

УДК 338.9
ББК 65.9 (2Р) 30-2
Б 241

Б 241 Баранов А.О., Музыко Е.И., Павлов В.Н. Оценка эффективности инновационных проектов с использованием опционного и нечетко-множественного подходов. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2018. – 336 с.

ISBN 978-5-89665-324-0

Монография посвящена развитию теории и методов оценки экономической эффективности инновационных проектов на основе концепции реальных опционов и нечетко-множественного анализа. В книге рассмотрены вопросы приложения метода реальных опционов в совокупности с методом нечетких множеств к оценке эффективности венчурного финансирования инновационных проектов. Дано методологическое обоснование целесообразности применения концепции реальных опционов, а также аппарата нечетких множеств для совершенствования инструментария анализа экономической эффективности инноваций. Представлена новая методика оценки экономической эффективности инновационных проектов с прямым или венчурным финансированием на основе метода реальных опционов с использованием модифицированной формулы Геске и включением нечетко-множественного анализа, а также разработан оригинальный алгоритм ее практической реализации. Проведена апробация предложенной методики на примере инновационных проектов в фармацевтической и нефтехимической промышленности России.

Работа выполнена в рамках плана НИР ИЭОПП СО РАН, проект XI.170.1.2. (0325-2017-0013) «Формирование основ теории инновационной экономики: операциональные определения, измерения, модели, научно-технологические прогнозы и программы».

Издание адресовано работникам науки, венчурных фондов, органов власти и управления, а также студентам, магистрантам, аспирантам и преподавателям вузов.

Монография подготовлена авторским коллективом в составе:

д-р экон. наук *А.О. Баранов* (Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН; Новосибирский государственный университет): предисловие; гл. 6: п. 6.1, п. 6.2, п. 6.4.1; гл. 7; гл. 8;

канд. экон. наук *Е.И. Музыко* (Новосибирский государственный технический университет; Новосибирский государственный университет): предисловие; введение; гл. 1; гл. 2; гл. 3; гл. 4; гл. 5; гл. 6; гл. 7; гл. 8;

д-р тех. наук *В.Н. Павлов* (Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН): гл. 5 п. 5.4; гл. 6 п. 6.3, п. 6.4; гл. 7, п. 7.4; гл. 8, п. 8.3.

Рецензенты:

д.э.н. А.П. Ермилов, д.э.н. Т.О. Тагаева, к.э.н. Е.А. Стукаленко

УДК 338.9
ББК 65.9 (2Р) 30-2

ISBN 978-5-89665-324-0
DOI: 10.15372/EPRF20180101

© ИЭОПП СО РАН, 2018 г.
© Баранов А.О., Музыко Е.И.,
Павлов В.Н., 2018 г.

Раздел II

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ**Глава 4. ОСОБЕННОСТИ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДИК
ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ****4.1. Традиционные методы оценки эффективности
инвестиционных проектов**

4.1.1. Определение основных понятий. С развитием глобальных экономических процессов, все более актуальным становится вопрос о выборе оптимальных методик оценки экономической эффективности инвестиционных проектов. Грамотные управленческие решения лежат в основе принятия решения по оценке эффективности и отбору инвестиционных проектов. Чтобы получить представление о проекте, а именно его степени развитости, эффективности деятельности структур разного уровня, необходимо обратиться к объему инвестиций, которые он требует [Гранберг и др., 2010, с. 47].

Оценка инвестиционных проектов при этом не ограничивается анализом финансовой (коммерческой) эффективности и взаимодействия частных участников инвестиционного процесса. Она требует расширения границ традиционного микроэкономического анализа и одновременно применения более широких межуровневых и междисциплинарных подходов к определению последствий инвестиционной деятельности, возникающих за институциональными рамками отдельных проектов. В терминах эффективности это означает, что наряду с финансовой эффективностью необходимо учитывать и количественно измерять экономическую (общественную) эффективность [Михеева и др., 2010, с. 78].

Существует много методик по оценке эффективности инвестиционных проектов, как отечественных, так и зарубежных. Это дает шанс рассмотреть проблему исследования с разных сторон – традиционной специфики и современных тенденций в экономике.

Для дальнейшего понимания определим термины «проект» и «инвестиционный проект».

В экономической интерпретации под *проектом* понимается пакет документов, которые содержат формулировку цели предстоящей деятельности, а также свод действий, направленных на ее достижение. Рассматриваемое понятие связано с движением проекта во времени и предполагает выделение различных стадий его подготовки и реализации [Новикова, 2005, с. 26].

Понятие *инвестиционного проекта* закреплено в ФЗ РФ от 25.02.1999 № 39-ФЗ «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» и определено как «обоснование экономической целесообразности, объема и сроков осуществления капитальных вложений, в том числе необходимая проектно-сметная документация, разработанная в соответствии с законодательством РФ и утвержденными в установленном порядке стандартами (нормами и правилами), а также описание практических действий по осуществлению инвестиций (бизнес-план)» [Федеральный закон..., 1999].

Для того чтобы определить наиболее подходящий метод оценивания инвестиционного проекта или выбора наиболее предпочтительного из нескольких вариантов, следует понимать, насколько предложение распространено в рыночной сфере своего применения, так как наличие подобных реализованных решений предоставляет возможность проведения определенных параллелей на всех этапах реализации новой инициативы и контроля ее исполнения в сравнении с конкретными, фактическими результатами осуществленной деятельности.

Также немаловажным будет контроль над временным и пространственным ограничением проекта (заданными рамками), поскольку для крупномасштабных направлений развития целесообразней будет использовать более сложные методы оценки эффективности инвестиционных проектов, предполагающие больший уровень подвижности влияющих на результат факторов. Не лишним будет учитывать аспекты смены формата или направления осуществления производственной деятельности в связи с существующими в экономике рисками различных видов.

4.1.2. Учетные (статические) методы оценки эффективности (ROI, PP, ARR).

В течение долгого времени данный методический класс использовался для получения наиболее приближенного к действительности решения большого количества инвестиционных задач, однако в настоящее время доминирующей стала методология дисконтированных денежных потоков. В этом классе представлены следующие показатели: период окупаемости (PP); коэффициент эффективности инвестиций (ARR); показатель окупаемости инвестиций (ROI). Они не включают в себя динамический аспект, который влияет на конечную стоимость, и, как следствие, эффективность инвестиционного проекта, но дают возможность обеспечить первоначальную оценку и отказ от наименее стоящих идей вложения средств.

Рассмотрим данные показатели более подробно.

➤ Показатель окупаемости инвестиций

С помощью данного показателя можно провести сравнительный анализ экономичности проекта:

$$RIO = P/IC \quad (4.1)$$

где P – чистая прибыль;

IC – общий объем инвестиционных затрат.

➤ Простой срок окупаемости инвестиций

$$PP = \frac{K_0}{CF_{cr}}, \quad (4.2)$$

где PP – период времени, за который окупается проект;

K_0 – начальные инвестиции;

CF – стоимость, рассчитанная по среднегодовому промежутку чистых денежных поступлений от запуска инвестиционного проекта.

Проект будет рассмотрен, если данный показатель мал.

➤ Коэффициент эффективности инвестиций

Чтобы понять, эффективно ли вложены средства, рассчитывается нижеописанный показатель:

$$ARR = \frac{CF}{K_0}, \quad (4.3)$$

где CF – среднегодовые инвестиционные поступления;

K_0 – начальные инвестиции.

4.1.3. Динамические (дисконтированные) методы оценки эффективности (NPV, NTV, PI, IRR, DPP, BCR, NBI, PRI). Для оценки эффективности инвестиционных проектов с помощью моделей DCF (Discounted Cash Flows) необходимо определить величину ставки дисконтирования (RD) исходя из существующих рисков касательно решаемой инвестиционной задачи. Методологически данные модели включают в себя такие показатели, как индекс прибыльности (profitability index, PI), чистую приведенную стоимость (net present value, NPV), внутреннюю ставку доходности (internal rate of return, IRR) и дисконтированный срок окупаемости (DPP), индекс доходности (BCR), соотношение чистого дохода и инвестиций (NBI), показатель приведенной отдачи вложений (PRI) [Economic..., 2013, с. 21].

Рассмотрим некоторые из них более подробно.

➤ *Чистый дисконтированный доход (NPV)*

Чистый дисконтированный доход – это сумма входящих денежных потоков, отражающая действительную, приведенную стоимостную величину, которая будет получена вследствие осуществления инвестиционного проекта [Nelder, 2015]:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+R)^t} \quad (4.4)$$

Показатель *NPV* должен являться положительной величиной, так как выполнение данного условия гарантирует один из трех благоприятных исходов, подтверждающих целесообразность финансового и в целом ресурсного вложения в планируемый проект. В противном случае инвестиции не обеспечат желаемого результата, и, вероятно, реализация не приведет даже к выходу на уровень безубыточности. Крайняя возможность принять на себя допустимый уровень риска – реализовать инвестиции при нулевом показателе чистой приведенной стоимости, что позволит в долгосрочной перспективе расширить производство товара или услуги и выйти в дальнейшем на положительные результаты экономической деятельности [Nelder, 2015; Новикова, 2005, с. 26–27; Economic..., 2013, с. 12, 21]. Проекты, сравниваемые при помощи данного показателя, должны быть сопоставимы в своих финансовых и временных масштабах.

➤ *Индекс доходности (BCR)*

Данный индекс показывает соотношение выгод и затрат (коэффициент эффективности, индекс прибыльности). Он рассчитывается как соотношение суммарных дисконтированных выгод и суммарных дисконтированных затрат:

$$BCR = \frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C}{(1+r)^t}}. \quad (4.5)$$

Для эффективных проектов (для которых выгоды превышают затраты) должно выполняться условие: $B/C \geq 1$ [Новикова, 2005, с. 36].

➤ *Соотношение чистого дохода и инвестиций (NBI)*

Данный индекс представляет собой отношение чистых выгод (за вычетом эксплуатационных затрат) к инвестициям. Для расчета данного показателя необходимо выделить в составе затрат капитальные (C_t^{kan}) и текущие (C_t^{mek}), и тогда соотношение чистого дохода и инвестиций определяется следующим образом [Новикова, 2005, с. 41]:

$$NBI = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t^{mek}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t^{kan}}{(1+r)^t}}. \quad (4.6)$$

➤ *Индекс прибыльности проекта (PI)*

Индекс прибыльности – это удельная величина, используемая для понимания соотношения вложенных средств к предполагаемым издержкам первых этапов реализации. Его следует использовать в совокупности с оценкой чистой приведенной стоимости для получения максимально адекватных реальному ходу развития проекта данных и всестороннему и гармоничному пониманию планируемых результатов и финансовой отдачи от инвестиций:

$$PI = \frac{PV}{I_0} \text{ или } PI = \sum_t \frac{CF_t}{(1+r)^t} / IC. \quad (4.7)$$

➤ *Показатель приведенной отдачи вложений (PRI)*

Показатель *PRI* представляет собой другую разновидность оценки эффективности инвестиций. Данный метод определяет отношение чистого дисконтированного дохода (*NPV*) к дисконтированным капитальным затратам (C_t^{kan}). В отличие от предыдущего показателя капитальные затраты включаются не только в знаменатель, но и в числитель формулы:

$$PRI = \frac{NPV}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t^{kan}}{(1+r)^t}} \quad (4.8)$$

Путем несложных преобразований, можно показать, что два последних критерия эффективности связаны следующим соотношением [Новикова, 2005, с. 41]:

$$PRI = NBI - 1. \quad (4.9)$$

➤ *Внутренняя норма прибыли инвестиций (IRR)*

Внутренняя норма доходности – также удельная величина, представляющая собой ту процентную ставку, которая обеспечивает достижение нулевого уровня чистой дисконтированной стоимости. Она помогает определить максимально возможный для реализации этого проекта объем затрат [Economic..., 2013, с. 21]:

$$IRR = \frac{NPV}{I} \times 100. \quad (4.10)$$

➤ *Дисконтированный срок окупаемости инвестиций (DPP)*

Дисконтированный срок окупаемости инвестиций позволяет рассчитать эффективность изучаемого проекта с оглядкой на такие риски, как системный риск и риск ликвидности, а также предполагает применение реинвестирования:

$$DPP = \frac{I_0}{\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}. \quad (4.11)$$

4.2. Обзор существующих методик оценки эффективности инвестиционных проектов

В монографии Т.С. Новиковой «Анализ общественной эффективности инвестиционных проектов» все методики проектного анализа подразделяются на две основные группы: отечественные и зарубежные (рис. 4.1). Разработка и применение той или иной методики прежде всего зависит от особенностей конкретных экономических субъектов, осуществляющих и финансирующих инвестиционный проект, а также от окружающей их общей социально-экономической среды (группировка методик проектного анализа в соответствии с различием централизованной, переходной и рыночной экономик была предложена в работе [Анфимова и др., 2004]).

4.2.1. Отечественные методики анализа инвестиционных проектов. В течение длительного периода времени отечественные подходы к проектному анализу развивались в рамках централизованной системы управления в отличие от аналогичных зарубежных исследований, ориентированных на рыночные отношения.

В условиях рыночной экономики не возникает потребности в единой методике, обязательной или даже желательной для применения всеми участниками проектов. Таких методик достаточно много, и они соответствуют многообразию экономических субъектов, их месту на финансовом рынке. Это совсем не означает отсутствия универсальных общепринятых подходов к проектному анализу. Так, теоретические основы оценки инвестиционных проектов частными участниками обычно излагаются в курсах финансового менеджмента (см. например [Бригхем, 1997]), а также в специализированных базовых курсах [Бирман, Шмидт, 1997]. Не только зарубежные, но и отечественные учебники по финансовому менеджменту и проектному анализу традиционно включают разделы, посвященные планированию капитального бюджета и соответствующим подходам к оценке реальных инвестиций.

Практическая деятельность фирм по осуществлению инвестиционных проектов, как правило, сопровождается подготовкой бизнес-планов, которые составляются в соответствии со стандартными методиками. На крупных предприятиях, в организациях, образовательных и научно-исследовательских центрах разрабатываются стандартные для соответствующих институтов рекомендации по проектному анализу. Кроме того, особая группа методов, получившая название анализа затрат и выгод, разработана для оценки инвестиционных проектов в общественном секторе экономики.

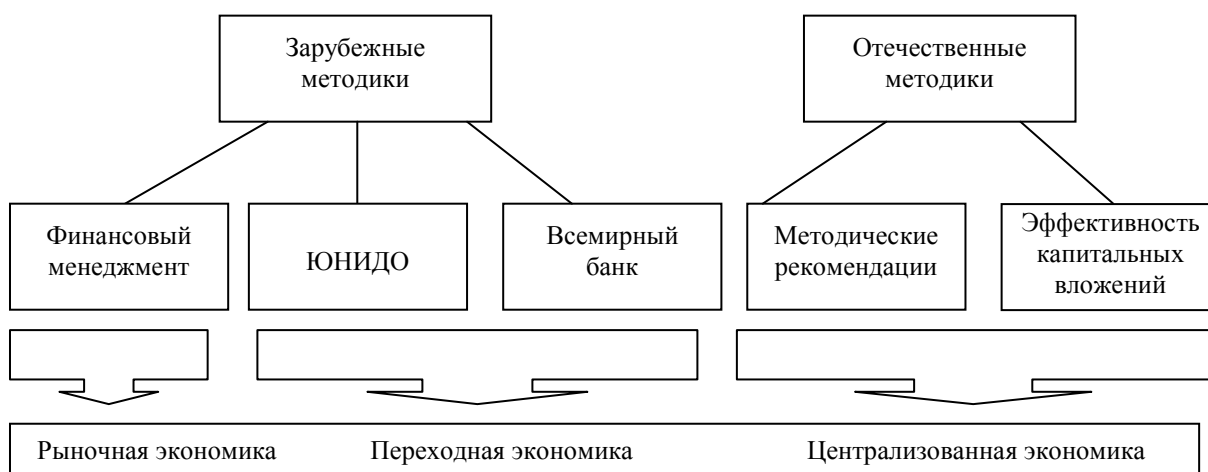


Рис. 4.1. Методики анализа инвестиционных проектов

Источник: [Новикова, 2005]

➤ *Методики определения эффективности капиталовложений*

В условиях централизованной экономики, в частности в экономике России до начала перестройки, использовались единые унифицированные способы принятия и осуществления инвестиционных решений, что предполагало разработку соответствующих методик как для всего народнохозяйственного комплекса, так и для отдельных его составных частей, прежде всего отраслей. Среди них следует выделить типовую методику определения эффективности капитальных вложений 1968 г., впервые открыто и последовательно использовавшую методы приведения разновременных затрат; методики определения экономической эффективности капитальных вложений 1977 г. и 1980 г., широко применявшиеся на практике; методические рекомендации, направленные на ускорение научно-технического прогресса 1989 г., наиболее глубоко проработанные с теоретической и методической точек зрения, но не реализованные на практике [Мартенс, 1997].

Главное внимание в экономической литературе того периода было сосредоточено на построении единого обобщающего народнохозяйственного показателя эффективности общественного производства исходя из достижения максимально возможного роста народного благосостояния при наиболее рациональном использовании всех производственных ресурсов. В качестве важного методического приема использовалось единое рассмотрение текущих затрат и капитальных вложений. Их взаимосвязь обосновывалась тем свойством, что рост капитальных вложений создает возможность ускорения научно-технического прогресса, использования более совершенных производственных процессов и снижения текущих затрат, и наоборот.

В плановых расчетах широко применялся показатель приведенных затрат, который рассчитывался путем суммирования, соответственно, соизмерения текущих затрат и объема капитальных вложений, умноженного на нормативный коэффициент эффективности. Данный коэффициент рассматривался как предельная, максимально допустимая величина уменьшения текущих издержек при увеличении на единицу ограниченного ресурса капитальных вложений. По существу расчет приведенных затрат представляет собой учет временной стоимости денег при использовании ряда упрощающих предположений.

В рассматриваемых методиках рекомендовалось принимать инвестиционные решения на основе определения абсолютной и сравнительной эффективности капитальных вложений, которые рассчитывались с помощью показателей приведенных затрат для отдельных и сопоставляемых проектов, соответственно. Сильную сторону этих рекомендаций составляли также технический и частично народнохозяйственный (по зарубежной терминологии: экономический) аспекты проектного анализа, однако практически отсутствовали маркетинговый, а также в значительной мере и финансовый анализ (прежде всего, определение децентрализованных источников финансирования и финансовой жизнеспособности предприятий).

➤ *Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов*

В условиях перехода к рынку были разработаны новые отечественные методики проектного анализа. Они разрабатывались в рамках отдельных отраслевых организаций и ведомств. В 1994 г. была утверждена первая универсальная методика, написанная коллективом ведущих российских специалистов по оценке капитальных вложений – «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования» [Методические рекомендации..., 1994]. Данная методика получила статус официального документа при оценке проектов с участием государства в качестве инвестора. В значительной мере она представляла собой результат

восприятия зарубежного опыта, накопленного в области проектного анализа. Кроме того, в ней предпринимались первые попытки адаптировать сложившиеся в мировой практике подходы к проектному анализу для условий российской экономики в период перехода к рынку.

Один из разделов «Методических рекомендаций...» был посвящен особенностям оценки эффективности с учетом факторов риска, в качестве отдельного направления анализа был выделен учет инфляции. Наряду с такими общепринятыми видами эффективности, как коммерческая (по зарубежной терминологии – финансовая) и общественная (соответственно, экономическая), было предложено отдельно определять бюджетную эффективность, характеризующую проект с точки зрения чистых поступлений в бюджет.

В 2000 г. в основном тем же авторским коллективом был подготовлен новый вариант методики, существенно переработанный и дополненный [*Методические рекомендации...*, 2000]. Количество страниц в «Методических рекомендациях...» возросло более чем в семь раз, основной текст дополнен обширными приложениями и расчетными таблицами [*Новикова, 2005, с. 9*]. На новом качественном уровне:

- сформулированы теоретические положения;
- введено и детально проработано различие эффективности проекта и участие в проекте;
- сформулировано различие денежных потоков, в частности связанных с инвестиционной, операционной и финансовой деятельностью;
- учтены особенности налогообложения в России;
- заметно расширено представление общественной эффективности проекта (в частности, введено его новое обозначение в отличие от экономической в предыдущем варианте методики);
- доработаны разделы, посвященные учету инфляции, неопределенности и риска.

4.2.2. Методики проектного анализа, разработанные международными финансовыми организациями. В рамках наиболее крупных международных организаций разработаны методики проектного анализа, соответствующие специфическим целям и задачам содействия экономическому росту мировой экономической системы. К их числу относится Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), использующая достаточно широкий подход к проектному анализу с более подробным обсуждением проблематики развивающихся стран; Европейский банк реконструкции и развития, концентрирующий внимание на специфических особенностях оценки проектов банками развития в области малого бизнеса. Наибольшую известность и признание получили подходы к анализу инвестиционных проектов, разработанные Всемирным банком и ЮНИДО.

Рассмотрим некоторые методики более подробно.

➤ *Методика ЮНИДО*

Организация ООН по промышленному развитию (ЮНИДО) представляет собой довольно молодой институт, созданный как автономный орган Генеральной Ассамблеи ООН в 1966 г. и получивший статус специализированного учреждения системы ООН в 1986 г. Ее целью является содействие промышленному развитию и ускоренной индустриализации развивающихся стран путем мобилизации национальных и международных ресурсов. В рамках ЮНИДО разработана методика проектного анализа «Руководство по оценке эффективности инвестиций». Наибольшее распространение в России получил вариант методики ЮНИДО 1978 г. издания, затем он был существенно переработан и дополнен. В настоящее время в качестве базового используется вариант 1991 г.

Этот выбор объясняется тем, что, во-первых, методика построена на основе обобщения опыта ранее действовавших международных организаций, прежде всего Всемирного банка (об этом свидетельствует один из первых документов 1972 г., излагающих подход ЮНИДО [Guidelines..., 1972]); во-вторых, анализируемые ЮНИДО проекты относятся главным образом к сфере промышленного развития, т.е. области с достаточно высокими показателями финансовой (а не экономической) эффективности и, соответственно, в большей степени приближенной к обычным инвестиционным проектам, финансируемым коммерческими банками и другими аналогичными частными финансовыми институтами, а не банками развития; в-третьих, методика ориентирована на предельное упрощение излагаемых проблем, доведение их возможного решения до уровня рекомендаций, рецептов действий в определенных ситуациях.

Достоинством данной методики является представление материала. В основной (второй) части Руководства описаны составные части стандартного доклада по технико-экономическому обоснованию проекта. Разработчикам предлагается последовательно заполнить серию таблиц, образцы которых рассматриваются на едином сквозном примере. В результате пользователи получают легко воспроизводимый и доступный инструмент экономического анализа. Методика сопровождается программным обеспечением КОМФАР (компьютерная модель для технико-экономического анализа и составления отчетов).

