил следующее: объединение метода нечетких множеств и метода реальных опционов позволяет ослабить недостатки метода реальных опционов (предпосылки модели Блэка–Шоулза о геометрическом броуновском движении и об эффективных рынках). Также использование нечетких моделей реальных опционов отчасти снимает ограничения моделей, применяемых для оценки стоимости реальных опционов, взятых из финансового сектора (модель Блэка–Шоулза и ее модификации).

В статье [18] исследуется оценка стратегических реальных опционов. Авторы рассматривают опцион роста, опцион на расширение проекта и опцион на отказ от проекта. Эти опционы называются общим термином – «стратегический опцион». Свои теоретические выводы авторы подтверждают расчетами на примере фирмы, производящей керамические облицовочные плиты. Однако в этой работе стоимость опциона определяется без какой-либо модели оценки. Для оценки опциона используется экспертная система на основе нечеткой логики. Стоимость опциона выводится как функция от лингвистических переменных, отражающих другие параметры оценки потенциала проекта. Авторы статьи пытаются учесть стоимость стратегических опционов без расчета этой стоимости. То есть авторы признают наличие реальных опционов в анализируемом ими инвестиционном проекте, но способ их оценки без моделей представляется довольно странным или прописанным не ясно, что заводит читателя в тупик.

Также авторы статьи оперируют таким понятием, как цена исполнения опциона. Однако другие параметры, влияющие на стоимость этих опционов (такие как текущая стоимость базового актива, безрисковая процентная ставка, волатильность, срок действия опциона), не рассматриваются и даже не упоминаются в тексте статьи. Особой ценностью данной статьи является описание и осознание того факта, что риск оказывает двоякое влияние на инвестиционную стоимость: отрицательно влияет на склонность к инвестированию и положительно – на стоимость реальных опционов.

Arasteh и Aliahmadi в [3] развивают модель оценки эффективности инвестиционных проектов в условиях высокой степени неопределенности. Они отмечают, что метод реальных опционов всё больше используется для оценки инвестиций в условиях неопределенности. Однако традиционный метод реальных опционов полагается на теорию финансовых опционов и обладает некоторыми характеристиками, ограничивающими его применение (например, стоимость базового актива реального опциона моделируется с использованием геометрического броуновского движения в предположении фиксированной цены исполнения опциона) [3, p. 1377]. В статье рассматриваются нечеткие аспекты теории реальных опционов. Авторы статьи используют нечеткую логику, объединенную с методом математического моделирования сложных систем, для оценки реальных опционов в инновационных проектах. Апробация теоретических выводов проводится на примере инновационного проекта в авиационной промышленности.

В статье [31] для целей инвестиционного анализа используется биномиальная модель в нечетком виде для оценки реального опциона американского типа. В работе оценивается американский реальный колл-опцион, когда все «входные» параметры биномиальной модели нечеткие и соответственно стоимость самого опциона также становится нечеткой. Автором используются нечеткие числа трапециевидного типа. Приводится числовой пример расчета стоимости американского реального колл-опциона по этой модели.

Liao и Ho в работе [17] предлагают подход оценки инвестиционных проектов с использованием биномиальной модели в нечетком виде. За основу взята обычная биномиальная модель Кокса–Росса–Рубинштейна. Приводится иллюстративный числовой пример на основе данных реального инвестиционного проекта. Авторами используются нечеткие числа треугольного типа. Нечеткими в данной работе являются изменяющиеся факторы базового актива, в то время как безрисковая процентная ставка и цена исполнения опциона – четкие числа.

В работе [9] нечеткие реальные опционы используются для решения проблемы закрытия/незакрытия завода. Нечеткими параметрами являются текущая стоимость ожидаемых денежных потоков и текущая стоимость ожидаемых затрат. Применяется европейский колл-опцион. Для его оценки используется модель Блэка–Шоулза в нечетком виде, а также биномиальная модель в нечетком виде. Однако расчеты проводятся только на нечеткой биномиальной модели, нечеткая модель Блэка–Шоулза лишь описывается в теоретическом разделе работы. Полученные результаты проходят апробацию на примере завода в лесной промышленности.

В статье [26] описывается метод оценки высокорисковых проектов. Нечеткими параметрами являются текущая стоимость ожидаемых денежных потоков и текущая стоимость ожидаемых затрат. Используются нечеткие числа треугольного вида. К недостаткам данной статьи можно отнести тот факт, что из текста непонятно, какой тип опциона используется и какая модель применяется для его оценки. Также страдает содержательная экономическая интерпретация полученных результатов. Апробация выводов данного исследования осуществлена на конкретном проекте в сфере проектирования и строительства гражданских объектов.