➤ *Подход Всемирного банка*

Методические подходы к анализу инвестиционных проектов, разработанные Всемирным банком, характеризуются широкими возможностями применения в странах с переходной экономикой. Это крупнейшая международная организация, специализировавшаяся в течение всего послевоенного периода на финансировании инвестиционных проектов, главным образом в развивающихся странах и накопившая уникальный и обширный опыт в области проектного анализа. Цель этой организации заключается в содействии долговременному экономическому развитию этих стран, а основным средством достижения этой цели служит предоставление займов, необходимых для осуществления инвестиций.

Термин «подход» используется в данном разделе неслучайно. Для Всемирного банка характерно применение достаточно гибких и универсальных инструментов исследования, изучение всего комплекса аспектов анализа. Методики же как таковой, представленной единым опубликованным документом и используемой Всемирным банком, не существует. В качестве ее аналога может служить совокупность оперативных директив банка, каждая из которых посвящена конкретной проблеме или определенному аспекту анализа.

4.3. Особенности оценки эффективности инновационных проектов

4.3.1. Инновационные проекты: проблемы оценки. В современной теории финансов традиционные подходы к оценке эффективности инновационных проектов зачастую демонстрируют свою ограниченность, поскольку в большинстве своем предназначены для компаний, функционирующих в стабильных сферах бизнеса. А для инновационных проектов характерны отсутствие прибыльности на первых этапах их реализации и большой риск, связанный с высокой неопределенностью оценки генерируемых ими прогнозируемых денежных потоков, поэтому стандартные методы не позволяют комплексно оценить целесообразность инвестиций и количественно определить достоверность динамики прогнозируемых показателей, особенно в высокотехнологичных отраслях.

Сложности оценки экономической эффективности инновационных проектов связаны с их спецификой.

Во-первых, такие проекты отличаются повышенной степенью неопределенности будущего. Результат инвестиций в инновации зачастую просто невозможно предсказать. В условиях значительной неопределенности с самого начала реализации намеченной стратегии бизнес начинает получать информацию извне, которая была недоступна на стадии планирования (реакция конкурентов, поведение потребителей, непредвиденные геополитические и макроэкономические изменения и т.д.). Первые шаги по реализации плана могут обнаружить просчеты, допущенные на стадии стратегического планирования, или возможные новые пути для дальнейшего развития.

Во-вторых, отсутствуют исторические данные по сопоставимым, аналогичным проектам – нет необходимой статистики для построения прогноза вследствие инновационного характера анализируемого инвестиционного проекта. Пример – разработка и запуск компанией Amazon проекта по использованию воздушных дронов для быстрой доставки товаров (услуга Amazon Prime Air): в ситуации, когда ранее подобных проектов не существовало, построение достоверного ряда денежных потоков становится весьма трудной задачей.

В-третьих, необходимы большие первоначальные вложения при длительном сроке окупаемости. Эти проекты зачастую включают несколько стадий, не характерных для обычных инвестиционных проектов: научные исследования и разработки, опытные испытания, изучение полученных характеристик, маркетинговое исследование полученного продукта, патентование и др. Все это требует дополнительных вложений. Наглядным примером является фармацевтическая промышленность. Вывод на рынок новых лекарств сопровождается огромным объемом работ: это и лабораторные исследования новых химических соединений, и доклинические и клинические испытания, регистрация нового продукта, строительство отдельного цеха или завода [Ярыгин, 2016].

В-четвертых, оценка стратегического эффекта от проекта чрезвычайно сложна. Осуществление первоначальных инвестиций, например, в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) – необходимое условие для дальнейшей реализации проекта, или эти первоначальные инвестиции являются звеном в цепи взаимосвязанных проектов, открывающих возможности для будущего роста (новое поколение товаров или технологий, выход на новые рынки и пр.).

4.3.2. Метод NPV и его ограничения при оценке эффективности инновационных проектов. На данный момент на российских предприятиях наиболее широко распространены традиционные методы проектного анализа, в частности метод дисконтированных денежных потоков, или NPV (от англ. net present value – «чистая приведенная стоимость»). Считается, что впервые он был сформулирован американским экономистом И. Фишером, который внес значительный вклад в теорию денег («уравнение Фишера» и «уравнение обмена»). В книге «The Theory of Interest» (1930 г.) метод дисконтирования был впервые определен формально [Fisher, 1930], но всеобщее признание он получил только через 50 лет.

Однако в сфере оценки инновационных проектов использование стандартного метода дисконтированных денежных потоков вызывает сомнения. На наш взгляд, его ключевая проблема состоит в следующем: компания-инвестор выступает в качестве пассивного участника инвестиционного процесса, при этом игнорируется управленческая гибкость. Логика метода дисконтированных денежных потоков заключается в том, что во время оценки инвестиционного проекта, которая обычно происходит до начала работ, строится прогноз наиболее вероятного течения событий. Исходя из этого прогноза рассчитывается итоговое значение NPV, и принимается решение об эконо-

мической эффективности проекта. Данный подход не предусматривает изменение действий финансовых менеджеров в зависимости от промежуточных результатов.

Оценка методом *NPV* дает адекватные результаты в случае стандартных проектов: к примеру при открытии очередного салона магазина одежды или при строительстве типового цеха на заводе, о чем свидетельствует большой накопленный опыт. Решение инвестировать средства в проект, принятое на основе метода *NPV*, будет адекватным только в том случае, если первоначальный прогноз будущего окажется полностью корректным.

Однако если речь идет об инвестициях в инновации, то неопределенность будущего настолько высока, что, скорее всего, произойдет что-то, что существенно повлияет на ход развития проекта (изменения в законодательстве, непредвиденные действия конкурентов, разработка новой технологии, неожиданные результаты экспериментов) и может заставить изменить первоначальное решение и стратегию инвесторов и компании-инициатора проекта [Ярыгин, 2016]. На основе новой рыночной информации собственники или менеджмент проекта могут принять решение о полной его остановке, приостановке, ускоренном развитии проекта или же о его повороте в новом направлении.

Метод дисконтированных денежных потоков не в состоянии учесть и возможности компаний реагировать на изменяющиеся условия внешней среды, а также количественно оценить управленческую гибкость. Таким образом, метод *NPV* может недооценивать стоимость инновационных проектов.

Одна из причин этого – метод *NPV* был заимствован у фондового рынка, на котором инвесторы являются пассивными участниками инвестиционного процесса. Позиция инвестора является главным отличием оценки реальных активов от финансовых активов. В отличие от владельца акций, финансовый менеджер корпорации играет активную роль в генерировании денежных потоков. Он способен действительно влиять на получение чистого дисконтированного дохода по проекту (например, может отложить инвестиционные затраты, в ряде случаев – продать активы по ликвидационной стоимости). При отклонении денежных потоков от прогнозируемых значений у него есть рычаги воздействия, чтобы вернуться к изначальным оценкам проекта. Иначе говоря, финансовый менеджер сам может создавать опционы – предпринимать шаги для нивелирования потерь по проекту или реализовывать новые возможности, открываемые принятием данного инвестиционного проекта [Теплова, 2000, с. 407].

Если оценивать инновационные проекты методом *NPV*, то большинство из них следовало бы отвергнуть, поскольку значение *NPV* в них чаще всего отрицательное из-за высоких первоначальных затрат и такого же уровня риска. Чем выше степень неопределенности инвестиционного проекта, тем больше риск невозврата вложенного капитала, а значит, тем выше требуемый уровень доходности, что выражается в увеличении ставки дисконтирования. В период экономических кризисов, когда стоимость денег резко возрастает, капитальные вложения даже в «надежную» деятельность значительно сокращаются либо прекращаются вовсе, бюджеты секвестрируют, работы приостанавливают. В такой ситуации проекты вряд ли получают одобрение от инвестиционных комитетов из-за стремительно выросшей ставки временной стоимости денег. В результате компании могут упускать привлекательные стратегические возможности (к примеру опережение конкурентов за счет пионерного внедрения новой технологии [Ярыгин, 2016]). Поэтому для оценки высокорисковых проектов финансовым менеджерам необходим более адекватный для этого инструментарий.

Несмотря на свою сегодняшнюю огромную популярность и широкое распространение некоторые всемирно известные специалисты в области оценки реальных активов уже предостерегают «близкую кончину» метода *NPV* в его современном виде.

По словам профессора Т. Копеланда, метод реальных опционов – это техника финансового анализа, которая полностью вытеснит метод чистой приведенной стоимости в течение следующих десяти лет, так как метод чистой приведенной стоимости имеет недостатки, проявляющиеся при оценке инвестиционных проектов: «Типичные недостатки можно увидеть при анализе инвестиционного проекта сроком на 10 лет. Допустим, имеются прогнозы ожидаемого роста доходов и ожидаемых затрат. Они позволяют определить объемы чистых денежных потоков за вычетом текущих активов и капитальных затрат. Затем вы дисконтируете чистые денежные потоки по средневзвешенной стоимости капитала и вычитаете сумму первоначальных инвестиционных затрат. Если полученное значение будет больше нуля, то проект имеет положительную чистую приведенную стоимость, и вы можете принять его. Однако проблема заключается в том, что менеджеры, принимающие такие решения, знают, что при этом приходится полагаться на допущения, которые могут быть очень жесткими и даже неверными. Например, если вы принимаете участие в проекте, который реализуется с трудом, то он может 10 лет и не просуществовать, его или свернут, или значительно урежут. Если же проект окажется успешным, то его либо продлят, либо расширят. И, наконец, никто не говорит, что первоначальные инвестиции нужно делать сразу. Их иногда требуется делать через год, а то и через два. В этом случае уже возникает проблема отложенного выбора. Любой финансовый менеджер знает, что для каждого проекта всегда существует вероятность его свертывания, расширения или задержки. Все опытные менеджеры когда-либо оказывались в ситуациях, при которых им приходилось рассчитывать чистую приведенную стоимость, а затем отказываться от этих данных, так как их интуиция говорила им, что *гибкий подход* позволит увеличить стоимость проекта. Если смотреть на данный вопрос в таком ракурсе, то вы поймете всю ограниченность метода чистой приведенной стоимости» [Copeland, Keenan, 1998].

4.3.3. Метод реальных опционов: перспективы использования. Метод реальных опционов представляет собой инструмент уменьшения неопределенности инновационного проекта посредством создания опционов [Музыка, 2011]. При отсутствии неопределенности опционы теряют ценность.

Важное условие, определяющее стоимость опциона, – это рациональность менеджмента. Реальные опционы имеют стратегическую ценность в случаях, когда проект осуществляется в условиях неопределенности, которая непосредственно влияет на стоимость проекта; менеджмент проекта обладает управленческой гибкостью в принятии решений; стратегии менеджмента являются реальными и осуществимыми; менеджмент рационален в осуществлении стратегий [Brach, 2003]. Невыполнение хотя бы одного из этих условий приводит к обесцениванию реального опциона.

Реальные опционы позволяют оценить стоимость гибкости управления при принятии решений в ответ на неожиданные рыночные изменения. Это – самый современный подход к оценке и управлению стратегическими инвестициями. Особенно он полезен при оценке стоимости нематериальных активов, которые находятся в процессе разработки и коммерческую жизнеспособность которых доказать невозможно. При условии применения метода реальных опционов в качестве концептуального инструмента этот метод позволяет руководству определить и донести до всех заинтересованных сторон стратегическую ценность инвестиционного проекта [Рош... (эл. ист. инф.)].

Примеры использования метода реальных опционов в качестве инструмента оценки инвестиционных проектов на практике – слияние компаний Time Warner и AOL с целью расширения дистрибутивной сети за счет онлайн-среды; решение портала Yahoo! об освоении бизнеса интернет-аукционов; покупка eBay таких компаний, как

Half.com и Butterfield & Butterfield. Для каждой из данных компаний это был стратегический шаг с целью обеспечения прироста стоимости.

Еще один пример применения метода реальных опционов на практике – проект компании PwC под названием «Инструментарий оценки высоких технологий». Он представляет собой практическое применение теории реальных опционов в сфере оценки высокотехнологичных компаний на ранних этапах развития. PwC делит свой инструментарий на три части. К первой относится анализ рынка, который включает внедрение технологии и ее жизненный цикл, определение и сегментацию рынка, модели динамики конкурентного рынка, модели принятия клиентами решений о покупках, а также анализ сценариев. Далее эксперты PwC предлагают клиентам специализированную финансовую модель продукта, включая весьма детализированную модель денежных потоков, которая, в-третьих, предусматривает оценку гибкости (реальные опционы) с учетом результатов анализа рынка. «Жизненный цикл технологии состоит из четырех стадий: научных исследований, изобретения, инноваций, распространения и наивысшего развития. Каждая из них чрезвычайно важна. Каждую стадию можно рассматривать как реальный опцион на покупку следующей стадии либо как предложение опциона на отказ от следующей стадии разработки и полное или частичное возмещение затрат за счет получения ликвидационной стоимости активов в том случае, если перспективы продукта оказываются неутешительными». Инструментарий компании PwC призван помочь высокотехнологичным компаниям в определении их стоимости [Рош (эл. ист. инф.)].

Теория реальных опционов подтверждает тот известный из практики факт, что нередко инвесторы не отказываются от проектов с отрицательным значением чистой приведенной стоимости (NPV) в надежде, что ситуация изменится к лучшему, и можно будет использовать заложенный в проекте реальный опцион, получая в итоге положительную NPV . Несмотря на кажущееся противостояние двух методов – чистой приведенной стоимости и реальных опционов, данные подходы не являются изолированными друг от друга. Напротив, практическое применение теории реальных опционов основано на традиционных инструментах дисконтирования денежных потоков: для того чтобы определить так называемую «полную» стоимость инвестиционного проекта, необходимо к найденному значению NPV прибавить стоимость реального опциона, заложенного в этом проекте.

Авторы настоящей монографии применили на практике метод реальных опционов для целей оценки эффективности инновационного проекта с точки зрения венчурного фонда в фармацевтической и нефтехимической промышленности России (см. гл. 7–8). Нами была разработана модификация метода реальных опционов в плане его приложения к венчурному финансированию инновационных проектов [Баранов, Музыко, 2013]. Использовалась модифицированная модель Геске [Hsu, 2002] для оценки стоимости двухстадийного составного опциона колл с зависящей от времени волатильностью. Была предложена новая содержательная интерпретация составного опциона «колл» применительно к вложениям венчурного инвестора, позволяющая учесть то обстоятельство, что венчурный фонд имеет свои финансовые потоки, отличные от финансовых потоков проекта в целом.

Проведенные нами расчеты чистой приведенной стоимости (NPV) венчурного фонда, полученной двумя разными способами – на основе стандартного метода дисконтированных денежных потоков и с учетом стоимости составного опциона колл, показали, что в большинстве случаев, согласно стандартному расчету, внутренняя норма доходности (IRR) венчурного фонда меньше ставки дисконтирования, чистый приведенный доход венчурного фонда отрицателен. В соответствии со стандартным методом NPV проект должен быть отвергнут как неэффективный. Но если в стоимости иннова-

.....

ционного проекта учесть стоимость реального опциона, проект во многих случаях будет иметь положительную стоимость и получит финансирование. Стоимость составного опциона «колл» увеличивает ценность проекта за счет учета факта его поэтапной реализации и, например, гибкого принятия управленческих решений, возможности прекратить финансирование при определенных условиях.

В последние годы в России ведутся активные дискуссии относительно возможностей применения метода реальных опционов, а также обсуждается экономическое содержание данного понятия. Все это свидетельствует о значительном интересе российских специалистов в области финансового менеджмента к новой концепции, новому методу оценки эффективности инновационных проектов (см., например [Гусев, 2009]). Концепцию реальных опционов начали применять в практической деятельности инвестиционные компании (например ООО «Лаборатория инвестиций “ЛАБРЕЙТ”»). Дальнейшее развитие системы знаний в новой научной области, в том числе формирование понятийного аппарата концепции реальных опционов и его последующее расширение, является важной и перспективной задачей как за рубежом, так и в России.

Однако хотя концепция реальных опционов позволяет решать задачи, с которыми часто не справляются обычные методы, не следует считать ее панацеей и единственно возможной заменой всех остальных подходов. Практика показывает, что целесообразно применять концепцию реальных опционов там, где остальные подходы до сих пор терпели неудачу, и следовать традиционным методам, если приемлемые результаты могут быть получены на их основе. Традиционные методы могут быть дополнены методом реальных опционов для повышения точности и качества оценки реальных активов [Баранов, Музыко, 2016].

4.4. Методы оценки инновационных проектов венчурными фондами

4.4.1. Общая характеристика основных методов оценки венчурных проектов.

В индустрии венчурных инвестиций процедура оценки имеет разный акцент в зависимости от стадии проекта. Для поздних стадий – расширения и мезонинной фазы – особый вес имеет текущее финансовое положение компании. Для крупных российских фондов *private equity*, ориентированных на поздние стадии, обороты и прибыльность компании-кандидата на инвестиции являются важнейшим параметром принятия решения. Оценка компаний ранних стадий, претендующих на венчурные инвестиции, опирается на прогнозные значения денежных потоков в среднесрочном периоде и ожидаемую «терминальную» стоимость на выходе.

Несмотря на различия в зависимости от стадий развития в индустрии венчурных инвестиций был выработан ряд подходов, модификации которых пригодны к проектам любых стадий. Эти методы отличаются от традиционных подходов, поскольку у компаний-реципиентов отсутствуют рыночные котировки акций или долей, что делает стандартную теорию (например, CAPM) малоприменимой.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили следующие четыре метода оценки венчурных проектов (табл. 4.1): договорный метод, метод сопоставимых оценок, метод дисконтированного денежного потока, венчурный метод.

В России чаще всего используются наиболее простые из них – договорный метод и метод дисконтированного денежного потока. Тем не менее в силу того, что управленцы многих венчурных и *private equity* фондов – иностранцы или люди, учившиеся за рубежом, то высока вероятность, что проект будет оценен любым из этих методов, активно используемых в мировой практике. Во всех вышеперечисленных методах следует различать оценку компании *pre-money* (до получения инвестиций) и *post-money* (после получения инвестиций).

Таблица 4.1

Методы оценки венчурных проектов

Метод	Описание
Договорный метод	Стоимость компании определяется на базе субъективных мнений ее основателей и инвестора
Метод сопоставимых оценок	Используются коэффициенты отношения стоимости к операционным показателям для компаний, аналогичных оцениваемой, по отрасли, уровню риска, размерам, темпам роста
Метод дисконтируемого денежного потока (DCF)	Будущие чистые денежные потоки за прогнозный период (5–10 лет) дисконтируются по формуле сложных процентов. Используется коэффициент дисконтирования, равный средневзвешенной стоимости капитала для компании. Дисконтированная стоимость на «выходе» («терминальная») также учитывается в качестве слагаемого
Венчурный метод	Прогнозируется продажная стоимость компании на «выходе». Данная стоимость дисконтируется по специальной («венчурной») ставке 40–75% годовых для определения текущей стоимости

Источник: [Каширин, Семенов, 2007, с. 249].

Очень хорошим признаком является примерное совпадение оценок компаний по нескольким методам (расхождение менее 20%). В основе данных методов лежат прогнозные значения параметров развития компании со стороны инвестора или ее основателей. Примерное совпадение значений стоимости компании, определенных различными методами, говорит о том, что прогнозные значения хорошо согласованы друг с другом и основаны на реалистичном представлении о состоянии и развитии компании.

Как правило, в течение временного промежутка, когда фонд «держит» акции проинвестированной компании, ее стоимость возрастает во много раз и имущество венчурного фонда требует достаточно частой переоценки. Чаще всего венчурные инвесторы меняют стоимость проинвестированных компаний непосредственно после наступления моментов роста ее цены – окончания НИОКР, изготовление опытного образца, запуска производства, завершения запланированных этапов.

Иногда инвестиционный комитет крупного венчурного фонда вводит процедуру формальной оценки портфеля фонда на регулярной основе, например раз в квартал. По ее результатам актив компании признается благополучным или же подлежит списанию. Если компания в течение 1–2 лет не добивается ожидаемых результатов, или на нее проблематично найти покупателя на «выходе» по цене, устраивающей фонд, происходит формальное списание цены акций на четверть, половину или даже до 0. Это не означает, что компанию вообще не удастся продать через несколько лет – полное списание самого проекта происходит лишь после фактического разорения предприятия [Рамзаев... (эл. ист. инф.)].

4.4.2. Методы оценки проектов в индустрии венчурных инвестиций. Рассмотрим более подробно отмеченные выше и другие методы, используемые при оценке венчурных проектов.

➤ *Договорный метод*

Данный метод является самым простым из используемых при оценке венчурных проектов. Он основан на достижении консенсуса между основателями компании и инвесторами относительно стоимости проекта в ходе переговорного процесса без привлечения какого-либо стандартного расчетного или математического метода. Российская практика показывает, что для оценки венчурных проектов стадии seed и start-up, когда говорить об оборотах и прибыли преждевременно, данный метод является наиболее распространенным. Это объясняется тем, что при высоких рисках многие инве-

.....

сторы имеют свои собственные критерии качества проектов и часто руководствуются интуицией. При оценке компании договорным методом решающее значение имеют психологические факторы, взаимные симпатии сторон, желание/нежелание совершить сделку.

Иногда процесс определения *pre-money* стоимости основан на оценке имеющихся у компании активов, например, интеллектуальной собственности или производственного оборудования.

➤ *Метод сопоставимых оценок*

Метод базируется на вычислении стоимости компании на основе текущих или прогнозных значений ее операционных показателей с использованием коэффициентов отношения стоимости к тем же показателям, посчитанным на основании данных по рынку. Подобные коэффициенты называются множителями или рыночными мультипликаторами.

Оценка компании исходя из ее текущих показателей – это *pre-money* оценка, тогда как оценка на основе прогнозируемых значений с учетом полученных инвестиций – это оценка *post-money*.

Простейшей и, тем не менее, очень широко используемой версией метода сопоставимых оценок является использование стандартных множителей для венчурных проектов, не зависящих от их специфики. Венчурные инвесторы применяют следующие формулы:

$$Value = \frac{Turnover}{2} \quad (4.12)$$

$$Value = Earnings \times 5 \quad (4.13)$$

где *Value* – стоимость компании;

Turnover – оборот компании;

Earnings – показатель прибыльности (например EBIT или EBITDA).

В рамках этого подхода ½ и 5 предполагаются ничем иным, как рыночными мультипликаторами, взятыми по всем компаниям, ожидающим венчурных инвестиций.

Если в качестве значений «Turnover» и «Earnings» берутся текущие показатели, то это *pre-money* оценка. Если же берутся прогнозные значения через несколько лет с учетом полученных инвестиций, то это *post-money* оценка. В случае ранних стадий развития (seed, start-up) в качестве значений оборота и прибыли имеет смысл брать только прогнозные значения через несколько лет. Как правило, подобным образом инвестор оценивает лишь порядок величины стоимости компании и на его основании принимает решение о том, стоит ли оценивать компанию дальше при помощи более трудоемких и более точных методов.

Значительно более обоснованной и объективной версией подхода с использованием множителей является выбор рыночного мультипликатора посредством анализа компаний, аналогичных оцениваемой по отрасли, по размерам, по темпам роста, по уровню рисков. Данный метод оценки состоит из следующей последовательности операций.

1. Выбирается группа компаний, на основании данных которых будет рассчитываться оценочный коэффициент.
2. Выбирается базовый операционный параметр.
3. Вычисляются отношения стоимости к базовому параметру для каждой компании из группы (предполагается, что значение базового параметра и стоимости компании известны для каждого члена группы).
4. Оценочный множитель получается с использованием усреднения полученных отношений (возможно, с весовыми коэффициентами).

Основную сложность метода представляет поиск необходимых данных. Данная задача проще для зрелых компаний, имеющих устойчивую прибыльность, поскольку акции компаний-аналогов могут торговаться на фондовом рынке и информация по их операционным параметрам и капитализации является общедоступной. Для неторгуемых компаний ранних стадий поиск аналогов весьма сложен. Опытные венчурные инвесторы и фонды поздних стадий часто используют данные из своей практики или из практики коллег.

Для российских компаний стадий early stage и expansion РАВИ предлагает следующий вариант метода сопоставимых оценок:

$$Value_{pre-money} = K \times Sales, \quad (4.14)$$

где $Sales$ – текущий объем продаж компании;

K – коэффициент рыночной оценки, основанный на данных по российской отрасли private equity за ряд лет [Каширин, Семенов, 2007, с. 251].

Метод сопоставимых оценок получил широкое распространение в силу своей понятности и относительной простоты. Его основными «узкими местами» являются:

- недоступность и неполнота информации по сопоставимым компаниям (особенно непубличным);
- широкий разброс коэффициентов для сопоставимых компаний;
- необходимость поправки стоимости, рассчитанной с использованием данных о торгуемых на бирже компаниях, на более высокие, «венчурные», риски.

Это приводит к тому, что в случае возникновения спора каждая сторона может найти массив информации, который будет невыгодным для другой стороны и подтвердит, что цена компании – либо выше, либо ниже приведенной оценки. А потому результат данного метода обычно также не выступает в качестве окончательного и используется скорее как весомый аргумент в пользу той или иной оценки, полученной другим методом [Каширин, Семенов, 2007, с. 256].

► Метод дисконтированного денежного потока

Отличительная черта данного метода – максимально полное использование прогноза денежных потоков компании. Дисконтированный денежный поток (discounted cash flow, DCF) представляет собой сумму значений денежного потока за прогнозный период, продисконтированных по формуле сложных процентов. В качестве коэффициента используется средневзвешенная стоимость акционерного капитала r_E на рынке (соответствующая ожидаемому возврату на инвестиции) с поправкой π на дополнительные «венчурные» риски, присущие конкретному проекту. Помимо этого, в выражение DCF входит и конечная («терминальная») стоимость компании на конец прогнозного периода, также дисконтируемая к начальному периоду. Данный дисконтированный поток представляет собой *pre-money* оценку компании. Для получения *post-money* оценки проекта необходимо к денежному потоку проекта прибавить приведенное значение потока инвестиций:

$$DCF_{pre-money} = CF_1 + \frac{CF_2}{(1+r_E+\pi)} + \frac{CF_3}{(1+r_E+\pi)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r_E+\pi)^{n-1}} + \frac{CF_{n+1}}{(1+r_E+\pi)^n}, \quad (4.15)$$

где CF_i – денежный поток компании в год $i \leq n$, равный показателю прибыль/убытки «Earnings» (например, прибыли до выплаты процентов и налогов, EBIT).

$$DCF_{post-money} = CF_1 + I_1 + \frac{CF_2 + I_2}{(1+r_E+\pi)} + \frac{CF_3 + I_3}{(1+r_E+\pi)^2} + \dots + \frac{CF_n + I_n}{(1+r_E+\pi)^{n-1}} + \frac{CF_{n+1}}{(1+r_E+\pi)^n}, \quad (4.16)$$

где I_i – инвестиции в проект в год i .

Премия за «венчурный» риск π является дополнительным инструментом, с помощью которого инвестор может «заложить» в проект большую доходность, компенсирующую повышенную рисковость вложений.

Безусловным преимуществом метода DCF является его теоретическая обоснованность и наличие четкой процедуры оценки. Впрочем, для непубличных компаний (в том числе для компаний, получающих венчурные инвестиции) он осложняется следующими особенностями [Каширин, Семенов, 2007, с. 262]:

- реальные значения денежных потоков могут сильно отличаться от прогнозных;
- возможна несогласованность в значениях денежного потока между собой, так как нахождение «терминальной» стоимости может осуществляться исходя из данных по рынку, при том, что операционный денежный поток прогнозируется менеджментом проекта на основании внутренних данных (например объем заказов);
- данному методу присуща некоторая степень субъективности, поскольку прогноз денежных потоков и «терминальной» стоимости компании делается на основании внешних относительно модели предположений.

➤ Венчурный метод

Этот метод является адаптацией метода DCF к случаю стартапа и учитывает то, что основные объекты венчурного инвестирования – компании ранних стадий.

Определение стоимости компании венчурным методом состоит из следующих шагов:

- прогнозируется «терминальная» стоимость компании на «выходе»;
- терминальная стоимость дисконтируется по специальной «венчурной» ставке (до 75%), учитывающей высокую степень риска π .

Полученная стоимость является стоимостью *post-money*. Стоимость же *pre-money* определяют простым вычитанием из нее величины инвестиций. Таким образом, имеет место соотношение:

$$Value_{post-money}^{venture} = \frac{Exit\ Value}{(1 + r_{venture})^{T-1}} \quad (4.17)$$

где *Exit Value* – стоимость компании на «выходе»;

$r_{venture}$ – «венчурный» дисконт, равный $r_E + \pi$, где π имеет порядок 30–40%;

T – период до «выхода».

Венчурный метод особенно хорошо подходит, когда понятно, кому, когда и каким образом будет продана доля инвестора в проекте, и сколько можно будет заработать на «выходе». Такой вариант венчурные инвесторы считают самым оптимальным из возможных. Венчурный метод не учитывает промежуточные дивиденды в случае их наличия.

В случае применения данного метода главным предметом спора выступает «венчурный» дисконт и премия за риск π . При обсуждении «венчурного» дисконта инвестор может напомнить, что в нем должны быть учтены не только возврат и риск, но и стоимость тех услуг, которые он предоставляет компании – опыт, связи, репутация, а также вероятность «разводнения». Это служит дополнительным аргументом для повышения π .

Преимущество «венчурного» метода – это легкость и традиционное использование многими венчурными инвесторами. «Узкими местами» метода являются следующие обстоятельства [Каширин, Семенов, 2007, с. 277]:

- в выборе коэффициента дисконтирования возможен значительный произвол;

- не учитывается финансирование в несколько раундов и возможность досрочного прекращения инвестиций в случае неудачи;
- не учитываются промежуточные дивиденды.

В практике оценки инвестиционных проектов венчурные фонды также могут использовать так называемый традиционный метод и метод «Ферст Чикаго».

➤ *Традиционный метод.* Согласно данному методу оценка рыночной стоимости проинвестированной компании $F(T)$ вычисляется по следующей формуле:

$$F(T) = a(T) \cdot SAL(T) \cdot (P / E), \quad (4.18)$$

где $a(T)$ – ожидаемая прибыльность продаж (по чистой прибыли) проинвестированной компании в предполагаемом году «выхода» фонда из бизнеса;

$SAL(T)$ – величина продаж в предполагаемом году «выхода» фонда из бизнеса;

P/E – ожидаемая величина отношения цены акции к получаемому по ней доходу (на практике венчурные фонды часто рассматривают значения $P/E=3, 4, 5$, т.е. доходность по акциям на уровне 33,3%, 25%, 20% годовых).

Приведенная к текущему моменту времени оценка рыночной стоимости проинвестированной компании F^* :

$$F^* = \frac{F(T)}{(1+r)^T}, \quad (4.19)$$

где r – ставка дисконтирования.

Величина продаж в предполагаемом году «выхода» фонда из бизнеса $SAL(T)$ вычисляется по следующей формуле:

$$SAL(T) = SAL(0) \cdot (1+s)^T, \quad (4.20)$$

где $SAL(0)$ – величина продаж в базовом году;

T – число лет, в течение которых венчурный фонд планирует находиться в бизнесе проинвестированной компании;

s – прогнозируемый среднегодовой темп прироста продаж.

➤ *Метод «Ферст Чикаго»*

Согласно данному методу вычисляется приведенная к текущему моменту времени оценка рыночной стоимости проинвестированной компании, соответствующая i -му варианту развития инвестиционного проекта:

$$\overline{F} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot F_i^*, \dots P_i \in [0,1] \text{ для } \forall i, \dots \sum_{i=1}^N P_i = 1, \quad (2.21)$$

где P_i – вероятность реализации i -го варианта развития инвестиционного проекта;

F_i^* – приведенная к текущему моменту времени оценка рыночной стоимости проинвестированной компании, соответствующая i -му варианту развития инвестиционного проекта;

$\overline{F}$ – приведенная к текущему моменту времени средневзвешенная оценка рыночной стоимости проинвестированной компании.

Глава 5. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ МЕТОДОМ РЕАЛЬНЫХ ОПЦИОНОВ И МЕТОДОМ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

5.1. Метод реальных опционов, его сущность, модели и использование в оценке эффективности инновационных проектов

5.1.1. Теория финансовых опционов. Традиционный анализ дисконтированных денежных потоков (метод *NPV*) основан на предположении, что после принятия решения о начале реализации инвестиционного проекта руководство в любых, даже неблагоприятных обстоятельствах должно следовать выбранной стратегии. Однако уже после начала реализации проекта руководство может изменить первоначальный план, например расширить или сузить масштаб проекта, изменить «входы» или «выходы» проекта, после того как появится новая информация, отказаться от дальнейшей реализации проекта или «заморозить» его на определенный срок [Крюков, 2006, с. 81].

В связи с этим возрастает значение новейших методов оценки, которые могут использоваться как для оценки предприятия внешними структурами, так и для принятия более взвешенных внутрифирменных решений, нацеленных на управление стоимостью предприятия в перспективе. К числу таких инструментов прежде всего относится метод оценки реальных опционов (ROV-метод, от англ. – «Real Options Valuation»). Важнейшей особенностью данного метода является его соответствие быстро меняющимся экономическим условиям, в которых функционируют предприятия [Гусев, 2009, с. 3].

Теория реальных опционов объясняет тот известный из практической деятельности факт, что нередко инвесторы не отказываются от проектов с отрицательным *NPV*, так как ситуация может измениться к лучшему и можно будет использовать заложенный в проекте реальный опцион, получая в итоге положительный *NPV* [Виленский и др., 2008, с. 782].

Концепция реальных опционов возникла в результате переноса созданного инструментария управления рисками с помощью опционных контрактов из финансового сектора в реальный сектор экономики [Инновационный потенциал..., 2007, с. 178].

Рассмотрим основные положения теории финансовых опционов.

Опционы (англ. option – выбор или право выбора) – это финансовый инструмент, контракт, дающий его владельцу право (но не налагающий обязанность) купить или продать по установленной цене оговоренный в контракте базовый актив (например акции) в определенный момент или на определенном интервале времени. Цена, по которой покупается или продается базовый актив, называется *ценой исполнения опциона*.

Эмитент, продавший опцион, обязан на прописанных в контракте условиях по требованию владельца опциона продать ему или купить у него базовый актив. *Стоимость опциона* – это тот доход, который может получить владелец опциона от его исполнения. Она не равна *прибыли от исполнения опциона*. Чтобы определить последнюю, из стоимости опциона следует вычесть приведенные к моменту исполнения затраты на приобретение опциона (*опционную премию*) [Виленский и др., 2008, с. 783]. Цена, по которой продается опцион (ее получает эмитент), называется *опционной премией*. Она равна стоимости опциона, но уже не в момент исполнения, а в момент продажи.

Колл-опцион дает покупателю опциона право купить базовый актив (underlying asset) по цене исполнения, или цене использования (strike price, exercise price), в любое время при или до наступления даты истечения опциона (expiration date). За это право покупатель платит определенную цену. Если в момент истечения срока жизни опциона

стоимость актива меньше цены исполнения, то опцион не исполняется и истекает без последствий. Однако если стоимость актива оказывается выше цены исполнения, то опцион исполняется, и покупатель опциона приобретает базовый актив по цене исполнения. При этом разница между стоимостью актива и ценой исполнения составляет *валовую прибыль на инвестиции*.

Чистая прибыль на инвестиции – это разница между валовой прибылью и ценой колл-опциона, уплаченной при его приобретении. Диаграмма выплат иллюстрирует денежные выплаты за опцион при его истечении. Для колл-опциона чистая выплата отрицательна (и равна цене, заплаченной за опцион), если стоимость базового актива меньше цены исполнения. Если стоимость базового актива превышает цену исполнения, то валовая выплата равна разнице между стоимостью базового актива и ценой исполнения, а чистая выплата равна разнице между валовой выплатой и ценой колл-опциона (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Выплаты по колл-опциону

Источник: [Дамодаран, 2008, с. 118].

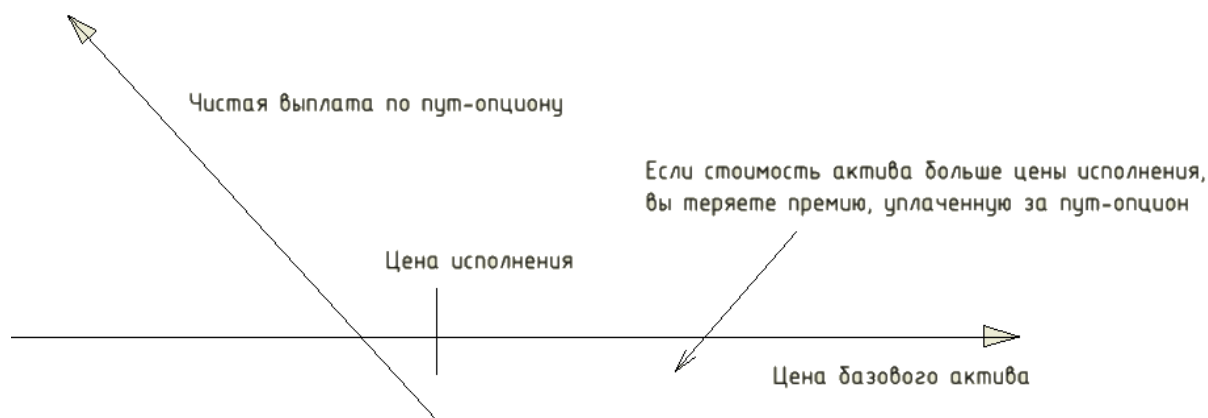


Рис. 5.2. Выплаты по пут-опциону

Источник: [Дамодаран, 2008, с. 119].

Пут-опцион дает покупателю опциона право продать базовый актив по фиксированной цене, которая называется ценой исполнения или ценой использования, в любое время при или до наступления даты истечения опциона. За это право покупатель платит определенную цену. Если стоимость базового актива выше цены исполнения опциона, то он не будет исполнен и истечет без последствий. Однако если стоимость базового актива окажется ниже цены исполнения, то владелец пут-опциона исполнит его и продаст ценную бумагу по цене исполнения, приобретая разницу между ценой исполнения и рыночной стоимостью актива в качестве валовой прибыли. Как и в случае с колл-опционом, вычитание из полученной выручки первоначальной стоимости, заплаченной при покупке пут-опциона, даст чистую прибыль от сделки.

Пут-опцион произведет отрицательную выплату, если стоимость базового актива превышает цену исполнения, и создаст валовую выплату, которая будет равна разнице между ценой исполнения и стоимостью базового актива, если она меньше цены исполнения (рис. 5.2).

В практике опционной торговли выработалась своя терминология. Пусть X – цена исполнения опциона, S – текущая цена базового актива. Если у опциона «колл» $X < S$, говорят, что он *в деньгах* (*in-the-money*), если $X > S$ – он *вне денег* (*out-of-the-money*). Опцион пут, наоборот, в деньгах при $X > S$ и вне денег при $X < S$. Наконец, если $X = S$, то оба опциона – и «колл», и «пут» – считаются *при деньгах* или *около денег* (*at-the-money*) [Виленский и др., 2008, с. 784].

Детерминанты стоимости финансового опциона. Стоимость опциона определяется шестью переменными:

1. *Текущая стоимость базового актива (current value of the underlying asset).* Опционы – это активы, стоимость которых является производной от базового актива. Следовательно, изменения стоимости базового актива влияют на стоимость опционов как актива. Поскольку колл-опционы обеспечивают право купить базовый актив по фиксированной цене, то повышение стоимости актива приведет к увеличению стоимости опционов на покупку. Пут-опционы, напротив, становятся дешевле по мере повышения стоимости актива.
2. *Дисперсия стоимости базового актива (variance in value of the underlying asset).* Покупатель опциона приобретает право купить или продать базовый актив по фиксированной цене. Чем выше дисперсия стоимости базового актива, тем выше стоимость опциона. Это справедливо в отношении как колл-опционов, так и пут-опционов. Кажется противоречащим интуиции тот факт, что рост показателя риска (дисперсии) повышает стоимость опционов, но эти инструменты отличаются от других ценных бумаг, поскольку покупатели опционов не могут потерять больше, чем ту цену, которую они за них заплатили. При этом они обладают высоким потенциалом заработка значительных доходов на крупных движениях стоимости базового актива.
3. *Дивиденды, выплачиваемые по базовому активу (dividends paid on the underlying asset).* Можно ожидать снижения стоимости базового актива, если на протяжении жизни опциона производятся выплаты дивидендов на актив. Следовательно, стоимость колл-опциона на актив является убывающей функцией размера ожидаемых выплат дивидендов, а стоимость пут-опциона является возрастающей функцией ожидаемых выплат дивидендов.
4. *Цена исполнения опциона (strike price of the option).* Если речь идет о колл-опционах, где владелец приобретает право купить базовый актив по фиксированной цене, то стоимость опциона понижается при росте цены исполнения. Что касается пут-опциона, когда покупатель приобретает право продать базовый актив по фиксированной цене, его стоимость будет повышаться при повышении цены исполнения.

5. *Срок до истечения времени действия опциона (time to expiration on the option).*

Как колл-опцион, так и пут-опцион оказываются более ценными при большем сроке жизни опциона. Это связано с тем, что более длительный срок действия опциона дает больше возможностей для изменения стоимости базового актива, повышая тем самым стоимость обоих классов опционов. Кроме того, в случае колл-опциона, где покупатель должен заплатить фиксированную цену по истечении срока жизни опциона, приведенная стоимость этой фиксированной цены понижается при увеличении срока жизни опциона, увеличивая стоимость колл-опциона.

6. *Безрисковая процентная ставка, соответствующая продолжительности жизни опциона (riskless interest rate corresponding to the life of the option).* Поскольку покупатель опциона платит цену опциона вперед, возникают скрытые издержки. Эти издержки зависят от уровня процентных ставок и срока до истечения опциона. Безрисковая процентная ставка также должна учитываться при оценке опциона, когда вычисляется приведенная стоимость цены исполнения, поскольку покупатель опциона не обязан платить цену исполнения ранее срока истечения опциона «колл» или «пут». Рост процентной ставки повышает стоимость колл-опционов (на покупку) и понижает стоимость пут-опционов (на продажу).

Основное отличие между европейским и американским опционами состоит в том, что *американский опцион* можно исполнить в любой момент до срока истечения, в то время как *европейский* – только в момент истечения (или в непосредственной близости от него). Возможность более раннего исполнения повышает стоимость американских опционов по сравнению с аналогичными европейскими. Кроме того, данный аспект создает дополнительные трудности при оценке опционов. Существует компенсирующий фактор, позволяющий проводить оценку американского опциона, используя модели, предназначенные для оценки европейских опционов. В большинстве случаев временная премия (time premium), связанная с оставшимся сроком жизни опциона, и транзакционные издержки делают раннее исполнение опциона условно оптимальным. Другими словами, владельцы опциона «в деньгах» (с выигрышем) обычно выигрывают гораздо больше, продавая опционы третьей стороне, а не исполняя их [Дамодаран, 2008, с. 118].

Базовые модели оценки финансовых опционов. Основные методы определения цен исполнения опционов на финансовых рынках основаны на предположении о безарбитражности рынка. Рынок считается безарбитражным, если на нем не существует способов получения надежного дохода без осуществления затрат или, как говорят и другие авторы, если на нем отсутствует «денежный станок». Арбитраж (или чистый арбитраж) эквивалентен возможности получения без риска прибыли, превышающей безрисковую банковскую процентную ставку. Действительно, в этом случае участник рынка может занять в банке некоторую сумму денег под банковскую (более низкую) ставку, а надежную прибыль получить по более высокой ставке. После этого, вернув банку заем (с процентами), он останется с положительной разностью (прибыль минус банковский процент), «полученной из ничего». Если два актива на безарбитражном рынке обеспечивают одинаковую величину надежного дохода, то и затраты на их приобретение должны быть одинаковыми.

Безарбитражность обычно обосновывается тем, что если на рынке появится возможность арбитража, то ею захотят воспользоваться многие и это приведет к движению цен, направленному против такой возможности. Поэтому, в конечном счете, возможность арбитража исчезнет.

Из невозможности арбитража выводится *теорема о паритете стоимости опционов «пут» и «колл»*, или *формула Столла* [Брейли, Майерс, 2007; Мартенс, 1997; Первозванский, Первозванская, 1994]:

Стоимость европейского опциона «колл» + Приведенная стоимость цены исполнения = Стоимость европейского опциона «пут» + Цена акции, т.е. при отсутствии арбитражных возможностей имеет место соотношение:

$$C(t) + \frac{X}{(1+R)^t} = P(t) + S - \frac{g}{(1+R)^{\tau}}, \quad (5.1)$$

где $C(t)$ – текущая стоимость европейского опциона «колл» на приобретение по цене X через время t некоторого базового актива;

$P(t)$ – текущая стоимость аналогичного (с такой же ценой исполнения) опциона «пут» на продажу;

R – безрисковая ставка процента за принятую единицу времени;

S – текущая цена базового актива;

$g(\tau)$ – размер дополнительного дохода через время τ (в промежутке от 0 до исполнения опциона). Если актив не обеспечивает этого дохода, то $g=0$. Это условие, т.е. отсутствие промежуточных выплат, для упрощения далее будет принято.

При непрерывном времени после замены $(1+R)$ на e^r (5.1) принимает вид:

$$P = C + X \times e^{-rT} - S. \quad (5.2)$$

Принятый метод оценки финансовых инструментов (прогнозирование связанных с ними потоков чистых доходов и их дисконтирование по ставке, равной альтернативным издержкам применения капитала) для оценки стоимости опциона не подходит, потому что из-за недетерминированного изменения во времени цены активов связанный с опционами риск в течение срока жизни опциона случайным образом меняется, и невозможно определить альтернативную стоимость. Выход был найден Ф. Блэком и М. Шоулзом в 1973 г. Они предложили в работе [Black, Scholes, 1973] создать эквивалент опциона из комбинации инвестиций в обыкновенную акцию и получения займа, определив величину чистых затрат на эквивалент опциона и тем самым его стоимость [Виленский и др., 2008, с. 787].