В статье [14] предлагается нечеткий биномиальный подход для оценки инвестиционных проектов в условиях высокого уровня неопределенности. Помимо этого, предлагается метод расчета среднего значения нечеткого «расширенного» NPV проекта, т. е. NPV с учетом стоимости реального опциона, который отражает полную стоимость проекта. Предлагаемый подход апробируется на примере инновационного проекта компании в сфере биотехнологий. Авторы статьи отмечают, что опционная стоимость возникает из-за гибкости: лицо, принимающее решение, может отложить инвестиции на первой стадии, чтобы избежать убытков в момент начала реализации проекта. В статье используются треугольные нечеткие числа. В качестве нечетких параметров выступают текущие денежные потоки по проекту и волатильность. К недостаткам статьи можно отнести отсутствие должной интерпретации полученных результатов, а также никак не обоснованное значение безрисковой ставки процента.

Проанализируем статьи *второй группы*.

В статье [29] Zhang J., Du H. и Tang W. представляют нечеткую скачкообразную модель для оценки стоимости реального опциона в сфере R&D (research and development – научные исследования и разработки).

Carlsson и Fuller в работе [7] утверждают, что текущая стоимость ожидаемых денежных потоков по проекту обычно не может быть оценена единственным числом. Опыт работы этих исследователей показал, что менеджеры склонны оценивать текущую стоимость ожидаемых денежных потоков как трапециевидные нечеткие числа. Авторы данной статьи используют именно трапециевидные нечеткие числа для оценки будущих денежных потоков и инвестиционных затрат. Данная модель была получена авторами с помощью расширения модели Pennings и Lint [22] для оценки R&D опционов [29, p. 798, 799]. Pennings и Lint представили новый теоретический подход, развив стохастическую скачкообразную амплитудную модель в ключе реальных опционов, которая оказалась более близка к реальности. Вместо геометрического броуновского движения авторами был использован скачкообразный процесс для того, чтобы показать изменения в стоимости базового актива, который больше подходит для описания

базового актива R&D проекта. Для того чтобы рассчитать стоимость опциона, необходимо оценить неизвестные ключевые параметры, связанные с числом и размером скачков. Однако число наблюдений для инвестиционного проекта не всегда большое, поэтому оценка параметров может оказаться проблематичной. В таком случае оценка стоимости опциона определяется точностью (четкостью) «входных» данных.

Представляется, что применение случайной нечеткой методологии для построения случайной нечеткой скачкообразной модели более эффективно. Классическая скачкообразная модель не всегда позволяет точно подтвердить некоторые важные параметры. Именно поэтому авторы применяют случайную нечеткую теорию, которая позволяет преодолеть недостатки подобного рода. Преимуществом случайной нечеткой скачкообразной модели является инкорпорированность субъективных оценок менеджеров в скачкообразную модель [Там же, р. 806]. Также случайная нечеткая теория может справиться с проблемами, которые возникают из-за того, что функции распределения сложно подтвердить с высокой степенью точности [Там же, р. 798].

Как известно, формула Блэка–Шоулза [5] обладает двумя недостатками. Во-первых, она предполагает, что изменение стоимости базового актива подчиняется броуновскому движению, что подразумевает непрерывное поступление информации, изменяющей переменную, лежащую в основе базового актива. Проблема состоит в том, что базовые активы финансовых опционов торгуются на фондовом рынке, и цены этих активов будут напрямую зависеть от новой информации. Однако поступление информации, влияющей на будущие чистые денежные потоки по научно-исследовательским проектам, будет происходить дискретно. Это значит, что на рынке реальных активов текущая стоимость будущих денежных потоков не будет непрерывно корректироваться менеджерами и будет регулироваться только тогда, когда появится стратегически важная информация [22].

Во-вторых, базовый актив реального опциона не торгуется на фондовом рынке, поэтому оценка его волатильности затрудняется. В отличие от финансовых опционов, данные по временным рядам за прошлые периоды, с помощью которых можно было бы оценить волатильность базового актива, отсутствуют. Но так как стоимость опциона очень чувствительна к волатильности базового актива, обоснованные оценки волатильности базового актива необходимы. Фармацевтической компанией Merck волатильность акций была взята для того, чтобы аппроксимировать волатильность NPV будущих денежных потоков по проекту, который возник вследствие научно-исследовательских работ в фармацевтической промышленности (pharmaceutical R&D) [21]. Однако в сфере R&D определение среднеквадратического отклонения является трудным. Поэтому использование



формулы Блэка–Шоулза для оценки R&D-опционов в определенной степени ограничено. Однако недостатки формулы Блэка–Шоулза и ее модификаций могут быть устранены при помощи внедрения в оценку стоимости реальных опционов метода нечетких множеств.

В статье [15] рассматривается проблема выбора R&D-проекта. Для решения данной задачи авторы статьи предлагают использовать теорию нечетких множеств, которая является полезным инструментом для оценки неопределенности, заключенной в процесс выбора R&D-проекта [Там же, р. 918]. Новизна данной статьи состоит в том, что теория нечетких множеств в совокупности с методом реальных опционов применяется для оценки R&D-проектов с учетом взаимодействия между проектами с целью максимизации чистой выгоды, основанной на чистом приведенном доходе.

Традиционный анализ дисконтированных денежных потоков недооценивает стоимость инновационных проектов по сравнению с методом реальных опционов, поскольку не учитывает в этой стоимости возможность управленческой гибкости менеджеров проекта. В связи с этим стоимость, которую добавляют проекту реальные опционы, важна для объяснения высокой рыночной стоимости компаний, работающих в волатильных и сложнопрогнозируемых отраслях, таких как электроника, телекоммуникации и биотехнологии [11]. Метод реальных опционов позволяет устранить традиционный пассивный анализ инвестиций и подразумевает подход активного менеджмента со способностью реагировать на изменяющиеся условия. Данный метод способствует оценке проекта в многоступенчатом контексте, предоставляет инструмент для последующего пересмотра решения в связи с поступлением новой информации.

Апробация в данной статье проводится на примере высокотехнологичной фирмы, анализирующей шесть R&D-проектов, каждый из которых включает в себя две стадии инвестирования: первоначальную стадию и стадию развития.

В статье [25] также производится оценка эффективности R&D-проектов. Авторы данной статьи используют формулу Геске в нечетком виде из работы [27], а также формулы, полученные Carlsson и Fuller [9]. Текущая стоимость ожидаемых денежных потоков и текущая стоимость ожидаемых затрат являются нечеткими параметрами модели. Авторами используются европейский двухстадийный колл-опцион и нечеткие числа трапециевидного типа. Апробация модели производится на примере инвестиционного проекта в сфере электронной промышленности.

В статье [4] метод реальных опционов применяется для оценки программы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в сфере термоядерной энергетики. Стратегическая ценность технологии

термоядерного синтеза, которая возникает благодаря неопределенности будущих условий рынка, оценивается в статье на основании ожидаемых денежных потоков от строительства и функционирования термоядерных электростанций и стоимости реальных опционов, возникающей благодаря управленческой гибкости и имеющейся неопределенности.

Фактически по любому из R&D-проектов ожидаемые будущие денежные потоки могут быть значительно улучшены благодаря активному менеджменту на различных стадиях реализации проекта (например, благодаря расширению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и производства, если рыночные условия благоприятны, или отказу от инвестирования, если процесс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ зашел в тупик). В результате стратегическая ценность любого R&D-проекта обычно превышает его чистую приведенную стоимость (NPV), рассчитанную традиционным методом дисконтированных денежных потоков.

Сначала авторами статьи рассчитывается эффективность программы НИОКР в сфере термоядерной энергетики традиционным методом дисконтированных денежных потоков (методом NPV). Затем они рассчитывают стоимость реального опциона – обычного европейского колл-опциона – по формуле Блэка–Шоулза и с использованием биномиальной модели Кокса–Росса–Рубинштайна, и двухстадийного составного опциона с постоянной волатильностью по модели Геске (всё это в четком виде). Затем NPV и стоимость реального опциона по модели Блэка–Шоулза оценивают в нечетком виде, после чего авторы рассчитывают стоимость составного реального опциона в нечетком виде по формуле, основанной на четкой модели Геске, и сравнивают полученные результаты. Во всех расчетах с использованием метода нечетких множеств используются трапециевидные нечеткие числа [4, p. 129].

Стоимость составного опциона может быть оценена с помощью дифференциальных уравнений при использовании алгоритма решения, предложенного Carr [10] и основанного на более ранних работах Margrabe [20] и Geske [12]. Решение можно найти и путем конструирования биномиальной или мультиномиальной решетки, используя программные продукты, например Real Options Super Lattice Solver [21]. Использование модели составного реального опциона более предпочтительно в сравнении с моделью оценки обычного европейского колл-опциона, поскольку она позволяет сосредоточить оценку на ведущихся и последующих стадиях инвестирования [4, p. 128].

Таким образом, в статье используются три различные модели оценки реальных опционов, начиная от «базовой» модели колл-опциона до более сложных моделей составных реальных опционов с четкими и нечеткими

числами. Расчет дополнен сценарным анализом, в котором анализируются три сценария относительно значения NPV: пессимистический, оптимистический и средний. Предполагается, что существуют две стратегии, подлежащие сравнению: «основная» стратегия, которая предполагает относительно среднюю скорость научных исследований в сфере термоядерного синтеза, процесса разработок, демонстрации и мероприятий по внедрению, и «ускоренная стратегия», предполагающая экспресс-демонстрацию и массовое внедрение термоядерной энергетики [4, с. 116]. Статья имеет практический характер. Ее несомненным достоинством является содержательная интерпретация полученных результатов – интерпретация стоимостей полученных реальных опционов в нечетком виде.