Портфель, состоящий из акции и займа, эквивалентный опциону, называется *дублирующим*. Число акций, входящих в дублирующий портфель, называется *коэффициентом хеджирования* или *дельтой опциона*. Величина дельты опциона равна:

$$\delta = \frac{\text{Разброс стоимостей опциона в момент исполнения}}{\text{Разброс возможных стоимостей актива в момент исполнения}} \quad (5.3)$$

или, что то же самое, равна изменению стоимости опциона при изменении цены базового актива на единицу. Из формулы Столла немедленно вытекает, что $\frac{\partial P}{\partial S} = \frac{\partial C}{\partial S} - 1$, или

на вербальном уровне «дельта опциона «пут» равна дельте опциона «колл» минус единица» [Виленский и др., 2008, с. 788–789].

Модель с дискретным изменением цены активов – модель Кокса-Росса-Рубинштейна (модель CRR). Биномиальная модель оценки стоимости европейского опциона была предложена Дж. Коксом, С. Россом и М. Рубинштейном в 1979 г. [Cox и др., 1979]. Хотя модель CRR появилась позже формулы Блэка-Шоулза, рассмотрим ее в первую очередь.

В модели CRR принято, что время изменяется *дискретно* с равными шагами. Предполагается, что текущая цена на актив спот (S) может либо увеличиваться на каж-

дом шаге (всего их t) до уровня hS ($h > 1+R$), либо уменьшаться до уровня kS ($0 < k < 1$). Здесь R – безрисковая ставка, S_i – цена базового актива в начале i -го шага ($i = 0, 1, \dots, n-1$), а отношение S_{i+1}/S_i может принимать значения h или k .

Например, если исходная цена актива равна S , то в конце первого шага текущая цена может стать либо hS , либо kS ; в конце второго шага – h^2S , hkS или k^2S , в конце третьего шага – h^3S , h^2kS , hk^2S или k^3S и т.д. [Виленский и др., 2008, с. 790].

Формула Кокса, Росса, Рубинштейна для оценки стоимости опциона «колл» за T шагов до исполнения:

$$C(S; T) = \frac{1}{(1+R)^t} \left[\sum_{i=i^*}^T C_T^i \cdot p^i \cdot q^{t-i} \cdot (S \cdot h^i \cdot k^{t-i} - X) \right], \quad (5.4)$$

где $p = \frac{1+R-k}{h-k}$; $q = 1-p$ – риск-нейтральные вероятности, $C_T^i = \frac{T!}{i!(T-i)!}$ – число сочетаний из T элементов по i ;

R – безрисковая ставка процентов за один шаг;

$i^* = \max\{0, \tilde{i}\}$, $\tilde{i}$ – минимальное целое i , для которого $Sh^i ke^{T-i} \geq X$, т.е. наименьшее целое число, превышающее $\frac{\ln(X / Sk^t)}{\ln(h/k)}$.

Как и при использовании метода нейтрального отношения к риску, стоимость опциона не зависит от фактического значения вероятности повышения (понижения) цены актива за один шаг [Виленский и др., 2008, с. 792].

Модель с непрерывным изменением цены актива – модель Блэка-Шоулза. Ф. Блэк и М. Шоулз предложили модель оценки стоимости европейского опциона «колл» без промежуточных выплат (дивидендов и др.). В соответствии с их идеей, описанной выше, стоимость опциона определяется как стоимость пакета из акций и займа, отвечающих характеристикам эквивалента опциона. Введем следующие обозначения:

$C(t)$ – стоимость опциона на приобретение за время t до исполнения;

S – текущая цена базового актива;

r – безрисковая процентная ставка;

X – цена исполнения опциона;

Xe^{-rt} – приведенная стоимость цены исполнения опциона;

σ – стандартное отклонение доходности базового актива за единицу времени в течение рассматриваемого периода (с непрерывным начислением);

$$z = \frac{\ln[S / Xe^{-rt}]}{\sigma\sqrt{t}} + \frac{\sigma\sqrt{t}}{2}. \quad (5.5)$$

Тогда формула стоимости опциона принимает вид:

$$C(t) = S\Phi(z) - Xe^{-rt}\Phi(z - \sigma\sqrt{t}), \quad (5.6)$$

где $\Phi(z)$ – функция плотности стандартного нормального распределения.

В формуле Блэка-Шоулза величина $\Phi(z)$ равна количеству акций, необходимых для адекватного копирования европейского опциона «колл» (коэффициенту хеджирования или дельте опциона) [Брейли, Майерс, 2007]), $S\Phi(z)$ равна страховым инвестициям, а $X\Phi(z - \sigma\sqrt{t})$ – стоимости займа (e^{-rt} – дисконтирующий множитель, приводящий стоимость займа к моменту приобретения опциона). Поэтому формулу Блэка-Шоулза можно трактовать так: стоимость опциона равна дельте опциона, умноженной на текущую цену базового актива, минус стоимость займа.

Существенно, что в формулу Блэка-Шоулза не входит величина ожидаемой силы роста стоимости базового актива, а учитывается только темп роста ее дисперсии. Поэтому при использовании формулы Блэка-Шоулза не следует учитывать прогнозы роста цены базового актива, но следует учитывать прогнозы его волатильности.

В основе вывода формулы Блэка-Шоулза лежит идея использования инструментария анализа случайного блуждания (броуновского движения). Именно так Л. Башелье в 1900 г. в своей диссертации «*Theorie de la speculation*» первым дал математический анализ стоимости опционов и обосновал целесообразность их использования в инвестировании. Предположив, что флуктуации цен соответствуют броуновскому движению, он пришел к заключению, что предельный процесс эволюции цен рассматриваемого актива S_t от начального уровня S описывается линейным броуновским движением со сносом:

$$dS_t = \mu dt + \sigma dw_t, \quad (5.7)$$

где μ – скорость роста цены актива;

σ – волатильность цены актива;

w_t – стандартное броуновское движение или винеровский случайный процесс.

Винеровский случайный процесс – это случайный процесс с независимыми нормально распределенными приращениями, имеющими нулевое среднее и дисперсии, пропорциональные времени.

В итоге формула Башелье для определения рациональной цены европейского опциона «колл» [Ширяев, 1998] принимает вид:

$$C(T) = (S - X)\Phi\left(\frac{S - X}{\sigma\sqrt{t}}\right) + \sigma\sqrt{t}N\left(\frac{S - X}{\sigma\sqrt{t}}\right), \quad (5.8)$$

где $\Phi(z)$ – кумулятивная функция стандартного нормального распределения;

$N(z)$ – функция плотности стандартного нормального распределения.

Приведенная модель процесса эволюции цен обладает очевидным недостатком: цены S_t могут принимать отрицательные значения.

Следующий шаг был сделан П. Самуэльсоном [Samuelson, 1965], предложившим в 1965 г. модель экономического (геометрического) броуновского движения, согласно которой броуновскому движению подвержены флуктуации не цен на активы, а их логарифмов. В этом случае динамика цен представляется в виде [Ширяев, 1998]:

$$S_t = Se^{H_t}, \quad (5.9)$$

где S – начальная цена актива; $H_t = \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma w_t$; w_t – описанный выше винеровский процесс.

Заметим, что поскольку w_t и H_t имеют нормальное распределение, то распределение S_t будет логнормальным.

В случае, когда базовым активом является акция и по ней выплачиваются дивиденды, стоимость опциона будет иной. Поскольку выплата дивидендов уменьшает цену акции, поэтому опционы «колл» дешевеют, а опционы «пут» дорожают. В этом случае формула для стоимости опциона колл (*модифицированная формула Блэка-Шоулза*) оказывается следующей:

$$C(t) = Se^{-\gamma t}\Phi(z') - Xe^{-rt}\Phi(z' - \sigma\sqrt{t}), \quad (5.10)$$

где γ – отношение дивидендов к текущей стоимости актива [Виленский, 2008, с. 802].

$$z' = \frac{\ln[S / X e^{-(r-\gamma)t}]}{\sigma \sqrt{t}} + \frac{\sigma \sqrt{t}}{2}. \quad (5.11)$$

Модель Блэка-Шоулза применима лишь с некоторыми допущениями:

1. *В течение срока действия опциона дивиденды по акциям не выплачиваются.*

Наиболее простой способ скорректировать модель в этом случае – вычесть дисконтированную величину будущих дивидендов из цены акций.

2. *Используются временные сроки для европейских опционов.*

Это ограничение не является основным недостатком, так как лишь небольшой процент опционов «колл» исполняются задолго до даты истечения своего срока. Ведь если вы исполняете опцион «колл» в начале срока действия, то лишаетесь его остающейся временной стоимости, реализуя только внутреннюю стоимость. С приближением даты истечения опциона его временная стоимость уменьшается, тогда как внутренняя стоимость остается на том же уровне;

3. *Рынки являются эффективными.*

Данное допущение предполагает, что люди не могут постоянно предсказывать направление движения всего рынка или отдельной акции. Случайное движение цены акции – одно из основных допущений модели Блэка-Шоулза.

4. *Отсутствие взимаемых комиссий.*

Обычно при покупке и продаже опционов с рыночных участников взимаются коммиссионные.

5. *Уровень процентных ставок остается неизменным и известен заранее.*

В модели Блэка-Шоулза в качестве этой неизменной и известной процентной ставки используется ставка по безрисковым активам. В реальности такой единой ставки по безрисковым активам не существует, обычно в этих целях в США используется дисконтная ставка по казначейским векселям за 30 дней до срока погашения. В периоды быстро меняющихся процентных ставок эти 30-дневные ставки также меняются, нарушая одно из допущений данной модели.

6. *Модель основывается на логнормальном распределении цен акций.*

Основная привлекательность опционов для покупателя объясняется тем, что ему заранее известен максимально возможный размер убытков – это величина премии, уплаченной за опцион, тогда как потенциальная прибыль теоретически неограниченна – в случае значительного роста цены базового актива в период действия опциона покупатель может рассчитывать на высокую прибыль. Особенно привлекательны опционы на акции, рынок которых отличается резкими и сильными ценовыми колебаниями, например, акции компаний, производящих компьютерное оборудование и программное обеспечение.

Несмотря на некоторую искусственность предположений модели, формула Блэка-Шоулза быстро стала популярной как в силу своей простоты, так и в связи с тем, что именно в это время была начата организованная торговля опционами на Чикагской бирже. Не случайно, что за это открытие М. Шоулзу и Р. Мертону в 1997 г. была присуждена Премия памяти Альфреда Нобеля по экономике (Ф. Блэк к этому времени уже умер, его заслуги были отмечены во время награждения М. Шоулза и Р. Мертона) [Гусев, 2009, с. 73].

5.1.2. Опционный подход в теории реального инвестирования. *Теория реальных опционов* – это альтернативный взгляд на инвестиции и оценку проектов, в большей мере отвечающий требованиям времени. Традиционные методы оценки эффективности проектов обладают существенными ограничениями в связи с тем, что не учитывают опционы или возможности принятия определенного решения в ответ на изменяющиеся факторы внешней среды.

В то же время необходимо отметить, что несмотря на кажущееся противостояние метода чистой приведенной стоимости и метода реальных опционов, данные подходы не являются изолированными друг от друга. Напротив, практическое применение теории реальных опционов основано на традиционных инструментах дисконтирования денежных потоков.

Главной особенностью оценки реальных опционов является учет степени неопределенности и периода сохранения инвестиционной возможности [Гусев, 2009, с. 37–38]. При отсутствии неопределенности опционы теряют ценность. Возможность выбора превращается в единственно возможное в данной ситуации решение, учитывая рациональность принимающего его лица. Рациональность менеджмента является другим необходимым условием, определяющим стоимость опциона.

В целом, согласно М. Браху [Brach, 2003], реальные опционы имеют стратегическую ценность в случаях, когда:

- проект осуществляется в условиях неопределенности; неопределенность непосредственно влияет на стоимость проекта;
- менеджмент проекта обладает управленческой гибкостью в принятии решений;
- стратегии менеджмента являются реальными и осуществимыми;
- менеджмент рационален в осуществлении стратегий.

Невыполнение хотя бы одного из этих условий приводит к обесцениванию реального опциона.

Основу теории реальных опционов составляет предположение, согласно которому инвестиционные проекты в реальном секторе можно представить в виде схемы работы финансового опциона. При оценке реальных опционов, в том числе с использованием модели Блэка-Шоулза, используются параметры, сходные шести параметрам в оценке финансовых опционов (табл. 5.1) [Музыка, 2015а].

Таблица 5.1

**Аналогия между параметрами, влияющими на стоимость финансового
и реального опционов**

Параметр, влияющий на стоимость опциона	Финансовый опцион	Реальный опцион
Актив	Акция или другой финансовый актив	Проект
Цена базового актива	Текущая цена акции	Приведенная стоимость ожидаемых денежных потоков от проекта
Цена исполнения	Фиксированная цена акции	Приведенная стоимость инвестиционных затрат по проекту
Волатильность	Волатильность цены акции	Волатильность будущих денежных потоков от проекта
Срок действия опциона	Срок действия контракта	Время, остающееся до окончания возможности осуществления проекта
Безрисковая процентная ставка	Доходность государственных облигаций	Доходность государственных облигаций
Дивиденды	Дивиденды, выплачиваемые по акции	Обязательные платежи по проекту (налоги, пошлины и иные платежи); использованная в течение действия проекта сумма чистой прибыли и амортизации; упущенные из-за ожидания доходы собственника

Источник: [Сафонова, Смоловик, 2006].

Основу реального инвестиционного проекта, как и финансового опциона, составляет обладание неким активом, позволяющим сделать выбор в будущем (не надо путать с базисным активом, хотя возможны варианты совпадения). В финансовых опционах данным активом является контракт, дающий право на приобретение/продажу базисного актива в течение некоторого периода времени до финального момента исполнения (американский опцион). В реальных опционах им могут быть различные виды активов, обладание которыми дает возможность фирме запустить некоторый инвестиционный проект. Таким активом может быть [Гусев, 2009, с. 37]:

- *патент*, дающий право на использование определенной технологии в будущем в течение его срока действия;
- *непосредственно технология*, которая в силу своей уникальности позволяет запустить производство и вывести на рынок некоторый продукт. Сроком действия опциона в этом случае является период времени, в течение которого данный продукт будет актуальным. Потерять свою актуальность продукт может в результате определенных изменений внешней или внутренней среды;
- *основные средства*, представляющие собой фиксированную часть издержек проекта и позволяющие при осуществлении инвестиций в требуемые ресурсы, составляющие переменную часть издержек, начать производство некоторого продукта. Такими основными средствами могут быть земля, помещение, фабрика, оборудование и т.д.
- *законсервированные или неразведанные ресурсы*, обладание которыми дает право начать разработку при благоприятной внешней конъюнктуре или получении дополнительной информации по результатам геологического исследования и т.д.

Критика применимости модели Блэка-Шоулза для оценки эффективности инвестиционных проектов. Большинство критиков выделяют следующие причины, препятствующие использованию модели Блэка-Шоулза для оценки реальных опционов:

- реальные инвестиционные проекты не всегда имеют признаки европейского опциона с фиксированной датой исполнения;
- основное предположение модели Блэка-Шоулза заключается в логарифмически-нормальном распределении будущих денежных потоков, что является лишь одним из вариантов возможного поведения цен;
- модель Блэка-Шоулза является «черным ящиком» для большинства практиков финансового менеджмента;
- как правило, сложным является установление степени неопределенности изменения стоимости базисного актива. Кроме того, волатильность стоимости проекта может меняться во времени, в то время как в модели Блэка-Шоулза она является фиксированной. Помимо всего вышесказанного, неопределенность может иметь двойственное влияние на стоимость проекта (данная проблема будет подробно рассмотрена в следующем параграфе);
- в то время как модель Блэка-Шоулза рассматривает лишь волатильность будущих денежных потоков, в реальности изменениям может также подвергаться и цена исполнения опциона, т.е. издержки осуществления проекта.
- модель не способна оценивать другие виды опционов, такие как опционы на расширение, сокращение, выход и т.д. Сферой применения модели Блэка-Шоулза является оценка опционов на задержку инвестиций. Для оценки других видов опционов выведены альтернативные формулы оценки.

Несмотря на критику, модель является простым и быстрым инструментом оценки.

Задачи, решаемые с помощью теории реальных опционов [Сафонова, Смоловик, 2006, с. 64]:

- оценка эффективности инвестиционных проектов;
- оценка стоимости патентов как опционов;
- оценка деловой репутации компании;
- оценка акционерного капитала как опциона;
- оценка вариантов по слияниям и поглощениям.

Области применения концепции реальных опционов представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Области применения концепции реальных опционов

Отрасль	Ситуация
Добывающая промышленность	Выбор времени разработки новых месторождений
Автомобилестроение	Принятие решений по изменению проекта или выпуску новых моделей, модификация дизайна новой машины
Машиностроение	Инвестирование в строительство новых заводов
Химическая промышленность	Выбор времени ввода новых производственных мощностей
Целлюлозно-бумажная промышленность	Выбор времени рубки леса
Транспорт	Оценка вложений в инфраструктуру; расширение транспортных сетей; выбор периода инвестирования
Фармацевтика	Оценка проектов по разработке новых лекарственных препаратов; выбор времени запуска новых препаратов
Электроника	Принятие решений по изменению масштабов производства и входу/выходу на новые рынки
Телекоммуникации	Оценка вариантов по слияниям и поглощениям при географической экспансии; выбор стандарта мобильной связи; выбор времени ввода новых услуг
Торговля	Оценка времени выхода на новые рынки
Банковское дело	Оценка аренды имущества; оценка лизинга по объектам недвижимости
СМИ. Реклама	Планирование запуска новых продуктов

Составлено на основе: [Сафонова, Смоловик, 2006, с. 65; Крюков, 2006, с. 83].

Обобщая работы разных авторов, можно выделить основные виды реальных опционов (табл. 5.3), возможность реализации которых в течение срока исполнения проекта позволяет хеджировать риски [Музыко, 2010].

Таблица 5.3

Основные виды реальных опционов

Вид реального опциона	Описание	Отрасль	Авторы, исследующие данный вид реального опциона
1	2	3	4
Опцион на задержку инвестиций	Менеджмент держит в аренде землю или природные ресурсы. Он может подождать какое-то время (х лет), пока цена выпускаемой продукции не установится на уровне, достаточном для покрытия издержек на строительство здания или завода или разработку месторождения и получения прибыли от проекта	Добывающая промышленность; недвижимость; сельское хозяйство; целлюлозно-бумажная промышленность	МакДоналд, Сигэл; Пэддок, Сигэл, Смит; Тоурино; Титман; Ингерсолл, Росс

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЦИОННОГО И НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННОГО ПОДХОДОВ

Продолжение табл. 5.3

1	2	3	4
Опцион на поэтапное инвестирование	Поэтапное инвестирование создает опцион на отказ от дальнейшего осуществления проекта в случае получения неблагоприятной информации. Каждый этап инвестирования может быть рассмотрен как опцион на стоимость последующих этапов и оценен как составной опцион	Все отрасли с высокой ролью НИОКР, особенно фармацевтика, долгосрочные капиталоемкие проекты, например: крупномасштабное строительство или проекты в энергетике, стартапы	Мэйд, Пиндайк; Карр; Тригеоргис
Опцион на изменение масштаба (например опцион на расширение; опцион на сокращение; опцион на временную приостановку проекта)	Если рыночные условия оказались более выгодными, чем прогнозировалось, предприятие может расширить производство или начать более активную добычу ресурсов. Наоборот, если рыночные условия оказались менее выгодными, чем прогнозировалось, предприятие может сократить масштаб своих операций. В экстремальных случаях производство может быть временно приостановлено и возобновлено позже	Добывающая промышленность; планирование эксплуатации оборудования и строительство в сезонных отраслях; производство и продажа модной одежды; потребительские товары; коммерческая недвижимость	Тригеоргис, Мэйсон; Пиндайк; МакДоналд, Сигэл; Бреннан, Шварц
Опцион на отказ от проекта	Если рыночные условия ухудшаются значительно, менеджмент может отказаться от проекта и продать оборудование и другие активы по ликвидационной стоимости на вторичном рынке	Капиталоемкие отрасли промышленности, такие как авиа- и железнодорожные перевозки; финансовые услуги; вывод новых товаров на рынок в условиях высокой неопределенности	Майерс, Мэйд
Опцион на переключение («входные» или «выходные» параметры)	В случае изменения цен или спроса менеджмент может изменить набор «выходных» параметров производственного оборудования (продуктовая гибкость) либо изменить «входные» параметры (технологическая гибкость)	Изменение «выходных» параметров: любой товар, продающийся в малых количествах, или подверженный сильным изменениям спроса, например, бытовая электроника, игрушки, бумага особого спроса, запчасти для автомобилей, автомобили. Изменение «входных» параметров: исходное сырье для оборудования, например: нефть, электрическая энергия, химикаты, изменение сортов с/х культур при посадке и др. ресурсы	Маргрейб; Кэнсингер; Кулатилака; Кулатилака, Тригеоргис
Опцион роста*	Осуществление первоначальных инвестиций (например: НИОКР, аренда незастроенного земельного участка или неразработанных нефтяных месторождений, стратегические поглощения, информационная сеть/инфраструктура) является необходимым условием дальнейшего продолжения проекта, или эти первоначальные инвестиции являются звеном в цепи взаимосвязанных проектов, открывающих возможности для будущего роста (например, новое поколение товаров или технологий, запасы нефти, выход на новые рынки)	Все стратегические отрасли промышленности, в особенности высокотехнологические отрасли, НИОКР или отрасли, производящие продукт, имеющих несколько поколений или приложений (например компьютеры, лекарственные препараты); стратегические поглощения	Майерс; Брэйд, Майерс; Кэстэр; Тригеоргис; Пиндайк; Чанг, Чэроенвонг

Окончание табл. 5.3

1	2	3	4
Составной взаимодействующий опцион	В реальности инвестиционные проекты зачастую содержат в себе набор разнообразных опционов – комбинацию опционов «колл», создающих потенциал роста и опционов «пут», позволяющих предотвратить влияние негативных факторов. Стоимость составного опциона может отличаться от суммы стоимостей отдельных опционов (поскольку они влияют друг на друга)	Инвестиционные проекты в реальной действительности в большинстве отраслей промышленности, описанных выше	Тригеоргис; Бреннан, Шварц; Кулатилака

* Похож на составной опцион, включающий взаимосвязанные проекты.

Источник: составлено на основе [Trigeorgis, 1995].