Перейдем к рассмотрению статей *третьей группы*.

В статье [8] авторы развивают методологию оценки реальных опционов, возникающих в R&D-проектах, когда будущие денежные потоки по проекту оцениваются как трапециевидные нечеткие числа. В частности, авторы представляют нечеткую модель для решения проблемы выбора оптимального портфеля R&D-проектов.

В данной статье для случая оценки портфеля R&D-проектов ожидаемые инвестиционные затраты по проектам – четкое число, поскольку, как правило, компании оценивают ожидаемые инвестиционные затраты по проектам с высокой степенью определенности. Однако денежные потоки, получаемые от проектов, содержат в себе неопределенность, и они моделируются как трапециевидные нечеткие числа. Для оценки опциона используется модель Блэка–Шоулза с выплатой дивидендов в нечетком виде. К недостаткам данной статьи можно отнести отсутствие апробации полученных результатов.

Целью исследования [27] также является формирование оптимального портфеля R&D-проектов. Метод реальных опционов получил за рубежом огромное распространение в последние годы, поскольку процедура первоначальных инвестиций в R&D-проект схожа с покупкой опциона на будущие инвестиции. R&D-проект обычно включает в себя несколько стадий, и лица, принимающие решения, имеют в конце каждой стадии выбор: развивать, прекратить или отложить инвестирование в проект. Следовательно, каждая стадия представляет собой опцион, который обусловлен исполнением более ранних опционов. Если проект получает технологический успех, это создает опцион на более значительные вложения в продолжение этого проекта с относительно более высокими ожидаемыми прибылями. Если проект не достигает технологического успеха, нет необходимости продолжать вкладывать в него ресурсы, и поэтому нижняя граница риска ограничена потерями первоначальных инвестиционных вложений в R&D-проект.

В силу этой особенности для оценки R&D-проектов больше подходит модель составных опционов, чья стоимость зависит от стоимости других опционов. В данной статье модель составных опционов Геске [12] расширена с использованием теории нечетких множеств с целью оценить стоимость R&D-проекта, так как будущие денежные потоки трудно спрогнозировать одним числом. Проводится апробация на примере фармацевтической промышленности.

В статье [13] автор использует нечеткие числа треугольного вида для оценки эффективности R&D-проектов и формирования оптимального портфеля проектов. В качестве нечетких параметров выступают текущая стоимость ожидаемых денежных потоков и текущая стоимость ожидаемых затрат. Апробация, как и в статье [27], проводится на примере проекта в фармацевтической промышленности.

В целом, однако, можно отметить, что все проанализированные статьи отличаются отсутствием экономической интерпретации полученных результатов. Над экономическим содержанием превалирует технико-математический подход.

Проанализируем *четвертую группу* статей. Мао Y. и Wu W. [19] применяют метод реальных опционов и нечетких множеств для оценки инвестиционного проекта в сфере недвижимости, используя модели, полученные в статье [6], и формулу Блэка–Шоулза, полученную в нечетком виде. Нечеткими являются чистый приведенный доход по проекту и ожидаемые затраты по проекту (в виде нечетких чисел треугольного типа). Апробация проводится на примере инвестиционного проекта в сфере недвижимости.

Рассмотрим *пятую группу* статей. В статье [30] автор оценивает стоимость фирмы как нечеткий колл-опцион, используя нечеткие числа трапециевидного типа. Используется модель Блэка–Шоулза в нечетком виде. Все элементы формулы Блэка–Шоулза нечеткие, соответственно стоимость реального европейского колл-опциона тоже нечеткая. Иллюстрация модели приводится на числовом примере – оценке стоимости авиакомпании.

*Шестая группа* содержит статьи, в которых оценивается эффективность инвестиций в информационные технологии. Работы [23, 24] принадлежат группе авторов из Китая, которые, используя метод реальных опционов и метод нечетких множеств, оценивают инвестиции в информационные технологии.

В обеих статьях в качестве модели для оценки обычного европейского колл-опциона применяется модель Блэка–Шоулза в нечетком виде. В результате того, что «входным», хоть и единственным, нечетким параметром в этих работах является приведенная стоимость ожидаемых будущих денежных потоков по инвестиционному проекту, стоимость реального

опциона также становится нечеткой. В обеих статьях используются нечеткие числа треугольного типа. Стоит отметить, что в своих исследованиях авторы ссылаются на основополагающие и базовые для нечетких реальных опционов статьи и, более того, используют формулы математического ожидания и дисперсии из работ [6, 7].