5.1.3. Исследование экономической сущности категории «реальный опцион». Важной задачей является выявление и понимание экономической сущности категории «реальный опцион» с целью выбора в дальнейшем адекватного инструментария для оценки его стоимости и применения метода реальных опционов при оценке эффективности инновационных проектов в качестве дополнения к традиционному методу NPV.

Первое описание данного инструмента было обнаружено в сочинениях Аристотеля. Аристотель описывает, как философ Фалес Милетский предсказал, что через шесть месяцев ожидается богатый урожай оливок. Имея небольшую сумму денег, Фалес Милетский обратился к владельцам прессов для давки оливок и купил у них право сдавать прессы в аренду, выплачивая владельцам прессов арендную плату. Когда богатый урожай оливок созрел, и фермерам потребовались прессы, Фалес Милетский начал сдавать им эти прессы в аренду за арендную плату выше той, которую он выплачивал владельцам прессов, а разницу оставлял себе [Copeland, Antikarov, 2001, с. 40].

Считается, что в научный оборот термин «реальный опцион» ввел Стюарт Майерс в 1977 г. в работе «Determinants of corporate borrowing» [Myers, 1977]. Однако еще в 1970 г. термин «real-estate options» был употреблен Стефаном Марглином в статье «Investment and Interest: A Reformulation and Extension of Keynesian Theory» [Marglin, 1970]. Рассмотрим эти две базовые для концепции реальных опционов статьи.

Стефан Марглин следующим образом описал понятие реальных опционов (real-estate options): «Когда частные инвесторы имеют монопольную власть в некотором инвестиционном секторе, право осуществлять проект становится экономическим объектом, имеющим определенную ценность, независимо от самого процесса инвестирования. В принципе, нет препятствий для того, чтобы такое право было куплено или продано, хотя рынки для таких прав скорее исключение из правил» [Marglin, 1970, с. 910]. Реальные опционы являются особым случаем формального инструмента, который определяет соотношение между правом на осуществление инвестиций и самим инвестированием. Обычно само такое соотношение гораздо менее формально; положение на рынке или особые знания создают скрытые опционы, связанные с определенными инвестициями, опционы, для которых не существует рынков, но которые от этого не менее реальны» [Там же].

Стюарт Майерс так описывает понятие «реальный опцион»: «Многие активы корпорации, в особенности возможности роста, могут рассматриваться как колл-опционы. Стоимость таких «реальных опционов» (при первом употреблении кавычки даны самим Майерсом) зависит от инвестиций фирмы в будущем...» [Myers, 1977, с. 147]. «Часть стоимости фирмы составляет текущая стоимость опционов на будущие инве-

стиции на потенциально благоприятных условиях»; «...инвестиционные возможности – возможности, которые могут внести положительный чистый вклад в рыночную стоимость фирмы» [Там же, с. 163]. «Реальные опционы – возможности приобрести реальные активы на потенциально благоприятных условиях» [Там же, с. 163].

Данные работы явились фундаментом для дальнейшего развития концепции реальных опционов и самого понятия «реальный опцион».

В процессе анализа трактовок экономической сущности понятия «реальный опцион», представленных в работах зарубежных и российских ученых (табл. П1 и П2 Приложения, соответственно), нами было выявлено семь подходов к трактовке данного термина.

Согласно *первому подходу* реальный опцион – это право, но не обязательство. Реальные опционы дают *право, но не обязательство* участвовать в будущей стратегической возможности, требующей дополнительных инвестиций. Реальный опцион – это *право* на изменение хода развития инвестиционного проекта. Реальные опционы предоставляют *права* на принятие решений в будущем. Такое понимание термина присутствует в работах: [Dixit, Pindyck, 1994; Merton, 1998; Copeland, Antikarov, 2001; Kulatilaka, Toschi (эл. уст. инф.); Marglin, 1970; Gordon и др., 1994; Trigeorgis, 1996; McGrath, Ferrier, Mendelow, 2004]. Среди отечественных отметим следующие исследования: [Козырев, Макаров, 2003; Сафонова, Смоловик, 2006; Салихов, 2007; Рамзаев (эл. уст. инф.); Сысоев, 2003].

В соответствии со *вторым подходом* реальный опцион – это возможность. Реальный опцион: это возможность приобрести реальные активы на потенциально благоприятных условиях. Реальный опцион – это возможность выбора курса действий, которым инвестор располагает при инвестировании в бизнес-проект. Реальный опцион – возможность принятия гибких решений в условиях неопределенности. Подобное понимание термина присутствует в работах [Myers, 1977; Amram M., Kulatilaka, 1999; Бухвалов, 2004; Гусев, 2009].

Согласно *третьему подходу* реальный опцион – это опцион на нефинансовый актив. Подобная трактовка понятия присутствует в работах [Толковый словарь..., 2008; Перепелица, 2009; Теплова, 2000].

Согласно *четвертому подходу* реальный опцион – это инвестиции (часть инвестиционных затрат, инвестиционные решения), предоставляющие право, но не налагающие обязательств. Реальный опцион – это инвестиция, которая содержит в себе право, но не налагает обязательств, осуществить последующие инвестиции. Данного подхода придерживаются как зарубежные авторы [Bowman, Hurry, 1993; Kogut, Kulatilaka, 1997; Adner, Levinthal, 2004; Dixit, Pindyck, 1994], так и российские [Брусланова, 2004; Коновалова, 2004].

В соответствии с *пятым подходом* реальный опцион представляет собой инструмент уменьшения неопределенности: реальные опционы – *инструмент* для уменьшения неопределенности – осуществление небольшой первоначальной инвестиции в условиях высокой неопределенности позволяет создать опцион на ожидание, пока неопределенность относительно этой возможности уменьшится. Когда неопределенность уменьшилась, фирма может принять решение, осуществлять ли следующую инвестицию или отказаться от дальнейшего осуществления проекта [Adner, Levinthal, 2004; Коновалова, 2004].

Шестой подход – реальные опционы – это гибкость. Управленческие (реальные) опционы – гибкость менеджмента в принятии решений в будущем, которые оказывают влияние на ожидаемые денежные потоки по проекту [Business... (эл. уст. инф.)]. Гибкость в реализации проекта приносит эффект, подобный финансовым опционам, поэтому ее называют реальным опционом [Крюков, 2006].

Седьмой подход объединяет следующие толкования термина «реальный опцион»: реальные опционы – это метод оценки эффективности инвестиционных проектов; реальные опционы – это способ мышления, организационный процесс, аналитический инструмент, приложение теории производных финансовых инструментов к оценке реальных инвестиционных проектов [Triantis, Borison, 2001]. Реальный опцион – это феномен, используемый менеджерами на уровне интуиции; понятийный аппарат; способ уточнения NPV проекта [Бухвалов, 2004].

Необходимо особо отметить попытки некоторых авторов дать собственную интерпретацию термина «реальный опцион». Среди проанализированных нами зарубежных исследований такие попытки, к сожалению, немногочисленны.

В диссертации Т. Микаэляна на соискание ученой степени PhD [Mikaelian, 2009] представлена авторская «модель» реального опциона. Согласно данной «модели» необходимо различать два типа действий (решений): механизм и тип опциона.

1. Механизм – представляет собой набор действий, решений или замыслов, которые создают реальный опцион. Механизмы бывают активные и пассивные. Активный механизм – это механизм, который напрямую создает реальный опцион. Например, конструирование модульного грузового отсека для мини-самолета является активным механизмом, который напрямую создает возможность для гибкости (можно изменять тип груза). Пассивный механизм – это механизм, который косвенно создает реальный опцион. Например, решение приобрести завод косвенно создает реальный опцион на закрытие этого завода. Это не прямое действие, которое создает реальный опцион, поскольку возможность закрыть завод уже существовала, и покупка этого завода просто позволяет его новому владельцу использовать эту возможность.

2. Тип опциона характеризует набор действий или решений, которые могут быть осуществлены владельцем реального опциона. Например, опцион на изменение типа груза в мини-самолете, опцион на отказ от проекта, опцион на выход на новый рынок являются разными типами опционов, которые носят название «операционный опцион», «опцион на отказ» и «опцион роста» соответственно.

Т. Микаэлян в диссертационной работе отмечает, что при представлении реального опциона через механизм и тип само понятие «реальный опцион» не сводится только к механизму или только к типу. Реальный опцион – это абстрактное понятие, которое отражает «право, но не обязательство совершить действие». Механизмы и действия, которые могут быть совершены в будущем, представляют собой конкретные аспекты опциона [Mikaelian, 2009, с. 90–93].

С точки зрения наличия трактовки термина «реальный опцион», проанализированные нами работы зарубежных и российских ученых можно разделить на следующие три категории.

В первой категории работ авторы, употребляя термин «реальный опцион», говорят о конкретной сфере приложения теории реальных опционов, но не задумываются о содержании термина и не дают ему никакого определения [Грант, 2008; Лаихия, 2001; Лимитовский, 2004; Brealey Richard A. and Mayers, 1996; Damodaran, 2002].

Вторая категория работ (их большинство) – авторы дают определение понятию «реальный опцион», но заимствуют его у других авторов; попытки дать собственное уточняющее определение не предпринимаются.

И, наконец, третья категория работ – авторы осуществляют попытку дать свое авторское определение понятию «реальный опцион». Подобные работы, к сожалению, немногочисленны. Среди зарубежных авторов это Т. Микаэлян [Mikaelian, 2009]. Из российских источников наиболее корректные с научной точки зрения определения понятия «реальный опцион», по нашему мнению, представлены в диссертациях на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Именно в диссертациях предпри-

нимаются попытки уточнить определение понятия «реальный опцион». Это такие работы, как [Перепелица, 2009; Коновалова, 2004].

Понятийный аппарат теории реальных опционов еще не сформирован. Если мы попытаемся проследить развитие термина «реальный опцион», то увидим, что на первоначальном этапе появления концепции реальных опционов исследователи не задумывались над четкой формулировкой определения понятия. Даже Стефан Марглин и Стюарт Майерс, которые ввели данный термин в научный оборот, ограничились лишь «описательным объяснением» сути термина «реальный опцион», не дав четкого определения. Поэтому не удивительно, что в ранних исследованиях, посвященных концепции реальных опционов, также отсутствует четкое определение понятия «реальный опцион».

В то же время подход реальных опционов сразу вызвал значительный интерес у исследователей. Вначале они стремились применить данный подход на практике: посчитать стоимость различных реальных опционов с использованием формулы Блэка-Шоулза и ее модификаций и сравнить результаты с результатами, полученными по традиционному методу NPV. Затем, осуществив попытки применить революционный для того времени (1970-е годы) подход к оценке эффективности инновационных проектов, исследователи постепенно начали осознавать необходимость более детального и глубокого изучения экономической сущности самого термина «реальный опцион». Возникла необходимость формирования понятийного аппарата новой концепции.

Критический анализ трактовок экономической сущности понятия «реальный опцион», представленных в работах зарубежных и российских ученых. По нашему мнению, понятие «финансовый опцион» определено достаточно четко, в то время как понятие «реальный опцион» размыто. *Финансовым опционом* называется контракт, заключенный между двумя лицами, в соответствии с которым одно лицо *предоставляет* другому лицу *право* купить (либо право продать) определенный актив по определенной цене в рамках определенного периода времени.

Напомним, что во многих источниках реальный опцион трактуется как «право, но не обязательство, совершить действие в будущем». По нашему мнению, использование термина «право» в определении понятия «реальный опцион» является весьма спорным, поскольку в случае реального опциона не существует никакого контракта, который бы закреплял правоспособность (возможность) осуществить действие в будущем в противоположность финансовым опционам.

В большинстве случаев определение понятия «реальный опцион» дается по аналогии с понятием «финансовый опцион». Однако по существу эта аналогия довольно слабая из-за наличия множества различий между финансовыми и реальными опционами. По нашему мнению, главное отличие состоит в том, что финансовые опционы и их базовые активы являются торгуемыми на бирже, в то время как реальные опционы не торгуются на бирже. Другая отличительная особенность состоит в том, что финансовый опцион содержит в себе четко определенное действие – купить или продать ценную бумагу по цене исполнения.

Согласно одному из подходов реальный опцион – это инвестиции фирмы в материальные активы, которые предоставляют фирме возможность реагировать на будущие события. Нам представляется не вполне правомерным отождествление понятий «реальный опцион» и «инвестиции». Применение реального опциона включает в себя два отдельных действия: создание опциона и исполнение опциона. Нам представляется, что инвестиция (первоначальная) – это создание опциона, а не непосредственно сам реальный опцион. При осуществлении последующей инвестиции в определенный момент времени этот опцион исполняется.

На интуитивном уровне реальные опционы фиксируют идею гибкости. Однако говорить о том, что реальный опцион – это гибкость менеджмента в принятии решений в будущем, по нашему мнению, не совсем корректно. Реальный опцион – это не гибкость, а источник гибкости.

Существуют и такие определения: реальный опцион – это аналитический инструмент, процесс, способ мышления, способ уточнения NPV проекта. По нашему мнению, данные определения скорее относятся к понятию «метод реальных опционов», а не непосредственно к понятию «реальный опцион».

На основе систематизации и критического анализа подходов зарубежных и российских авторов к трактовке экономической сущности понятия «реальный опцион» осуществим попытку уточнить данное понятие. Представим обоснование авторского подхода к трактовке термина «реальный опцион».

В финансовой литературе термин «опцион» трактуется весьма четко. «Современный экономический словарь» Б.А. Райзберга, Л.Ш. Лозовского, Е.Б. Стародубцевой [Райзберг и др., 2005] дает нам следующее определение: «Опцион (от лат. optio – выбор, желание, усмотрение) – *право выбора*, получаемое за определенную плату. Наиболее часто термин применяется в следующих его значениях: а) предоставляемое одной из договаривающихся сторон *условиями договора право выбора* способа, формы, объема выполнения принятого ею обязательства или даже отказа от выполнения обязательства при возникновении обстоятельств, *обусловленных договором*; б) *соглашение*, предоставляющее одной из сторон, заключающих биржевую сделку купли-продажи, *право выбора* между альтернативными (вариантными) *условиями договора*, в частности *право* покупать или продавать ценные бумаги в заранее установленном объеме по твердой цене в течение того или иного срока; в) *право* купить новые ценные бумаги эмитента на заранее *договоренных условиях*; г) *право* на дополнительную квоту при эмиссии ценных бумаг; д) *предварительное соглашение* о заключении будущего *договора* в обусловленные сроки».

По нашему мнению, реальный опцион имеет стоимость при условии, что инвестиционный проект осуществляется в условиях высокого уровня неопределенности и менеджмент проекта обладает гибкостью в принятии управленческих решений. Считаем необходимым отразить данные условия в формулировке определения термина «реальный опцион».

Таким образом, содержание термина «реальный опцион» может быть уточнено следующим образом: *реальный опцион* представляет собой инструмент уменьшения неопределенности инновационного проекта посредством создания опционов, базовым активом по которым выступает данный инновационный проект, менеджмент которого обладает гибкостью при принятии управленческих решений о дальнейшей его реализации [Музыка, 2011].

Отметим, что в начале 2000-х годов в целом ряде российских учебников появилось несколько страниц и даже отдельных глав, посвященных концепции реальных опционов (см. например [Козырев, Макаров, 2003; Лимитовский, 2004; Теплова, 2000]). Появилась монография российского автора, посвященная реальным опционам [Гусев, 2016]. Однако, по нашему мнению, пока эти источники не могут претендовать на какую-либо полноту или новизну подхода.

В настоящее время в российских вузах при чтении дисциплин, связанных с оценкой эффективности инвестиционных проектов, начинают рассматриваться разделы, содержащие метод реальных опционов. К примеру, это Новосибирский государственный университет, Высшая школа менеджмента Санкт-Петербургского государственного университета. На экономических факультетах читаются отдельные дисциплины под названием «Реальные опционы» (например Национальный исследовательский универ-

ситет – Высшая школа экономики). Московская школа бизнеса (Moscow Business School) проводит семинары на тему «Реальные опционы».

Следует отметить, что в России не только теоретики, профессора ВУЗов и соискатели ученых степеней начинают интересоваться подходом реальных опционов, но и практики, работающие в инвестиционных компаниях, пробуют применять его в своей практической деятельности. Это Н. Брусланова, Ю. Козырь (ООО «Лаборатория инвестиций «ЛАБРЕЙТ»).

В последние годы в России ведутся активные дискуссии относительно возможностей применения метода реальных опционов, а также обсуждается экономическое содержание понятия «реальный опцион». Все это свидетельствует о значительном интересе российских специалистов в области финансового менеджмента к новой концепции, к новому методу оценки эффективности инновационных проектов.

Дальнейшее развитие системы знаний в новой научной области, в том числе, формирование понятийного аппарата концепции реальных опционов и его последующее расширение, является важной и перспективной задачей как за рубежом, так и в России.

5.1.4. Модели оценки опционов, применяемые для оценки инвестиционных проектов в реальном секторе экономики. Рассмотрим основные модели оценки финансовых опционов, применяемые для оценки проектов в реальном секторе, выявим их особенности и ограничения (табл. ПЗ Приложения).

Модель Блэка-Шоулза и биномиальная модель Кокса-Росса-Рубинштейна были подробно рассмотрены в п. 5.1.1 настоящей монографии. Рассмотрим особенности применения и ограничения других моделей.

➤ *Модель Black*

В 1976 г. Ф. Блэк разработал модификацию модели Блэка-Шоулза для более точной оценки опционов на фьючерсы [Black, 1976]. Модель предполагает, что фьючерсы могут рассматриваться как ценные бумаги с постоянным дивидендом, равным ставке безрискового инвестирования.

Применение и ограничения. Модель обеспечивает хорошую корректировку оригинальной модели для опционов на фьючерсы. Однако она сохраняет ограничения модели Блэка-Шоулза.

$$C = Ue^{-rt}N(h) - Ee^{-rt}N(h - \gamma\sqrt{t}); \quad (5.12)$$

$$P = -Ue^{-rt}N(-h) + Ee^{-rt}N(\gamma\sqrt{t} - h), \quad (5.13)$$

$$\text{где } h = \frac{\ln(\frac{U}{E})}{\gamma\sqrt{t}} + \frac{\gamma\sqrt{t}}{2}; \quad (5.14)$$

C – стоимость опциона колл;

P – стоимость опциона пут;

U – цена базового актива;

E – цена исполнения;

r – безрисковая процентная ставка;

t – время до исполнения опциона;

γ – волатильность стоимости базового актива;

$N(x)$ – функция стандартного нормального распределения.

➤ *Квадратичная модель Whaley (Barone-Adesi-Whaley)*

Модель Whaley была разработана для оценки американских опционов [Barone-Adesi, Whaley, 1987]. С ее помощью можно оценить стоимость досрочного погашения американского опциона. Эта оценка используется для корректировки вычислений по моделям Black-Scholes или Black (для опционов на фьючерсы).

Применение и ограничения. Модель Whaley представляет собой наилучший из аналитических инструментов для оценки американских опционов, так как она рассматривает возможность досрочного исполнения. Если по базисному активу не выплачиваются дивиденды, модель только корректирует цену опциона «пут», так как досрочное погашение опциона «колл» никогда не было оптимальной стратегией в данном случае.

Поскольку модель использует в качестве основы модель Блэка-Шоулза, она имеет недостатки, свойственные данной модели, в том числе и то, что волатильность стоимости базового актива и безрисковая процентная ставка считаются постоянными в течение всего периода жизни опциона. Следовательно, данная модель менее применима для оценки опционов deep-in-the-money и deep-out-of-the-money.

Стоимость американского опциона «колл» может быть вычислена следующим образом:

$$C = \begin{cases} c(U) + A \left(\frac{U}{U^*} \right)^r, & \text{если } U < U^*; \\ U - E, & \text{если } U \geq U^*. \end{cases} \quad (5.15)$$

где C – стоимость опциона «колл»;

P – стоимость опциона «пут»;

U – цена базового актива;

U^* – критическое значение цены базового актива;

E – цена исполнения;

r – безрисковая процентная ставка;

t – время до исполнения опциона;

γ – волатильность стоимости базового актива;

$c(U)$ – стоимость опциона «колл», посчитанная по формуле Блэка-Шоулза;

$p(U)$ – стоимость опциона «пут», посчитанная по формуле Блэка-Шоулза;

$N(x)$ – функция стандартного нормального распределения.

$$A = \frac{U^*}{\gamma} \{1 - N(h(U^*))\}; \quad (5.16)$$

$$\gamma = \left[-(\alpha - 1) + \sqrt{(\alpha - 1)^2 + \frac{4\alpha}{1 - e^{-rt}}} \right], \alpha = \frac{2r}{\gamma^2}; \quad (5.17)$$

$$h(U) = \frac{\ln\left(\frac{U}{E}\right) + \left(r + \frac{\gamma^2}{2}\right)t}{\gamma t}. \quad (5.18)$$

Критическое значение цены базового актива опциона «колл» (U^*) вычисляется из выражения:

$$U^* - E = c(U^*) + \left\{1 - N(h(U^*))\right\} \frac{U^*}{\gamma}. \quad (5.19)$$

Стоимость американского опциона «пут» (P) может быть вычислена следующим образом:

$$P = \begin{cases} p(U) + A \left(\frac{U}{U^*} \right)^r, & \text{если } U > U^*; \\ E - U, & \text{если } U \leq U^*, \end{cases} \quad (5.20)$$

$$\text{где } A = -\frac{U^*}{\gamma} \{1 - N(-h(U^*))\}; \quad \gamma = \left[-(\alpha - 1) - \sqrt{(\alpha - 1)^2 + \frac{4\alpha}{1 - e^{-rt}}} \right], \quad (5.21)$$

α – вычисляется по той же формуле, что и для американского опциона «колл»;

h – вычисляется по той же формуле, что и для американского опциона «колл».

Критическое значение цены базового актива опциона пут (U^*) вычисляется из выражения:

$$E - U^* = p(U^*) - \{1 - N(-h(U^*))\} \frac{U^*}{\gamma}. \quad (5.22)$$

► Модель Garman-Kohlhagen

Эта модель, разработанная для валютных опционов, рассматривает иностранные валюты аналогично ценным бумагам с известным дивидендом [Garman и др., 1983].

Применение и ограничения. Данная модель используется для оценки опционов на валюту. Как модификация модели Блэка-Шоулза она сохраняет все ее недостатки.

Стоимость европейского опциона «колл» может быть вычислена следующим образом:

$$C = Ue^{-r_f t} N(h) - Ee^{-rt} N(h - \gamma\sqrt{t}). \quad (5.23)$$

$$\text{где } h = \frac{\ln\left(\frac{U}{E}\right) + (r - r_f + \frac{\gamma^2}{2})t}{\gamma\sqrt{t}}, \quad (5.24)$$

C – стоимость опциона «колл»;

U – цена базового актива;

E – цена исполнения;

r – безрисковая процентная ставка;

r_f – безрисковая процентная ставка в другой стране;

t – время до исполнения опциона;

γ – волатильность стоимости базового актива.

Стоимость европейского опциона «колл» может быть вычислена следующим образом:

$$P = -Ue^{-r_f t} N(-h) + Ee^{-rt} N(\gamma\sqrt{t} - h), \quad (5.25)$$

где P – стоимость опциона «пут» [Музыка, 2010а].

5.2. Противоречие в отображении риска и неопределенности в теории реальных опционов и в методе NPV

Разрабатывая стратегию, руководители создают образ своей организации в будущем и намечают план развития, который должен привести их к желаемому результату. Однако в современных условиях ведения бизнеса невозможно сформировать план долгосрочного развития как путеводитель в течение всего времени, отведенного на достижение стратегической цели. Очевидно, что на протяжении всего XX века и в начале XXI века наблюдается ускорение динамики жизни, характеризующее особенности внешней среды бизнеса.

Глобализация, международная интеграция приводят к значительному росту конкуренции, стимулируют и без того стремительное развитие технологий. В совокупности эти факторы обуславливают повышение динамики изменения потребительского спроса,

что, в свою очередь, подталкивает технологический прогресс и заставляет компании искать инновационные методы завоевания потребительских сегментов.

В условиях значительной неопределенности с самого начала реализации намеченного плана (стратегии) бизнес начинает получать информацию извне, которая была недоступна на стадии планирования: реакция конкурентов, поведение потребителей, непредвиденные геополитические и макроэкономические изменения, затрагивающие данную сферу бизнеса, и т.д. Первые шаги по реализации плана могут обнаружить просчеты, допущенные на стадии стратегического планирования, либо возможные новые пути для дальнейшего развития.

Рассмотрим особенности учета риска и неопределенности в традиционном подходе к оценке эффективности инвестиционных проектов (метод NPV) и в подходе реальных опционов.

Главным отличием оценки финансовых активов от оценки реальных активов (составляющих основу инвестиционных проектов) является позиция инвестора. Владелец акции в общем случае является пассивным участником создания денежных потоков. При отсутствии у него контрольного пакета его роль сводится к отслеживанию изменений в корпорации и принятию решений о продаже акции или дальнейшем владении. Финансовый менеджер сам может создавать опционы – предпринимать шаги для нивелирования потерь по проекту или реализовывать новые возможности, открываемые принятием данного инвестиционного проекта [Теплова, 2000, с. 407].

Параметр неопределенности является центральным в теории реальных опционов. Среди инвесторов бытует мнение, что возросший риск уменьшает приведенную стоимость. Но с опционами (с финансовыми – прим. автора) все происходит наоборот [Брейли, Майерс, 2007, с. 528]. В большинстве финансовых ситуаций риск играет отрицательную роль: за то, чтобы кто-то взял на себя дополнительный риск, приходится платить. Инвесторы в рискованные акции (с высокой бетой) требуют от них более высокую ожидаемую доходность. Рисковым инвестиционным проектам присущи соответственно более высокие затраты на капитал, и для достижения положительной чистой приведенной стоимости такие проекты должны обеспечивать более высокую предельную рентабельность. С опционами же все происходит наоборот. Опционы (финансовые – прим. автора) на активы с сильной изменчивостью стоят дороже, чем опционы на надежные активы [Там же, с. 543–544].

Если цена актива падает ниже цены исполнения опциона «колл», вы не станете исполнять опцион. Следовательно, вы потеряете 100% своих инвестиций в опцион независимо от того, насколько обесценился актив относительно цены исполнения. С другой стороны, чем выше поднимется цена актива над ценой исполнения, тем большую прибыль вы получите. Стало быть, с увеличением изменчивости цены актива держатель опциона «колл» ничего не теряет при неблагоприятном исходе, но выигрывает, если все складывается удачно (то же справедливо и для опционов «пут»). Значит, стоимость опциона возрастает с ростом произведения дисперсии доходности акций за период на число периодов до исполнения опциона ($\sigma^2 \times T$) [Брейли, Майерс, 2007, с. 545].

Первая математическая формула для оценки финансовых опционов была предложена Луисом Башелье (Louis Bachelier, 1872–1946). Он математически доказал зависимость увеличения дисперсии значений переменных стохастического процесса от квадратного корня значения рассматриваемой единицы времени. Несмотря на то что Башелье не использовал термин «броуновское движение», ставший известным во Франции только в 1902 г., его теория была основана на той же концепции [Гусев, 2009, с. 33].

С.В. Крюков в статье «Учет реальных опционов при оценке эффективности инвестиционных проектов» одним из способов увеличения стоимости реального опциона называет увеличение неопределенности ожидаемых денежных потоков: «Возможно, это

наиболее значительное отличие опционного анализа от традиционного NPV-анализа. Если компания принимает решение об инвестировании с помощью NPV-анализа, то неопределенность имеет негативное влияние. Поскольку доходы симметричны, то чем больше неопределенность, тем больше можно потерять при неблагоприятном исходе. Доходы от реализации опциона не симметричны, выиграть можно много, а проиграть мало. Поэтому держателю опциона выгодна неопределенность: он может реализовать опцион при благоприятном стечении обстоятельств или отказаться от него в обратном случае. Таким образом, большая неопределенность увеличивает стоимость опциона [Крюков, 2006, с. 85]. Но автор здесь не указывает, о каком конкретно виде неопределенности идет речь. Далее увидим, что не всякая неопределенность ведет к увеличению стоимости реального опциона [Гусев, 2009, с. 25].

Отличительными характеристиками принятия решения в реальной ситуации, согласно А. Воллерт, Н. Кулатилака, Т. Копеланд, П. Кинен и др., являются неопределенность и необратимость, не учитываемые методом дисконтированных денежных потоков. Гибкость в принятии решений по мере исполнения проекта является необходимым условием повышения эффективности проектов в условиях необратимости и неопределенности. Она позволяет вовремя реагировать на возникающие риски и сводить к минимуму возможные убытки. *Гибкость* определяется как «способность экономической системы реагировать на неожиданные изменения внутри и вне системы, позволяющая достигнуть поставленных целей» [Гусев, 2009, с. 25–26].

А. Воллерт отмечает, что гибкость может иметь «защитный» и «атакующий» характер. Примером первого является способность переключиться на альтернативные «входные» факторы производства (ресурсы, технологии), позволяющие снизить убытки, в противоположность продолжающейся зависимости от единственного источника даже при повышении цен на факторы «входа». Возможность расширить свое влияние на текущем и новых рынках при превышении величины фактического спроса на товар над ожидаемым является примером «атакующей» гибкости. «Защитная» гибкость позволяет сократить убытки, в то время как «атакующая» позволяет воспользоваться положительным потенциалом проекта в условиях неопределенности и необратимости. Автор приводит наглядную иллюстрацию данного утверждения (рис. 5.3).

На графике под воздействием обоих видов гибкости образуется асимметричная кривая риска, в то время как статический проект, подразумевающий отсутствие возможности принятия решения, описан симметричной огибающей риска. Воздействие гибкости смещает огибающую риска вправо, повышая стоимость инвестиционного проекта. Очевидным выводом из приведенного примера является факт недооценки стоимости реальных проектов традиционными методиками анализа [Гусев, 2009, с. 25–27].

А. Дамодаран в работе «Инвестиционная оценка: инструменты и методы оценки любых активов» пишет следующее: «Стоимость опциона обусловлена, главным образом, дисперсией денежных потоков – чем она сильнее, тем выше стоимость проекта с опционом. Таким образом, стоимость опциона на инвестирование в проект в стабильном бизнесе будет меньше стоимости опциона в условиях, когда технология, конкуренция и рынки быстро меняются [Дамодаран, 2008, с. 1034]. В статическом анализе увеличение этой неопределенности повысит риск проекта и может сделать его менее привлекательным. Когда проект рассматривается как опцион, то рост неопределенности способен на самом деле повысить, а не понизить стоимость опциона» [Там же, с. 1040].

Таким образом, наблюдается противоречие между отображением риска и неопределенности в методе NPV и в методе реальных опционов.

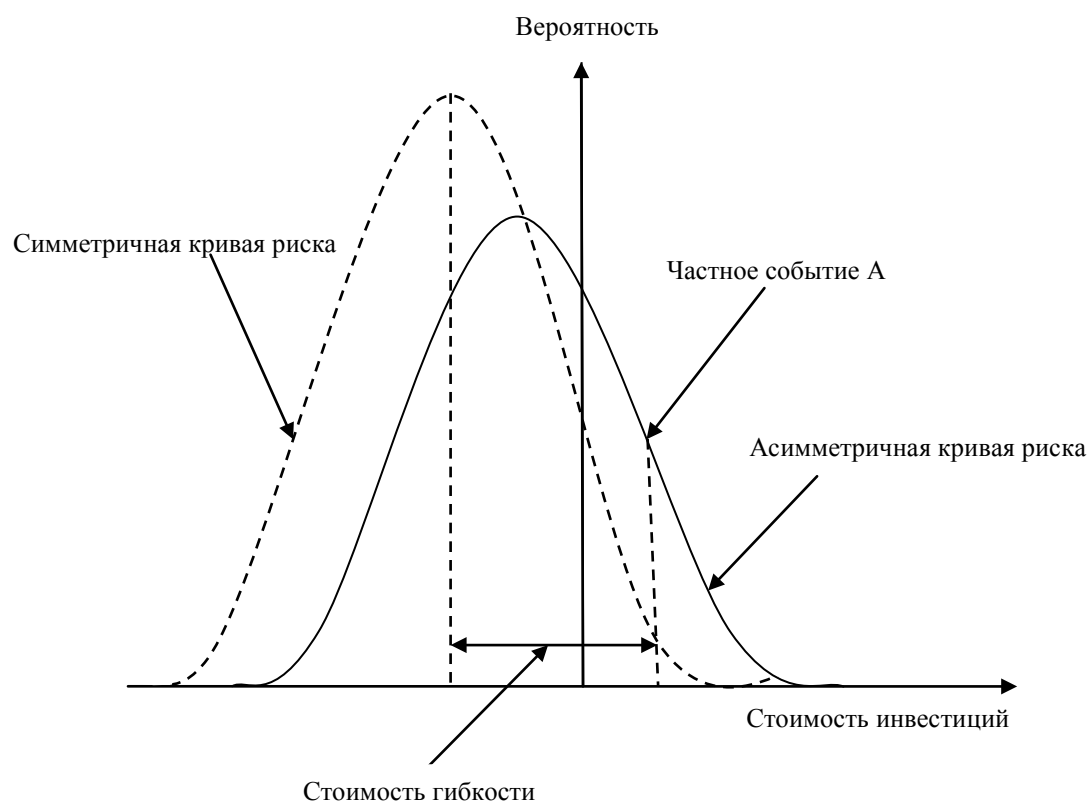


Рис. 5.3. Асимметричная огибающая риска, образованная под воздействием фактора управленческой гибкости

Источник: [Гусев, 2009, с. 26].

По нашему мнению, данное противоречие отчасти снимается тем, что неопределенность может иметь двойственное влияние на стоимость проекта, в то время как неопределенность в теории финансовых опционов всегда приводит к увеличению стоимости опциона.

В 2001 г. в одной из работ зарубежных авторов впервые было показано, что увеличение волатильности (неопределенности) реального опциона не приводит к автоматическому увеличению его стоимости, как в случае с финансовыми опционами [Huchzermeier, Loch, 2001]. В случае если наряду с ростом неопределенности потенциального выигрыша растет и неопределенность издержек и ожидаемой цены, то стоимость реального опциона может уменьшиться.

По мнению М.А. Браха [Brach, 2003], в то время как экзогенная неопределенность имеет положительную корреляцию со стоимостью проекта, техническая неопределенность является скорее недостатком, не позволяющим в полной мере использовать благоприятные возможности внешней среды [Гусев, 2009, с. 68–69].

➤ *Отношение к риску и неопределенности как к источнику ценности*

В экономической литературе доминируют два подхода к пониманию риска.

Первый подход понимает под риском исключительно потери и опасности, с которыми сталкивается предприятие в процессе своей деятельности, полагается, что риск и опасность являются синонимами. Однако это оправданно в отношении природных и техногенных катастроф, но не в случае финансового менеджмента. Похожее понимание риска присутствует в Современном экономическом словаре: риск – опасность возникновения непредвиденных потерь ожидаемой прибыли, дохода или имущества, денеж-

ных средств, других ресурсов в связи со случайным изменением условий экономической деятельности, *неблагоприятными обстоятельствами* [Райзберг и др., 2005].

Но если бы риск был связан только с ожиданием отрицательных результатов, оказалась бы совершенно необъяснимой готовность к нему предпринимателя. Ключевые слова при первом подходе – это стабильность и безопасность. Однако же стабильность в условиях конкуренции всегда означает застой и кризис. Гарантированность есть противоположность росту. Отметим, что указанный подход адекватен конкретным задачам, прежде всего это относится к страхованию.

Риск дефолта (неисполнения обязательств) является видом риска, который относится к единичному действию (дефолту), после которого история соответствующего финансового инструмента или компании-банкрота заканчивается. Риск дефолта, по существу, определяет дифференциацию цен на корпоративные облигации с постоянным купоном. Количественной оценкой риска возможных потерь является понятие Value-at-Risk (VaR), используемое в банковской практике [Бухвалов, 2004].

Согласно *второму подходу* в понятие «риск» входят неожиданные положительные и отрицательные стороны. В большинстве случаев такой риск выражается через свою количественную оценку, которая называется вариационным риском, учитывающую колеблемость вокруг среднего, или ожидаемого, значения целевого параметра. Именно такое понимание риска адекватно процессу моделирования роста.

Приведем определения риска, соответствующие *второму подходу*.

- Риск представляет собой событие, которое может произойти или не произойти. В случае совершения такого события возможны три экономических результата: отрицательный (проигрыш, ущерб, убыток), нулевой, положительный (выигрыш, выгода, прибыль).
- Предпринимательский риск – это неопределенность исхода предпринимательской деятельности, отражает степень успеха, неуспеха деятельности предпринимателя по сравнению с планируемым результатом.

По нашему мнению, риск – это не только потери и убытки, это еще и возможности положительного исхода, и предприниматель должен суметь творчески использовать эти возможности.

Второй подход к пониманию риска в большей степени соответствует подходу реальных опционов: из риска и неопределенности можно извлекать выгоду, доход. Традиционным методам оценки эффективности инвестиционных проектов (метод NPV) соответствует первое понимание риска – риска нужно избегать, предпочтение отдается менее рисковому проекту, риск нужно уменьшать посредством диверсификации и страхования.

Любой инновационный проект связан со значительной неопределенностью. Различные авторы выделяют разные виды неопределенности. Так, А. Хухценмайер и К. Лох в работе [Huchzermeier, Loch, 2001] выделяют пять видов неопределенности:

1. Неопределенность дохода, связанная с прогнозами цен и натуральных объемов продаж.
2. Неопределенность бюджета (издержек проекта).
3. Неопределенность эффективности результата (полученных характеристик инновации).
4. Неопределенность требований рынка – набора характеристик и параметров, которые рынок сочтет оптимальными для успешной инновации.
5. Изменчивость времени выполнения проекта.

В подобных условиях использование «жестких» методов прогнозирования представляется нецелесообразным, а также выбор некоторого «среднего» сценария развития

.....

события, представляется нецелесообразным. В подобных ситуациях возможно применение метода реальных опционов.

А.В. Бухвалов выделяет два вида неопределенности [Бухвалов, 2004б]:

1. Будущее является неопределенным, но неопределенность носит регулярный характер.
2. Будущее является неопределенным, но неопределенность не носит регулярный характер.

Консультанты МакКинзи, К. Хью, Д. Керкленд, П. Вичери выделяют, в свою очередь, четыре уровня неопределенности [Хью и др., 2000]:

1. Достаточно точно прогнозируемое будущее.
2. Альтернативные варианты будущего.
3. Диапазон возможных вариантов будущего.
4. Полная непредсказуемость.

Хотя деление неопределенности на уровни может быть произвольным и зависеть от типа отрасли, размеров компании, типа руководства и так далее, в общем случае можно считать, что при наличии высокого уровня неопределенности лучше использовать опционный подход, тогда как при достаточно хорошо прогнозируемом будущем можно ограничиться традиционным методом дисконтированных денежных потоков.

По мнению автора, умение извлекать выгоду из риска и неопределенности и распознавать реальные опционы, умение применять метод реальных опционов для оценки инвестиционных проектов в условиях высокой неопределенности является конкурентным преимуществом предприятия.

Г. Шик в работе [Shick, 1995] так обозначил перспективы применения метода реальных опционов: «Использование реальных опционов станет стандартным инструментом при анализе бюджетной политики фирм в ближайшие десять-двадцать лет. Фирмы, игнорирующие их, будут постоянно упускать выгодные инвестиционные проекты. Более того, они будут продавать эти невыгодные, на их взгляд, проекты фирмам, знающим их истинную цену... С течением времени эти фирмы будут медленно, но неуклонно падать в цене» (цит. по [Музыка, 2015]).

5.3. Применение метода реальных опционов в венчурном финансировании инновационных проектов в зарубежной практике: критический обзор

В России исследования, содержащие применение метода реальных опционов в венчурном финансировании инвестиционных проектов, на настоящий момент не получили распространения. Проведем обзор зарубежных исследований, в которых венчурное финансирование инвестиционных проектов рассматривается с позиции теории реальных опционов.

Проанализированные нами работы могут быть разбиты на четыре группы.

К первой группе статей относятся исследования, касающиеся оценки стоимости реальных опционов, возникающих при венчурном финансировании инвестиционных проектов.

Во второй группе статей исследуется возможность применения биномиальной модели для целей оценки реальных опционов в венчурном инвестировании.

В третьей группе статей исследуется влияние различных видов неопределенности на время получения очередной порции инвестиций от венчурного капиталиста [Li, 2008], на выбор между корпоративным венчурным финансированием и поглощением [Tong, Li (эл. ист. инф.)], на выбор венчурным капиталистом времени инвестирования в новый венчурный проект [Li, Mahoney, 2009], а также влияние неопределенности на вероятность создания стратегического альянса между корпоративным инвестором и про-

инвестированной венчурной компанией [Wadhwa, Phelps (эл. ист. инф.)]. С использованием реальных данных по венчурному инвестированию в США за ряд лет в этих статьях строятся эконометрические модели, проверяется набор гипотез.

И, наконец, четвертая группа – это статьи, в которых необходимость применения теории реальных опционов в венчурном финансировании инвестиционных проектов лишь декларируется [Kulatilaka N., Toschi (эл. ист. инф.)].

Начнем наш анализ с рассмотрения статей первой группы.

► *Представление стоимости стартапа в виде стоимости двух опционов – европейского колл-опциона и бинарного европейского колл-опциона.*

П. Боттерон и Й. Казанова развивают модель опционного ценообразования, позволяющую оценить гибкость, которую получает венчурный капиталист, когда он разбивает процесс инвестирования на стадии [Botteron, Casanova, 2003]. Авторы статьи представляют стоимость стартапа в виде стоимости двух опционов – европейского колл-опциона и бинарного европейского колл-опциона.

Предпосылки модели. Стартап X стремится получить сумму инвестиций I , чтобы начать свою деятельность в момент времени $t=t_0$. Венчурный капиталист заинтересован во вложении средств в стартап. V_t – стоимость стартапа [Botteron, Casanova, 2003, с. 5–6].

Авторы выдвигают следующие предпосылки:

1. Инвестиции I будут разделены только на две части:

1.1. «Первые» инвестиции I_0 («инвестиции посевной стадии»), которые позволяют стартапу X начать свою деятельность в момент времени t_0 и осуществлять ее в течение периода времени $[t_0, t_1]$. В обмен на инвестиции в размере I_0 венчурный капиталист получит долю в компании α (т.е. инвестор получает $\alpha \cdot V_0$), где $0 < \alpha < 1$.

1.2. Если стартап X сможет выполнить поставленные цели, венчурный капиталист осуществит вторую часть инвестиций («инвестиции венчурного капитала»), что позволит стартапу развиваться дальше. В момент времени $t=t_1$ в обмен на инвестиции I_1 венчурный капиталист получит долю β от стоимости компании (т.е. венчурный капиталист получает βV_1), где $0 < \beta < (1-\alpha)$.

2. Стартап X будет рассматривать инвестиции I_0 и I_1 как единственный источник финансирования. Венчурный капиталист обладает эксклюзивным правом осуществить «второе» инвестирование.

3. Венчурный капиталист и предприниматель совместно определяют в момент времени $t=t_0$ распределение инвестиций между I_0 и I_1 . Это распределение будет соответствовать предпочтениям и венчурного капиталиста, и предпринимателя.

4. Венчурный капиталист и предприниматель совместно определяют цель K , которая должна быть достигнута к моменту времени $t=t_1$. Цель измеряется в показателях стоимости стартапа V . Если эта цель достигается ($V \geq K$), венчурный капиталист осуществит инвестиции I_1 в обмен на дополнительную долю стоимости стартапа β .

5. Стоимость стартапа V_t рассчитывается методом чистого дисконтированного денежного потока (методом NPV).

6. r – постоянная безрисковая процентная ставка; предполагается, что инфляция отсутствует.

7. Агенты нейтральны к риску, и поэтому они дисконтируют свои будущие доходы по безрисковой процентной ставке.

8. Стартап X функционирует в «совершенном» мире с такими характеристиками, как «совершенные» ожидания и симметрия информации. Возможность создания стратегических альянсов, объединений, слияний, а также применение демпинговых стратегий исключается.

Описание модели. В момент $t=t_0$ и венчурный капиталист, и предприниматель ставят одну и ту же цель K , которая должна быть достигнута к моменту времени $t=t_1$.

Цель K – это уровень денежных потоков, соответствующий ожидаемой стоимости стартапа к моменту времени $t=t_1$ (например, V может быть смоделирована как функция от количества товаров, проданных в течение фиксированного промежутка времени. При росте уровня продаж увеличивается и стоимость стартапа V_t).

Если $V_1 \geq K$, то «вторые» инвестиции будут осуществлены. В противном случае «вторые» инвестиции не состоятся.

В соответствии с изложенными выше предположениями, венчурный капиталист инвестирует I_0 в момент времени $t=t_0$. В обмен на эти инвестиции он получит долю α от стоимости стартапа, т.е. $\alpha \cdot V_0$. Осуществив «первые» инвестиции, венчурный капиталист получает эксклюзивное право осуществить инвестиции в стартап в объеме I_1 в момент времени $t=t_1$ в обмен на долю от стоимости компании β . Таким образом, венчурный капиталист обладает правом, но не обязательством инвестировать второй блок инвестиций I_1 , если цели, обозначенные в момент времени $t=t_0$, будут достигнуты в момент t_1 .

В итоге венчурный капиталист, который владеет опционом на инвестирование суммы I_1 , получает следующие выплаты:

– Если $V_1 < K$, венчурный капиталист не будет осуществлять последующие инвестиции и не получит никаких выплат.