Общим и главным недостатком рассмотренных статей является отсутствие содержательной экономической интерпретации полученных оценок стоимости реального опциона при наличии высокой степени математизации в ходе исследования. Однако существенным преимуществом данных работ по сравнению с работами некоторых других авторов является наличие апробации используемых подходов. Так, например, в рамках статьи [24] авторы апробируют предлагаемую модель с целью оценки эффективности инвестиций на примере атомной электростанции в Китае.

Для оценки нечеткого реального опциона авторы статьи [16] также апробируют подходы и методы, предложенные ранее авторами статьи [7], а именно: используют формулы для расчета математического ожидания и дисперсии для нечетких чисел и модель Блэка–Шоулза в нечетком виде. «Входными» нечеткими параметрами выступают текущая стоимость ожидаемых денежных потоков и текущая стоимость ожидаемых затрат по проекту. Используя нечеткие числа трапециевидного типа для оценки европейского колл-опциона (опциона роста), авторы приводят числовой пример оценки инвестиций в технологию RFID вместе с апробацией модели.

В статье [28] авторы оценивают эффективность инвестиций в программное обеспечение планирования ресурсов на предприятии, принимая будущие денежные потоки по инвестиционному проекту как нечеткие числа треугольного типа и производя расчеты на основе модели Блэка–Шоулза. Спектр объектов оценивания в данной работе достаточно широк: реальный опцион роста, опцион на отказ от инвестирования, опцион на уменьшение масштабов инвестирования в проект. Сильная сторона работы состоит в апробации в сфере программного обеспечения для ресурсного планирования на предприятии.

На основе проведенного нами исследования публикаций, в которых метод реальных опционов в сочетании с методом нечетких множеств применяется для оценки эффективности инновационных проектов, можно сделать следующие выводы. Были выявлены направления исследований в выбранной области: оценка эффективности стратегических мегаинвестиций, имеющих высокую степень неопределенности; оценка эффективности R&D-проектов; проблема выбора оптимального портфеля R&D-проектов; оценка инвестиций в недвижимость; оценка стоимости фирмы; оценка инвестиций в программное обеспечение (сфера IT).

В проанализированных исследованиях используются следующие типы реальных опционов: европейский колл-опцион (стандартный): опцион роста, опцион на отказ от инвестирования, опцион на уменьшение масштабов инвестирования; американский колл-опцион; составной европейский двухстадийный колл-опцион с постоянной волатильностью. Для оценки реального опциона применяются такие модели, как модель Блэка–Шоулза в нечетком виде (в подавляющем большинстве работ), модель Геске в нечетком виде, биномиальная модель Кокса–Росса–Рубинштейна в нечетком виде. Используются следующие нечеткие «входные» параметры: текущая стоимость ожидаемых денежных потоков по инновационному проекту, текущая стоимость ожидаемых затрат по проекту, «входные» параметры биномиальной модели, «входные» параметры формулы Блэка–Шоулза, модели Геске. В большинстве работ используются трапециевидные нечеткие числа. Далеко не во всех статьях проводится апробация предлагаемых подходов, это скорее исключение из правил. Если такая апробация и проводится, то отсутствует содержательная экономическая интерпретация полученных результатов. Отсутствуют статьи по использованию метода реальных опционов и аппарата нечетких множеств для оценки эффективности венчурного финансирования инновационных проектов.

### Литература

1. Инновационный потенциал научного центра: методологические и методические проблемы анализа и оценки / отв. ред. В.И. Суслов. – Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2007. – 276 с.
2. Музыка Е.И. Анализ развития подходов к трактовке экономической сущности категории «реальный опцион» // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – № 36 (243). – С. 12–17.
3. Arasteh A., Aliabadi A. A proposed real options method for assessing investments // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2014. – Vol. 70. – P. 1377–1393.
4. Bednyagin D., Gnansounou E. Real options valuation of fusion energy R&D programme // Energy Policy. – 2011. – Vol. 39 (1). – P. 116–130.
5. Black F., Scholes M. The pricing of options and corporate liabilities // Journal of Political Economy. – 1973. – Vol. 81. – P. 637–654.
6. Carlsson C., Fuller R. On possibilistic mean value and variance of fuzzy numbers // Fuzzy Sets and Systems. – 2001. – Vol. 122, iss. 2. – P. 315–326.
7. Carlsson C., Fuller R. A fuzzy approach to real option valuation // Fuzzy Sets and Systems. – 2003. – Vol. 139, iss. 2. – P. 297–312.
8. A fuzzy approach to R&D project portfolio selection / C. Carlsson, R. Fuller, M. Heikkila, P. Majlender // International Journal of Approximate Reasoning. – 2007. – Vol. 44. – P. 93–105.

9. *Carlsson C., Heikkilä M., Fuller R.* Fuzzy real options models for closing/not closing a production plant // *Production Engineering and Management under Fuzziness.* – Berlin, 2010. – Ch. 22. – P. 537–560.
10. *Carr P.* The valuation of sequential exchange opportunities // *Journal of Finance.* – 1988. – Vol. 43 (5). – P. 1235–1256.
11. *Dixit A.K., Pindyck R.S.* The options approach to capital investment // *Harvard Business Review.* – 1995. – May–June. – P. 105–115.
12. *Geske R.* The valuation of compound options // *Journal of Financial Economics.* – 1979. – Vol. 7 (1). – P. 63–81.
13. *Hassanzadeh F., Collan M., Modarres M.* A practical R&D selection model using fuzzy pay-off method // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* – 2012. – Vol. 58. – P. 227–236.
14. *Ho S.-H., Liao S.-H.* A fuzzy real option approach for investment project valuation // *Expert Systems with Applications.* – 2011. – Vol. 38. – P. 15296–15302.
15. *Karsak E., Ertugrul A.* Generalized fuzzy optimization framework for R&D project selection using real options valuation // *Computational Science and Its Applications ICCSA 2006, Glasgow, UK, May 8–11, 2006.* – Berlin; New York: Springer, 2006. – Pt. 3. – P. 918–927.
16. *Lee Y.-C., Lee S.-S.* The valuation of RFID investment using fuzzy real option // *Expert Systems with Applications.* – 2011. – Vol. 38. – P. 12195–12201.
17. *Liao S.-H., Ho S.-H.* Investment project valuation based on a fuzzy binomial approach // *Information Sciences.* – 2010. – Vol. 180. – P. 2124–2133.
18. Strategic options and expert systems: a fruitful marriage / C.A. Magni, G. Mastroleo, M. Vignola, G. Facchinetti // *Soft Computing.* – 2004. – Vol. 8, iss. 3. – P. 179–192.
19. *Mao Y., Wu W.* Fuzzy real option evaluation of real estate project based on risk analysis // *Systems Engineering Procedia.* – 2011. – Vol. 1. – P. 228–235.
20. *Margrabe W.* The value of an option to exchange one asset for another // *Journal of Finance.* – 1978. – Vol. 33 (1). – P. 177–186.
21. *Mun J.* Risk simulator & real options super lattice solver: user manuals // *Real Options Valuation, 2010.* – URL: <http://www.realloptionsvaluation.com> (accessed 13.03.2018).
22. *Pennings E., Lint O.* The option value of advanced RD // *European Journal of Operational Research.* – 1997. – Vol. 103. – P. 83–94.
23. A fuzzy group decision approach to real option valuation / C. Tao, Z. Jinlong, L. Shan, Y. Benhai // *Rough sets, fuzzy sets, data mining and granular computing RSFDGrC 2007, Toronto, Canada, May 14–16, 2007.* – Berlin; New York: Springer, 2007. – P. 103–110.
24. Fuzzy real option analysis for IT investment in nuclear power station / C. Tao, Z. Jinlong, L. Shan, Y. Benhai // *Computational Science ICCS 2007, Beijing, China, May 27–30, 2007.* – Berlin; New York: Springer, 2007. – Pt. 3. – P. 953–959.
25. *Tolga A., Kabraman 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.

26. Wang Q., Kilgour D.M., Hipel K.W. Facilitating risky project negotiation: an integrated approach using fuzzy real options, multicriteria analysis, and conflict analysis // Information Sciences. – 2015. – Vol. 295. – P. 544–557.
27. Wang J., Hwang W.-L. A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model // OMEGA. – 2007. – Vol. 35 (3). – P. 247–257.
28. A real option theoretic fuzzy evaluation model for enterprise resource planning investment / C. You, C.K.M. Lee, S.L. Chen, R.J. Jiao // Journal of Engineering and Technology Management. – 2012. – Vol. 29. – P. 47–61.
29. Zhang J., Du H., Tang W. Pricing R&D option with combining randomness and fuzziness // Computational Intelligence: International Conference on Intelligent Computing, ICIC 2006, Kunming, China, August 16–19, 2006. – Berlin; New York: Springer, 2006. – Pt. 3. – P. 798–808.
30. Zmeskal Z. Application of the fuzzy-stochastic methodology to appraising the firm value as a European call option // European Journal of Operational Research. – 2001. – Vol. 135. – P. 303–310.
31. Zmeskal Z. Generalized soft binomial American real option pricing model (fuzzy-stochastic approach) // European Journal of Operational Research. – 2010. – Vol. 207. – P. 1096–1103.

Статья поступила в редакцию 22.11.2017 г.

Статья прошла рецензирование 11.12.2017 г.