– Если $V_1 \geq K$, венчурный капиталист будет инвестировать I_1 и получит в обмен на эти инвестиции долю β от стоимости стартапа.

Прибыль венчурного капиталиста может быть представлена следующим образом:

$$\text{Payoff } t-t_1 = (\beta V_1 - I_1) = (\beta V_1 - \beta K + \beta K - I_1) = (\beta (V_1 - K)) + (\beta K - I_1). \quad (5.26)$$

Таким образом, стоимость стартапа может быть представлена в виде стоимости двух европейских опционов:

$$C_1 = \beta(V_1 - K_1) \text{ и } C_2 = (\beta K_1 - I_1). \quad (5.27)$$

Первый опцион, C_1 , чья цена зависит от доли β – это обычный европейский колл-опцион со следующими характеристиками: базовый актив – стартап; цена базового актива – стоимость стартапа V_t ; цена исполнения K ; волатильность σ ; время исполнения $[t_1 - t]$.

Предполагая, что стартап функционирует в риск-нейтральной окружающей среде с ликвидным рынком базового актива, стоимость опциона C_1 может быть определена по формуле Блэка-Шоулза [Black, Scholes, 1973]:

$$C_1 = VN(d_1) - Ke^{-r(t_1-t)}N(d_2), \quad (5.28)$$

$$\text{где } d_1 = \frac{\ln(V/K) + (r + \sigma^2/2)(t_1 - t)}{\sigma\sqrt{t_1 - t}}; \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t_1 - t}.$$

Второй опцион, C_2 , обладает характеристиками европейского бинарного колл-опциона, поскольку выплаты по нему связаны с V_1 не напрямую: базовый актив – стартап; цена базового актива – стоимость стартапа V_t ; цена исполнения K ; волатильность σ ; время исполнения $[t_1 - t_0]$ [Botteron, Casanova, 2003, с. 6–8].

➤ Бинарные опционы

Это один из видов экзотических опционов. Бинарные опционы названы так из-за возможности только двух исходов: либо держатель не получает ничего, либо получает заранее определенную сумму. Бинарный опцион дает его держателю право получения фиксированной суммы, если текущая цена актива на дату исполнения

(истечения в случае европейского опциона) будет выше (бинарный колл-опцион) или ниже (бинарный пут-опцион) страйковой цены.

В риск-нейтральной окружающей среде с ликвидным рынком базового актива, стоимость опциона C_2 может быть оценена с использованием следующей формулы [Wilmott, 1998]:

$$C_2 = Ke^{-r(t_1-t)} N(d_2) \quad (5.29)$$

Таким образом, стоимость инвестиций венчурного капиталиста в момент времени $t=t_0$ будет следующей:

$$E = \alpha V + C_1(\beta) + C_2(\beta, I_1) - I_0, \quad (5.30)$$

где C_1 и C_2 – стоимости европейского и бинарного колл-опционов соответственно; I_1 – инвестиции, которые осуществляются в момент времени t_1 [Botteron, Casanova, 2003, с. 8].

Формула, полученная Блэком и Шоулзом [Black, 1976] для оценки стоимости европейского колл-опциона, а также формула Геске [Geske, 1979], полученная для оценки двухстадийного составного европейского колл-опциона, применимы только для случая постоянной волатильности стоимости базового актива.

Й.-В. Хсу получил модификацию этих формул для оценки опционов с волатильностью, зависящей от времени [Hsu, 2002]. В его статье в свете проблемы принципала-агента анализируется процесс принятия решения венчурным капиталистом инвестировать поэтапно.

Венчурный капиталист может инвестировать всю сумму сразу в виде единовременной выплаты, а может разбивать инвестиции на стадии. Поэтапное финансирование рассматривается как составной европейский колл-опцион с зависящей от времени волатильностью. Составной опцион является одним из видов *экзотических опционов* [Лычагин, 2005]. Для оценки стоимости этого опциона Й.-В. Хсу получена модификация формулы Геске [Hsu, 2002]. Венчурное финансирование в виде единовременной выплаты рассматривается как простой европейский колл-опцион, но с зависящей от времени волатильностью. Для оценки стоимости этого опциона автором получена модификация формулы Блэка-Шоулза.

Поскольку из практической деятельности известно, что, как правило, венчурный капиталист не инвестирует всю сумму сразу, а разделяет процесс инвестирования на стадии, рассмотрим модификацию формулы Геске.

➤ Модификация формулы Геске

Особенность данной модели состоит в том, что в ней учтен тот факт, что риск венчурной компании изменяется с течением времени.

Описание модели. При построении модели делается предположение, что волатильность будет различной в периоды до и после T_1 .

Рассмотрим составной опцион, который дает его владельцу право заплатить цену исполнения K в момент времени T_1 , чтобы получить простой колл-опцион, который в свою очередь может быть исполнен в момент времени T_2 путем уплаты M . Делается предположение о том, что переменная V (стоимость венчурной компании) подчиняется геометрическому броуновскому движению:

$$dV = \alpha V dt + \sigma_1 V dW \quad (5.31)$$

в течение периода времени $(0, T_1)$, и

$$dV = \alpha V dt + \sigma_2 V dW \quad (5.32)$$

в течение периода времени (T_1, T_2) , где α , σ_1 и σ_2 являются постоянными в течение соответствующих периодов времени. Тогда стоимость составного опциона в текущий момент времени t будет составлять (модификация формулы Геске):

$$C = VN_2(h + \sqrt{\sigma_1^2 \tau_1}, l + \sqrt{\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2}; \rho) - Me^{-r\tau} N_2(h, l; \rho) - Ke^{-r\tau_1} N_1(h), \quad (5.33)$$

$$h = \frac{\ln \frac{V}{\bar{V}} + r\tau_1 - \frac{1}{2}\sigma_1^2 \tau_1}{\sqrt{\sigma_1^2 \tau_1}}, \quad (5.34)$$

$$l = \frac{\ln \frac{V}{M} + r\tau - \frac{1}{2}(\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2)}{\sqrt{\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2}}, \quad (5.35)$$

$$\rho = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 \tau_1}{\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2}}, \quad (5.36)$$

$\bar{V}$ – стоимость V_{T_1} такая, что

$$V_{T_1} N_1(l^* + \sqrt{\sigma_2^2 \tau_2}) - Me^{-r\tau_2} N_1(l^*) = K, \quad (5.37)$$

где l^* – стоимость l в момент времени T_1

$$l^* = \frac{\ln \frac{V_{T_1}}{M} + r\tau_2 - \frac{1}{2}\sigma_2^2 \tau_2}{\sqrt{\sigma_2^2 \tau_2}}, \quad (5.38)$$

где r – безрисковая процентная ставка;

$\tau_1 = T_1 - t$, $\tau_2 = T_2 - T_1$, $\tau = T_2 - t = \tau_1 + \tau_2$, $N_1(\cdot)$ – функция стандартного нормального распределения, $N_2(h, l; \rho)$ – функция двумерного стандартного нормального распределения.

Как показано в уравнении (5.37), для заданного σ_2 стоимость простого колл-опциона будет выше, чем цена исполнения K , если значение переменной V_{T_1} превысит $\bar{V}$ в момент времени $t=T_1$. Другими словами, владельцу опциона имеет смысл платить K , чтобы приобрести простой колл-опцион, только когда V_{T_1} превысит пороговую величину $\bar{V}$. Уравнение (5.37) также подразумевает, что, поскольку стоимость простого колл-опциона возрастает с ростом σ_2 и $\sigma_2 = k\sigma_1$, пороговое значение $\bar{V}$ является убывающей функцией от σ_1 [Huixia, Tao, 2010].

Р. Хонг, В.-В. Хе и Й.-Л. Менг развивают модель оценки элементарного составного опциона [Gong и др., 2006]. Авторы вводят зависящую от времени волатильность в модель оценки стоимости многоступенчатого составного реального опциона, основанную на модели оценки стоимости многоступенчатого составного реального опциона с постоянной волатильностью, представленную в работе В.Т. Лин [Lin, 2002].

➤ *Модель оценки многоэтапного составного реального опциона с волатильностью, зависящей от времени*

Авторы статьи [Gong и др., 2006] вводят волатильность, зависящую от времени, для того, чтобы отразить тот факт, что многоэтапный проект обычно характеризуется различным соотношением параметров риск-доходность на разных стадиях. При построении модели авторы делают следующее предположение: базовый актив генерирует денежные потоки только на стадии зрелости; моменты времени, в которые принимается решение, заданы заранее, и решение может быть принято только в эти моменты времени.

Если в данные моменты времени стоимость опциона будет больше, чем инвестиционные затраты, то опцион будет исполнен, т.е. инвестирование продолжится, в противном случае проект будет отвергнут.

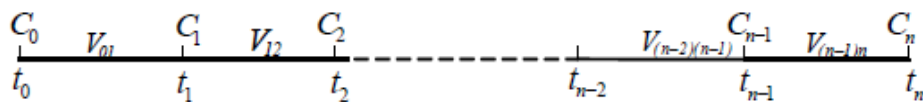


Рис. 5.4. Многостадийная модель принятия решений с волатильностью, зависящей от времени

Источник: [Gong и др., 2006].

На рис. 5.4 представлена многоэтапная модель принятия решений с волатильностью, зависящей от времени, в которой $V_{k(k+1)}(t)$ ($k = 0, \dots, n-1$) – стоимость компании в момент времени t на k -й стадии, $t \in [t_k, t_{k+1}]$. В отличие от предположения постоянной волатильности в работе [Lin, 2002] авторы работы [Gong и др., 2006] предполагают, что $V_{k(k+1)}(t)$ подчиняется следующему закону:

$$dV_{k(k+1)} / V_{k(k+1)} = \alpha_{k(k+1)} dt + \sigma_{k(k+1)} dz_k, \quad (5.39)$$

где $\alpha_{k(k+1)}$ и $\sigma_{k(k+1)}$ – текущая ожидаемая норма доходности и текущий уровень волатильности $V_{k(k+1)}(t)$, которая изменяется в зависимости от k ; dz_k – стандартный винеровский процесс, и $\text{var}(dz_k, dz_{k'}) = 0$, ($k, k' = 0, 1, \dots, n-1; k \neq k'$).

Р. Хонг, В.-В. Хе и Й.-Л. Менг представляют дифференциальное уравнение в частных производных, которому удовлетворяет реальный опцион $F_k(V_{k(k+1)}, t)$, ($k = 0, \dots, n-1; t \in [t_k, t_{k+1}]$):

$$\frac{1}{2} \sigma_{k(k+1)}^2 V_{k(k+1)}^2 \frac{\partial^2 F_k}{\partial V_{k(k+1)}^2} + (r - \delta_{k(k+1)}) V_{k(k+1)} \frac{\partial F_k}{\partial V_{k(k+1)}} + \frac{\partial F_k}{\partial t} - r F_k = 0. \quad (5.40)$$

Данные авторы обнаружили, что модель оценки стоимости многостадийного составного реального опциона с постоянной волатильностью значительно недооценивает стоимость венчурных инвестиций. Более того, они обнаружили, что модель с постоянной волатильностью переоценивает пороговую величину стоимости компании на ранних стадиях (посевная стадия и стадия start-up) и недооценивает пороговую величину стоимости компании на более поздних стадиях (стадия расширения и подготовительный этап (bridge investments)).

Таким образом, авторы приходят к выводу, что модель оценки многоэтапного составного реального опциона с постоянной волатильностью не подходит для оценки инвестиций венчурного капитала [Gong и др., 2006].

Проведем критический анализ статей *первой группы*.

В статье [Botteron, Casanova, 2003] говорится о том, что базовым активом является венчурный проект (start-up). По нашему мнению, базовым активом является не весь венчурный проект, а доля акций проинвестированной компании, поскольку венчурному капиталисту принадлежит не весь проект, а лишь доля акций. В статье [Hsu, 2002] не дается интерпретация элементов формулы Блэка-Шоулза. Во всех рассмотренных статьях анализ проводится с позиции венчурного проекта в целом. Финансовые потоки венчурного капиталиста и финансовые потоки собственно проекта не разделяются. Ни в одной из рассмотренных выше статей не проводится апробация предлагаемых моделей оценки стоимости опционов на реальных инновационных проектах с венчурным финансированием.

Общей чертой всех рассмотренных статей является высокая степень математизации при отсутствии экономической интерпретации параметров, входящих в предлагаемые авторами модели оценки стоимости реальных опционов в венчурном инвестировании. Кроме того, во всех статьях рассматриваются опционы европейского типа (исполнение на определенную дату). Во всех рассмотренных выше статьях интерпретация венчурных вложений дается только через опцион «колл».

Также к статьям с высокой степенью математизации можно отнести и работу [Cossin и др., 2002] (в нашем исследовании данная статья не вошла ни в одну из четырех групп). В данной статье проведен анализ стоимости ключевых условий венчурного контракта. Авторы показали, что оценка стоимости венчурного контракта схожа с оценкой стоимости портфеля финансовых опционов. Каждое условие договора представляет собой опцион. При оценке стоимости венчурного контракта помимо непосредственно стоимости венчурного проекта необходимо учитывать и стоимость портфеля реальных опционов [Там же, с. 4].

Каким образом возможно оценить стоимость этих реальных опционов, с использованием каких моделей – данный вопрос в указанной выше статье не рассматривается. Авторы предлагают различать понятия «стоимость венчурного проекта» и «стоимость венчурного контракта». Стоимость венчурного контракта складывается из стоимости венчурного проекта и, например, стоимости права на ликвидационную привилегию. Однако же и стоимость самого венчурного проекта, помимо дисконтированной стоимости будущих денежных потоков по проекту, включает в себя стоимость реальных опционов, например стоимость опциона «колл» на поэтапное инвестирование. Данная сторона вопроса в статье не исследуется.

Во второй группе статей рассмотрим две работы.

В работе [Huixia, Tao, 2010] используется биномиальная модель оценки стоимости опциона для случая венчурного финансирования, рассматривается опцион американского типа. Однако же специфика венчурного финансирования не анализируется. Не дается обоснование, почему для случая венчурного финансирования выбирается именно биномиальная модель. Апробация биномиальной модели на реальных данных по инновационному проекту с венчурным финансированием не проводится.

Авторы статьи [Seppa, Laamanen, 2001] подтвердили пригодность биномиальной модели для целей оценки стоимости реальных опционов в венчурном инвестировании. Используя данные оценки 429 сделок по венчурному финансированию в США и 178 IPO, авторы протестировали предсказательную силу биномиальной модели и пришли к выводу, что для целей оценки венчурных инвестиций биномиальная модель подходит больше, нежели традиционный метод NPV [Там же, с. 1].

Проанализируем третью группу статей.

В статье [Li, 2008] решение инвестировать поэтапно представляется как выбор между владением опционом на задержку инвестиций и инвестированием сейчас для того, чтобы приобрести опцион на инвестирование в последующие этапы (опцион на поэтапное инвестирование). Предполагается, что принятие решения инвестировать поэтапно зависит от факторов, влияющих на стоимость этих двух опционов. Это конкуренция и различные источники неопределенности [Там же, с. 497].

Авторы статьи анализируют время получения очередной порции инвестиций от венчурного капиталиста, используя данные по венчурным инвестициям в США за период с 1975 по 2005 год [Li, 2008, с. 502]. Автор статьи выдвигает ряд гипотез относительно влияния рыночной неопределенности, уровня конкуренции среди венчурных капиталистов, неопределенности, связанной со спецификой проекта, асимметрии информации, а также проблемы принципала-агента на время получения очередной порции инвестиций от венчурного капиталиста.

Эмпирические результаты свидетельствуют о том, что в условиях высокого уровня рыночной неопределенности венчурные фонды склонны откладывать инвестирование на очередном раунде финансирования, поскольку рыночная неопределенность увеличивает стоимость опциона на задержку инвестиций, тогда как конкуренция, внутренняя неопределенность, связанная со спецификой проекта, информационная асимметрия и проблема принципала-агента побуждают венчурных капиталистов инвестировать быстрее [Li, 2008, с. 497].

В статье [Tong, Li (эл. уст. инф.)] выдвигается ряд гипотез относительно влияния неопределенности на выбор между корпоративным венчурным финансированием и поглощением в условиях невозвратности венчурных инвестиций, конкуренции и при наличии возможностей роста. Для проведения анализа авторы строят две probit-модели. В статье говорится о том, что, осуществляя первоначальные инвестиции, венчурные капиталисты приобретают опцион на расширение, опцион на отказ от проекта и опцион на задержку инвестиций [Tong, Li (эл. уст. инф.)].

По нашему мнению, при венчурном финансировании инновационного проекта все эти три вида реальных опционов можно «свести» к одному виду, который будет отражать специфику венчурного финансирования – это составной колл-опцион на поэтапное инвестирование.

Проведенный авторами статьи анализ выявил следующее: необратимость инвестиций увеличивает склонность компаний к осуществлению корпоративного венчурного финансирования, в то время как возможности роста ослабляют предпочтение корпоративного венчурного финансирования по сравнению с поглощением в условиях неопределенности [Tong, Li (эл. уст. инф.), с. 24].

В статье [Li., Mahoney, 2009] исследуется влияние рыночной неопределенности на выбор времени инициации нового венчурного проекта. Анализ венчурных инвестиций в США за период с 1980 по 2007 год показал, что венчурные капиталисты склонны откладывать инвестирование в новые инвестиционные проекты в целевых отраслях со значительной рыночной волатильностью. Этот «эффект задержки» из-за рыночной волатильности уменьшается, если целевая отрасль испытывает высокий рост объема продаж, или если в целевой отрасли конкуренция среди венчурных капиталистов значительна [Там же].

Авторы статьи [Wadhwa, Phelps (эл. уст. инф.)] характеризуют корпоративное венчурное инвестирование как двухстадийный составной опцион [Там же, с. 6]. Первоначальная венчурная инвестиция создает составной опцион роста. Формирование стратегического альянса с портфельной компанией рассматривается как исполнение второй стадии данного опциона [Там же, с. 4]. Авторы доказывают, что на исполнение второй стадии опциона роста влияют два типа внешней неопределенности: неопределенность, связанная непосредственно с венчурной компанией, и неопределенность, связанная с конкуренцией [Там же, с. 7]. Анализируется выборка, содержащая 256 пар «инвестор–венчур», включающая в себя 28 компаний-производителей телекоммуникационного оборудования, которые инвестировали в 228 новых венчуров. Строится logit-модель.

Рассмотрим последнюю четвертую группу статей.

Н. Кулатилака и Л. Тоши применяют теорию реальных опционов для анализа выбора корпорациями механизма корпоративного венчурного финансирования в условиях неопределенности (поглощение, создание стратегического альянса, совместное предприятие, непосредственно корпоративное венчурное финансирование) [Kulatilaka, Toschi (эл. уст. инф.)].

Отметим также работу [Vanhaverbeke и др., 2008], в которой с позиции концепции реальных опционов анализируются преимущества внешнего корпоративного венчурного финансирования как специфической практики «открытых инноваций» [Там же, с. 265].

В статье говорится о необходимости учета стоимости реальных опционов, но как оценить эту стоимость, с использованием каких моделей – данный вопрос в статье не рассматривается [Baranov., Muzyko, 2014].

Авторы данной группы статей говорят о полезности использования теории реальных опционов в анализе венчурного финансирования, однако ограничиваются лишь пространными рассуждениями на эту тему без проведения какого-либо анализа моделей оценки стоимости реальных опционов, возникающих при венчурном финансировании инвестиционных проектов, а также без проведения каких-либо расчетов [Музыко, 2011].

5.4. Использование нечетко-множественного подхода в инвестиционно-инновационном анализе

Начало развитию теории нечетких множеств положила основополагающая статья «Fuzzy sets» («Нечеткие множества»), опубликованная профессором из США Л. Заде [Zadeh, 1965], который впервые ввел понятие «нечеткого множества», предложил идею и первую концепцию теории, которая давала возможность нечеткого описания реальных систем.

Область математики, имеющая дело с неточной информацией, получила наименование *теории нечетких множеств*. Эта теория, во взаимодействии с обычной математикой, позволяет обрабатывать и использовать информацию любого вида. Она открывает новые и очень интересные возможности и перспективы для науки и техники [Пегат, 2011, с. 11].

Концепция нечетких множеств, предложенная проф. Л. Заде, вызвала неоднозначную реакцию в научном сообществе. С одной стороны, постоянно росло число сторонников этой концепции, осознавших потенциальные возможности нечетких множеств для решения разнообразных прикладных задач. Но, с другой стороны, имелось и весьма значительное число противников этого подхода (и достаточно часто из числа известных ученых и специалистов), которые резко выступали против этого нарождавшегося класса средств моделирования. Одним из их аргументов было отсутствие прикладных результатов.

Ситуация изменилась с середины 1980-х годов, когда начался так называемый «бум нечеткости». Первоначально он возник в Японии, затем в Корее и Европе, в существенно меньшей степени – в США. Решающую роль в этом процессе сыграло появление на рынке разнообразных устройств, основанных на использовании нечеткой логики, применявшихся для решения задач управления поездами метрополитена, подъемными кранами, лифтами и т.д. Они были первыми успешными примерами применения методов нечеткого управления, основы которого заложили такие исследователи, как Мамдани, Сугено, Такаги и др. [Пегат, 2011, с. 9]. Важнейшим направлением теории нечетких множеств является *нечеткая логика* [Zimmermann, 1994], применяемая для управления системами, а также в экспериментах по формированию их моделей [Пегат, 2011, с. 19].

Подобно робототехнике нечеткая логика была с большим интересом встречена не в стране своего происхождения, США, а за ее пределами, и как следствие этого, первый опыт промышленного использования нечеткой логики – для управления котельными установками электростанций [Assilian, 1974] – связан с Европой. Все попытки использовать для управления паровым котлом традиционные методы, порой весьма замысловатые, оканчивались неудачей – настолько сложной оказалась эта нелинейная система. И только применение нечеткой логики позволило синтезировать регулятор, который удовлетворял всем требованиям. В 1976 г. нечеткая логика была положена в основу системы автоматического управления карусельной печью в производстве цемента

[Mamdani, 1977]. И тем не менее, первые практические результаты применения нечеткой логики, полученные в Европе и США, не вызвали какого-либо значительного повышения интереса к ней в этих странах. Точно так же, как было с робототехникой: страной, которая первой начала повсеместное внедрение нечеткой логики, осознав ее огромный потенциал, стала Япония [Bellon и др., 1992].

Среди созданных в Японии прикладных нечетких систем наибольшую известность получила разработанная компанией Hitachi система управления поездами метрополитена в г. Сендай. Реализация проекта велась с участием опытного машиниста, знания и опыт которого легли в основу разработанной модели управления. Система автоматически снижала скорость поезда при подъезде его к станции, обеспечивая остановку в требуемом месте. Еще одним преимуществом поезда была его высокая комфортабельность, обусловленная плавностью набора и снижения скорости [Abel, 1991].