DOI: 10.17212/2075-0862-2018-1.2-190-209

## THE SYNTHESIS OF REAL OPTIONS METHOD AND FUZZY SETS METHOD FOR EVALUATION OF INNOVATIVE PROJECT'S EFFECTIVENESS: CRITICAL REVIEW

**Baranov Alexander,**

*Dr. of Sc. (Economics), Professor,  
Head of the Economic Theory Department  
of National Research Novosibirsk State University,  
2, Pirogova st., Novosibirsk, 630090, Russian Federation;  
Leading researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering SB RAS,  
17, Lavrentev's av., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*  
ORCID: 0000-0001-8597-9788  
baranov@ieie.nsc.ru

**Muzyko Elena,**

*Cand. of Sc. (Economics),  
Associate Professor of Department of Economics and Applied Economics,  
Novosibirsk State Technical University,  
20, Karl Marx pr., Novosibirsk, 630073, Russian Federation;  
Associate Professor, Economic Theory Department,  
National Research Novosibirsk State University,  
2, Pirogova st., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*  
ORCID: 0000-0003-2684-6162  
mei927@mail.ru

**Pavlov Viktor,**

*Dr. of Sc. (Engineering), Professor,  
Leading researcher of Institute of Economics  
and Industrial Engineering of SB RAS,  
17, Lavrentev's av., Novosibirsk, 630090, Russian Federation;  
Professor of the Information Systems and Information Technologies  
Department of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
29, Polytechnicheskay st., St.-Petersburg, 194064, Russian Federation*  
ORCID: 0000-0001-7829-1635  
victor\_n\_pavlov@mail.ru

### Abstract

The paper presents a critical review of studies in which the real options method, combined with the fuzzy set method, is used to evaluate the effectiveness of innovation projects. In Russia, such studies have not yet become widespread, so the emphasis in this paper is on the analysis of foreign publications. These publications were analyzed by us on the following six criteria: the direction of research; fuzzy "input" parameters; type of fuzzy numbers; type of real option;

option evaluation model; availability of approbation. The following areas of research in the selected field were identified: assessment of the effectiveness of strategic mega-investments having a high degree of uncertainty; evaluation of the effectiveness of R&D projects; the problem of choosing the optimal portfolio of R&D projects; evaluation of investment in real estate; an estimation of firm's cost; evaluation of investment in software (IT sphere). In the analyzed studies, the following types of real options are used: European call option (standard); American call option; a compound European two-stage call option with constant volatility. Such models for real option evaluation are used as the Black-Scholes model in fuzzy form (in the majority of works), the Geske model in fuzzy form, binomial model (Cox-Ross-Rubinshtein model) in fuzzy form. The following shortcomings of the analyzed works were revealed: in very few papers approbation of the proposed approaches is carried out (an exception from the rule). If such approbation is carried out, then there is no meaningful economic interpretation of the obtained results. There are no articles on the direction of the research – the use of the real options method and the fuzzy sets analysis to assess the effectiveness of venture financing of innovation projects.

**Keywords:** fuzzy sets, fuzzy numbers, real options, investments, innovative projects, uncertainty, the Black-Scholes model, the Geske model, the Cox-Ross-Rubinshtein model

#### **Bibliographic description for citation:**

Baranov A.O., Muzyko E.I., Pavlov V.N. The synthesis of real options method and Fuzzy sets method for evaluation of innovative project's effectiveness: critical review. *Idei i idealy – Ideas and Ideals*, 2018, no. 1, vol. 2, pp. 190–209. doi: 10.17212/2075-0862-2018-1.2-190-209. (In Russian).

#### **References**

1. Suslov V.I., ed. *Innovatsionnyi potentsial nauchnogo tsentra: metodologicheskie i metodicheskie problemy analiza i otsenki* [Innovation potential of the scientific center: methodological problems of analysis and evaluation]. Novosibirsk, Sibirskoe nauchnoe izdatel'stvo Publ., 2007. 276 p.
2. Muzyko E.I. Analiz razvitiya podkhodov k traktovke ekonomicheskoi sushchnosti kategorii "real'nyi optsiion" [Analysis of the development of approaches to the interpretation of the economic essence of the category "real option"]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika – Economic Analysis: Theory and Practice*, 2011, no. 36 (243), pp. 12–17.
3. Arasteh A., Aliahmadi A. A proposed real options method for assessing investments. // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2014, vol. 70, pp. 1377–1393.
4. Bednyagin D., Gnansounou E. Real options valuation of fusion energy R&D programme. *Energy Policy*, 2011, vol. 39 (1), pp. 116–130.
5. Black F., Scholes M. The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 1973, vol. 81, pp. 637–654.

6. Carlsson C., Fuller R. On possibilistic mean value and variance of fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 2001, vol. 122, iss. 2, pp. 315–326.
7. Carlsson C., Fuller R. A fuzzy approach to real option valuation. *Fuzzy Sets and Systems*, 2003, vol. 139, iss. 2, pp. 297–312.
8. Carlsson C., Fuller R., Heikkilä M., Majlender P. A fuzzy approach to R&D project portfolio selection. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2007, vol. 44, pp. 93–105.
9. Carlsson C., Heikkilä M., Fuller R. Fuzzy real options models for closing/not closing a production plant. *Production Engineering and Management under Fuzziness*. Berlin, 2010, ch. 22, pp. 537–560.
10. Carr P. The valuation of sequential exchange opportunities. *Journal of Finance*, 1988, vol. 43 (5), pp. 1235–1256.
11. Dixit A.K., Pindyck R.S. The options approach to capital investment. *Harvard Business Review*, 1995, May–June, pp. 105–115.
12. Geske R. The valuation of compound options. *Journal of Financial Economics*, 1979, vol. 7 (1), pp. 63–81.
13. Hassanzadeh F., Collan M., Modarres M. A practical R&D selection model using fuzzy pay-off method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2012, vol. 58, pp. 227–236.
14. Ho S.-H., Liao S.-H. A fuzzy real option approach for investment project valuation. *Expert Systems with Applications*, 2011, vol. 38, pp. 15296–15302.
15. Karsak E., Ertugrul A. Generalized fuzzy optimization framework for R&D project selection using real options valuation. *Computational Science and Its Applications ICCSA 2006*, Glasgow, UK, May 8–11, 2006, pt. 3, pp. 918–927.
16. Lee Y.-C., Lee S.-S. The valuation of RFID investment using fuzzy real option. *Expert Systems with Applications*, 2011, vol. 38, pp. 12195–12201.
17. Liao S.-H., Ho S.-H. Investment project valuation based on a fuzzy binomial approach. *Information Sciences*, 2010, vol. 180, pp. 2124–2133.
18. Magni C.A., Mastroleo G., Vignola M., Facchinetti G. Strategic options and expert systems: a fruitful marriage. *Soft Computing*, 2004, vol. 8, iss. 3, pp. 179–192.
19. Mao Y., Wu W. Fuzzy real option evaluation of real estate project based on risk analysis. *Systems Engineering Procedia*, 2011, vol. 1, pp. 228–235.
20. Margrabe W. The value of an option to exchange one asset for another. *Journal of Finance*, 1978, vol. 33 (1), pp. 177–186.
21. Mun J. Risk simulator & real options super lattice solver: user manuals. *Real Options Valuation*, 2010. Available at: <http://www.realoptionsvaluation.com> (accessed 13.03.2018).
22. Pennings E., Lint O. The option value of advanced RD. *European Journal of Operational Research*, 1997, vol. 103, pp. 83–94.
23. Tao C., Jinlong Z., Shan L., Benhai Y. A fuzzy group decision approach to real option valuation. *Rough sets, fuzzy sets, data mining and granular computing RSFDGrC 2007*, Toronto, Canada, May 14–16, 2007, pp. 103–110.

24. Tao C., Jinlong Z., Shan L., Benhai Y. Fuzzy real option analysis for IT investment in nuclear power station. *Computational Science ICCS 2007*, Beijing, China, May 27–30, 2007, pt. 3, pp. 953–959.
25. Tolga A., Kahraman C. Fuzzy multiattribute evaluation of R&D projects using a real options valuation model. *International Journal of Intelligent Systems*, 2008, vol. 23, pp. 1153–1176.
26. Wang Q., Kilgour D.M., Hipel K.W. Facilitating risky project negotiation: an integrated approach using fuzzy real options, multicriteria analysis, and conflict analysis. *Information Sciences*, 2015, vol. 295, pp. 544–557.
27. Wanga J., Hwang W.-L. A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model. *OMEGA*, 2007, vol. 35 (3), pp. 247–257.
28. You C., Lee C.K.M., Chen S.L., Jiao R.J. A real option theoretic fuzzy evaluation model for enterprise resource planning investment. *Journal of Engineering and Technology Management*, 2012, vol. 29, pp. 47–61.
29. Zhang J., Du H., Tang W. Pricing R&D option with combining randomness and fuzziness. *Computational Intelligence: International Conference on Intelligent Computing, ICIC 2006*, Kunming, China, August 16–19, 2006, pp. 798–808.
30. Zmeskal Z. Application of the fuzzy-stochastic methodology to appraising the firm value as a European call option. *European Journal of Operational Research*, 2001, vol. 135, pp. 303–310.
31. Zmeškal Z. Generalized soft binomial American real option pricing model (fuzzy-stochastic approach). *European Journal of Operational Research*, 2010, vol. 207, pp. 1096–1103.

The article was received on November 22, 2017.

The article was reviewed on December 11, 2017.