Сразу же внимание огромного числа исследователей привлекла проблема взаимосвязи между двумя подходами к описанию неопределенности после введения понятия нечеткого множества Л. Заде: теоретико-вероятностным и нечетко-множественным. Здесь следует упомянуть публикации [Loginov, 1966; Zadeh, 1968; Chang, 1968; Адавич и др., 1970; Bellman, 1971; Asai, Kitajima, 1971; Banaschewska, 1971; Bezdek, 1973; Giles, 1974; Kandel, 1973; Wong, 1973] и многие-многие другие.

Исследования тех лет носили в существенной степени академический характер и имели крен в направлении интерпретации теории нечеткости как нечеткой логики. В дальнейшем стали развиваться приложения теории нечеткости, и сразу же была замечена связь нечеткого множества со случайным множеством (см. например [Заде, 1976; Круглов и др., 2001; Батыршин и др., 2007]).

Развитие приложений теории нечетких множеств в последние годы приводит к выделению макро- и микропроцессов как отдельных групп. В каждой группе есть свои особенности описания неопределенности.

Результаты по исследованию неопределенности макроэкономических процессов с использованием теории нечетких множеств в основном получены с применением стохастического алгоритма (см. [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012]). Они содержатся в публикациях А.О. Баранова, В.Н. Павлова по среднесрочному прогнозированию российской экономики с использованием межотраслевых динамических моделей за период 2008–2017 гг. (см., например [Исследование..., 2009]).

Применение теории нечетких множеств в исследовании финансовой сферы наиболее полно отражены в публикациях А.О. Недосекина и его учеников за 2003–2017 гг. (см., например [Недосекин, 2003]). Применение данной теории к исследованию технологических вопросов добычи нефти и газа можно найти в работах [Карачурин, 1997; Алтунин, 2002; Оразбаев, Муханбеткалиева, 2007; Иванов, Кононов, 2012; Горшкова, 2015] и др.

Неопределенность является всеобъемлющим свойством материального мира и систематически проявляет себя во всех жизненных процессах. В настоящее время ни одна область научных исследований не может обойти это обстоятельство.

Микромир – область, в которой неопределенность материального мира проявляется в наибольшей степени. Например, в таком высокотехнологичном объекте, как персональный компьютер, современные операционные системы содержат сотни тысяч процедур, результат функционирования которых зависит от температурного и других параметров эксплуатации, и которые совершенно непредсказуемо могут проявить себя при изменении этих параметров. Особенность проявления неопределенности в различных процессах отражается в специальных методах ее математического описания. Так, в квантовой физике неопределенность микромира описывается в форме соотношения неопределенности В. Гейзенберга; в статистической физике – кинетическими уравнениями.

В макропроцессах, в которые вовлечены большие объемы материи и энергии, роль неопределенности существенным образом меняется. Здесь для ответа на многие вопросы, интересующие исследователя, можно отказаться от рассмотрения неопределенности, однако, это не будет означать, что неопределенность отсутствует в этих макропроцессах. Просто, ее влияние на окончательный вывод уменьшается.

Для математического исследования неопределенности в настоящее время разработаны две теории: теория вероятностей и теория нечеткости.

В теории вероятностей неопределенность интерпретируется как случайность. Для количественного измерения неопределенности здесь используется теория меры. Значения параметров ω , описывающих исследуемый процесс, предполагаются точками некоторого вероятностного пространства $\omega \in \Omega$ с вероятностной мерой p . Для каждого события $A \subseteq \Omega$ число $p(A)$ называется вероятностью того, что состояние ω принадлежит множеству $A(\omega \in A)$.

Основным объектом теории нечеткости является нечеткое множество, которое обобщает понятие четкого (канторовского или классического) множества по следующей схеме.

Хорошо известно, что между канторовскими подмножествами $A \subseteq X$ и характеристическими функциями $f_A : X \rightarrow \{0; 1\}$,

определенными формулой

$$f_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \in A \\ 0, & \text{if } x \notin A \end{cases}, \quad (5.41)$$

может быть установлено взаимно однозначное соответствие. Обобщая понятие характеристической функции множества, каждому нечеткому подмножеству $A \subseteq X$ можно поставить в соответствие функцию принадлежности

$$\chi_A : X \rightarrow [0; 1], \quad (5.42)$$

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

В настоящее время в России отмечается активная научная деятельность по разработке методических и методологических вопросов применения нечетко-множественных методов в анализе венчурного финансирования инновационных проектов и оценке дохода исполнения реальных опционов. Это подтверждается большим количеством диссертаций, защищенных российскими экономистами по этой тематике¹. Так, например, в работе В.П. Акиншиной изучается применение нейронных сетей и нечеткой кластеризации к анализу финансовой устойчивости [Акинина, 2011]. Г.Ф. Гареев предлагает нечетко-множественные методы при анализе многокритериальности венчурного финансирования [Гареев, 2009].

Сравнительный анализ применения теории нечетких множеств и классического вероятностного подхода к оценке возможности неблагоприятного исхода венчурных инвестиций выполнен в работе [Трифонов, 2009]. Применение моделей нечеткой логики

¹ Подавляющее большинство этих исследований базируется на результатах докторской диссертации А.О. Недосекина [Недосекин, 2003], где автор разработал основополагающие подходы к нечетко-множественному анализу финансовых процессов.

к анализу рисков осуществлено в диссертации [Абдулаева, 2013]. В работе А.О. Недосекина, З.И. Абдулаевой, Е.И. Нарышкиной рассматривается нечетко-множественная оценка стоимости реального опциона на основе арифметики Дюбуа-Прада [Недосекин и др. (эл. ист. инф.]. Различные аспекты и свойства реальных опционов и венчурного финансирования инноваций исследуются на языке теории нечетких множеств в публикациях [Медников, 2008; Клементьева, 2006; Ильин, 2009; Кальченко, 2012].

Кратко остановимся на зарубежных публикациях по исследуемой проблематике. В работе [Uçal, Kahraman, 2009] предложена модель оценки реальных опционов с использованием метода нечетких множеств в нефтегазовом секторе. Модель с нечеткими параметрами разработана в статье [Zhang, 2012] для оценки эффективности венчурных инвестиций. Метод нечетких множеств в совокупности с методом реальных опционов в [Mao, Wu, 2011] применен для оценки уровня рисков инвестирования в недвижимость. В работе [Carlsson и др., 2007] развивается методология оценки реальных опционов, характерных для R&D-проектов, когда будущие денежные потоки оцениваются с помощью метода нечетких множеств.

Модель оценки стоимости реальных опционов с нечеткими параметрами для оценки эффективности инвестиций в сфере строительства предложена в работе [Wang и др., 2015]. В статье [Wu, 2007] теория нечетких множеств применена для определения границ, в пределах которых может варьироваться стоимость финансовых опционов «пут» и «колл» европейского типа. Используется нечеткая процентная ставка, нечеткая волатильность и нечеткая цена базового актива опциона. В [Carlsson, Fuller, 2003] текущая стоимость ожидаемых денежных потоков и ожидаемых затрат по инвестиционному проекту оценивается с использованием нечетких множеств.

Отличительной особенностью нашего подхода является синтез теоретико-вероятностных и нечетко-множественных методов в анализе венчурного финансирования инвестиционных проектов на основе реальных опционов [Музыка, Маслов, 2015].

5.5. Синтез метода реальных опционов и метода нечетких множеств для оценки эффективности инновационных проектов: критический обзор зарубежных исследований

Применение метода нечетких множеств в совокупности с методом реальных опционов для оценки эффективности инновационных проектов, в работах российских исследователей на настоящий момент не получили распространения в отличие от 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 широка: Финляндия, Венгрия, Китай, Великобритания, Швейцария, Турция, Чехия, Италия, Южная Корея, Германия, США, Канада, Иран и др.

Мы анализировали публикации по следующим критериям:

- направление исследований;
- нечеткие «входные» параметры;
- тип нечетких чисел;
- тип реального опциона;
- модель оценки опциона;
- наличие апробации.

По причине ограниченности объема монографии приведем некоторые из рассмотренных нами зарубежных публикаций, в которых метод реальных опционов в

.....

совокупности с методом нечетких множеств применяется для оценки эффективности инновационных проектов.

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).

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).

В *третьей группе* статей исследуется проблема выбора оптимального портфеля R&D проектов с использованием аппарата нечетких множеств и концепции реальных опционов.

К *четвертой группе* статей относятся работы, в которых инструмент нечетких множеств в сочетании с методом реальных опционов используется для оценки инвестиций в недвижимость.

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

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

Начнем наш анализ с рассмотрения статей *первой группы*.

В работе [Carlsson, Fuller, 2003] 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 данной 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, и таким образом, использование теории вероятностей может быть оправдано.

По мнению авторов данной статьи, ситуация с реальными опционами совершенно иная. Опцион на отсрочку инвестиций, характерный для мега-проектов и мега-инвестиций, будет 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 понять проблему, когда они будут принимать решение об инвестировании [Carlsson, Fuller, 2003, с. 310–311]. Свою модель авторы апробировали на примере телекоммуникационной отрасли (компания Nordic Telekom Inc. – оператор мобильной связи в Европе).

Проведенный авторами указанной 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, приме-

няемых для оценки стоимости реальных опционов, взятых из финансового сектора (модель Блэка-Шоулза и ее модификации).

В статье [Magni и др., 2004] исследуется оценка стратегических реальных опционов. Авторы рассматривают следующие виды опционов: 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 данной 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, т.е. они признают наличие реальных опционов в анализируемом ими инвестиционном проекте, но способ их оценки без моделей представляется довольно странным или прописанным неясно, что заводит читателя в тупик.

Также авторы указанной 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 употребляются 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.

В статье [Arasteh, Aliahmadi, 2014] развивается модель оценки эффективности инвестиционных проектов в условиях высокой степени неопределенности. Авторы отмечают, что метод реальных опционов все 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 моделирование стоимости базового актива реального опциона с использованием геометрического броуновского движения и предположение фиксированной цены исполнения опциона [Там же, с. 1377]. В данной 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 [Zmeškal, 2010] 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, соответственно, стоимость самого опциона также становится нечеткой. Автором используются нечеткие числа трапецевидного типа. Приводится числовой пример расчета стоимости американского реального колл-опциона по этой модели.

В работе [Liao, Ho, 2010] предлагается 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 по реальному инвестиционному проекту. 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 [Carlsson и др., 2010] 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 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 [Wang и др., 2015] 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 используется тип опциона и какая применяется модель для оценки этого опциона. Также страдает содержательная экономическая интерпретация полученных результатов. Апробация выводов данного исследования осуществлена на конкретном проекте в сфере проектирования и строительства гражданских объектов.

В статье [Ho, Liao, 2011] 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 необоснованное значение безрисковой ставки процента.

Проанализируем статьи *второй группы*.

В статье [Zhang и др., 2006] представлена нечеткая скачкообразная модель для оценки стоимости реального опциона в сфере R&D (research and development – научные исследования и разработки).

В работе [Carlsson, Fuler, 2003] утверждается, что текущая стоимость ожидаемых денежных потоков по проекту обычно не может быть оценена одним 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, Lint, 1997] для оценки R&D опционов.

Авторами статьи [Pennings, Lint, 1997] представлен новый теоретический подход, развив стохастическую скачкообразную амплитудную модель в ключе реальных опционов, которая оказалась более близка к реальности. Вместо геометрического броуновского движения авторами статьи был использован скачкообразный процесс, для того чтобы показать изменения в стоимости базового актива, которое больше подходит для описания базового актива R&D проекта. Для того чтобы рассчитать стоимость опциона, необходимо оценить неизвестные ключевые параметры, связанные с числом скачков и с 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 лучше. Классическая скачкообразная модель не всегда позволяет точно подтвердить некоторые важные параметры, именно поэтому авторы статьи [Zhang и др., 2006, с. 806] применяют случайную нечеткую теорию, которая позволяет преодолеть недостатки подобного рода. Преимуществом случайной нечеткой скачкообразной модели является инкорпорированность субъективных оценок менеджеров в скачкообразную модель. Также случайная нечеткая теория может справиться с проблемами, которые возникают из-за того, что функции распределения сложно подтвердить с высокой степенью точности [Там же, с. 798].

Как известно, формула Блэка-Шоулза [Black, Scholes, 1973] обладает двумя недостатками.

Во-первых, она предполагает, что изменение стоимости базового актива подчиняется броуновскому движению, которое подразумевает непрерывное поступление информации, изменяющей переменную, лежащую в основе базового актива. Проблема состоит в том, что на финансовых рынках 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 обусловит то, что на рынке реальных активов текущая стоимость будущих денежных потоков не будет непрерывно корректироваться менеджерами. Она будет регулироваться только тогда, когда появится стратегически важная информация [Pennings, Lint, 1997].

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) [Mun, 2010 (эл. ист. инф.)]. 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 метода нечетких множеств в оценку стоимости реальных опционов.

В статье [Karsak, 2010] 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, с. 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, которые работают в волатильных и сложнопрогнозируемых отраслях, таких как электроника, телекоммуника-

ции и биотехнологии [Dixit, Pindyck, 1995]. 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 компанией в многоступенчатом контексте, предоставляет инструмент для последующего пересмотра решения в связи с поступлением новой информации. Апробация в данной статье проводится на примере высокотехнологичной фирмы, которая анализирует шесть R&D-проектов, где каждый R&D-проект включает в себя две стадии инвестирования: первоначальную стадию и стадию развития.

В статье [Tolga и др., 2008] также производится оценка эффективности R&D-проектов. Авторы данной статьи используют формулу Геске в нечетком виде из работы [Wanga, Hwang, 2007], а также формулы, полученные в работе [Carlsson, Fuller, 2003]. 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 [Bednyagin, Gnansounou, 2011] 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 работе 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 расширение масштаба научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и производства, если рыночные условия благоприятны, или отказ от инвестирования, если процесс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ достиг тупика. В результате стратегическая ценность любого R&D-проекта обычно превышает его чистую приведенную стоимость (NPV), рассчитанную традиционным методом дисконтированных денежных потоков.

Сначала авторами вышеуказанной 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-Рубинштейна, и стоимость двухстадийного составного опциона с постоянной волатильностью по модели Геске (все 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 [Bednyagin, Gnansounou, 2011, с. 129].

По мнению авторов указанной выше статьи стоимость составного опциона может быть оценена с помощью дифференциальных уравнений при использовании алгоритма решения, предложенного в работе [Carr, 1988], основанного на более ранних работах [Margrabe, 1978] и [Geske, 1979]. Также решение можно найти путем конструирования биномиальной или мультиномиальной решетки, используя программные продукты, например «Real Options Super Lattice Solver» [Mun..., (эл. ист. инф.)]. 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 [Bednyagin, Gnansounou, 2011, с. 128].

Таким образом, в статье [Bednyagin, Gnansounou, 2011] используются три различные модели оценки реальных опционов, начиная от «базовой» модели колл-опциона до более сложных моделей составных реальных опционов, используя и четкие, и нечеткие числа. 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 [Там же, с. 116]. Данная статья прикладная, имеет практический характер. Несомненным достоинством данной статьи является содержательная интерпретация полученных результатов: интерпретация стоимостей полученных реальных опционов в нечетком виде.

Перейдем к рассмотрению *статей третьей группы*.

В статье [Carlsson и др., 2007] 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 [Wanga, Hwang, 2007] также является формирование оптимального портфеля R&D-проектов. Метод реальных опционов получил за рубежом огромное распространение в последние годы, поскольку первоначальные инвестиции в R&D-проект схожи с покупкой опциона на будущие инвестиции. R&D-проект обычно включает в себя несколько стадий, и лица, принимающие решения, имеют выбор (опцион): прекратить инвестирование или отложить инвестирование в проект в конце каждой стадии. 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, которая включает в себя опционы, чья стоимость зависит от стоимости других опционов. В данной статье модель составных опционов Геске ([Geske, 1979]) расширена с использованием теории нечетких множеств с целью оценки стоимости R&D-проекта, так как будущие денежные потоки трудно спрогнозировать одним единственным числом. Проводится апробация на примере фармацевтической промышленности.

В статье [Hassanzadeh и др., 2012] автор использует нечеткие числа треугольного вида для оценки эффективности R&D-проектов и формирования оптимального портфе-

.....

ля проектов. В качестве нечетких параметров выступают текущая стоимость ожидаемых денежных потоков и текущая стоимость ожидаемых затрат. Апробация, как и в статье [Wanga, Hwang, 2007], проводится на примере проекта в фармацевтической промышленности.

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

Проанализируем *четвертую группу статей*.

Это, например, работа [Mao, Wu, 2011], в которой применяются методы реальных опционов и нечетких множеств для оценки инвестиционного проекта в сфере недвижимости, с использованием моделей, полученных в статье [Carlsson, Fuler, 2001], и формулы Блэка-Шоулза, полученной 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.

Пятую группу статей рассмотрим на примере такой работы, как [Zmeřkal, 2001].

В статье [Zmeřkal, 2001] 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 опциона «колл» – тоже нечеткая. Иллюстрация модели приводится на числовом примере – оценке стоимости авиакомпания.

Шестая группа содержит статьи, в которых оценивается эффективность инвестиций в информационные технологии ([Tao и др., 2007a; Tao и др., 2007b; Lee Y.-C., Lee S.-S., 2011; You и др., 2012]). Две из четырех упомянутых выше работ [Tao и др., 2007a; Tao и др., 2007b] 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 опциона «колл» применяется модель Блэка-Шоулза в нечетком виде. В результате того, что «входным», хотя 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 следующих статей: [Carlsson, Fuler, 2001; 2003].

Общим и главным недостатком рассмотренных статей является отсутствие экономической содержательной интерпретации полученных оценок стоимости реального опциона при наличии высокой степени математизации в ходе исследования. Однако существенное преимущество данных работ по сравнению с работами некоторых других авторов из области оценки эффективности инновационных проектов с помощью методов реальных опционов и нечетких множеств является наличие апробации используемых подходов. Так, например, в рамках статьи [Tao и др., 2007] авторы апробируют предлагаемую модель на примере атомной электростанции в Китае с целью оценки эффективности инвестиций в сфере информационных технологий.

Для оценки нечеткого реального опциона авторы статьи [Lee Y.-C., Lee S.-S., 2011] также апробируют подходы и методы, предложенные ранее авторами статьи [Carlsson, Fuler, 2003], а именно: используют формулы для расчета математического ожидания и дисперсии для нечетких чисел и модель Блэка-Шоулза в нечетком виде. В рамках данного исследования «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 [You и др., 2012] 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. В России подобные исследования на настоящий момент не получили распространения. Поэтому наше внимание было сосредоточено на анализе зарубежных публикаций. Были выявлены следующие направления исследований в выбранной области: оценка эффективности стратегических мега-инвестиций, 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. Применяются такие модели оценки реального опциона, как модель Блэка-Шоулза в нечетком виде (в подавляющем большинстве работ), модель Геске в нечетком виде, биномиальная модель (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.

Итак, нами были выявлены следующие недостатки проанализированных публикаций: 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 направлению исследования – использование метода реальных опционов и аппарата нечетких множеств для оценки эффективности венчурного финансирования инновационных проектов.

5.6. Отражение научного интереса к применению метода нечетких множеств для анализа эффективности инвестиционных и инновационных проектов в диссертационных исследованиях в России

Начало современной теории нечеткости было положено в 1965 г. американцем Лотфи А. Заде. Он рассматривал эту теорию как аппарат анализа и моделирования гуманистических систем, то есть систем, в которых участвует человек. Предложенный им подход опирался на предпосылку о том, что элементами мышления человека являются не числа, а элементы некоторых множеств, для которых переход от «принадлеж-

ности» к «непринадлежности» не скачкообразен, а непрерывен. Поэтому данный метод был замечен и начал активно использоваться учеными-экономистами, которые в своих работах постоянно сталкиваются с неопределенностью – характерной чертой экономической системы, как и системы гуманистической.

Проанализируем работы российских исследователей (кандидатские и докторские диссертации), в которых метод нечетких множеств применяется для анализа эффективности инвестиционных и инновационных проектов.

Перечень и направления диссертационных исследований

В целом, невзирая на различия в объектах и предметах цели исследовательских работ можно охарактеризовать следующим образом:

- разработка методик и инструментов для оценки эффективности инвестиционных проектов предприятиями в различных отраслях экономики;
- разработка методик и инструментов для оценки эффективности инвестиционных проектов и формирования инвестиционного портфеля;
- разработка методик и инструментов для оценки эффективности инвестиционных проектов финансовыми организациями;
- разработка методик и инструментов для оценки инновационных проектов в различных отраслях экономики;
- автоматизация принятия решений на предприятии;
- разработка методик и инструментов для оценки эффективности региональных и государственных инвестиционных проектов;
- разработка рекомендаций по формированию венчурного капитала, механизма оценки экономической эффективности венчурных инвестиций, а также по управлению венчурным процессом.

Следует отметить, что мы не претендуем на полноту списка и допускаем наличие неучтенных работ в смежных с описываемой нами сферах (табл. 5.4). Однако предлагаемый перечень включает основные труды по заданному направлению исследований, подготовленные за период 1998–2017 гг. (табл. П4 Приложения).

Несмотря на то что некоторые названия работ не включают в явном виде затрагиваемый нами вопрос о применении теории нечетких множеств в проектном анализе, тем не менее в самом исследовании этот аппарат был использован.

Таблица 5.4

Содержание кодов анализируемых диссертационных исследований по номенклатуре специальностей научных работников (в соответствии с приказом Министерства образования и науки РФ № 59 от 25.02.2009 г.)

№	Шифры специальностей ВАК (по номенклатуре специальностей 2009 г.)	Специальности
1	2	3
1	05.13.06	Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)
2	05.13.10	Управление в социальных и экономических системах
3	05.13.09	Управление в биологических и медицинских системах (включая применение вычислительной техники)
4	05.13.16	Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети
5	05.13.14	Системы обработки информации и управления

Окончание табл. 5.4

1	2	3
6	05.13.18	Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ
7	08.00.05	Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности, в т.ч.: экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами; управление инновациями; региональная экономика; логистика; экономика труда; экономика народонаселения и демография; экономика природопользования; экономика предпринимательства; маркетинг; менеджмент; ценообразование; экономическая безопасность; стандартизация и управление качеством продукции; землеустройство; рекреация и туризм)
8	08.00.10	Финансы, денежное обращение и кредит
9	08.00.12	Бухгалтерский учет, статистика
10	08.00.13	Математические и инструментальные методы экономики
11	25.00.21	Теоретические основы проектирования горно-технических систем

Таблица составлена авторами.

Статистика диссертационных исследований

В приведенном в Приложении (табл. П4) списке представлены диссертационные исследования, объект, предмет, цели или задачи которых связаны с применением нечетких множеств в инвестиционном либо инновационном анализе.

Динамика числа исследовательских работ по применению теории нечетких множеств показывает некоторую изменчивость (рис. 5.5). Следует отметить, что наибольший интерес к данной теме просматривается в период 2003–2007 гг. и набирает свой максимум в 2006 г., здесь мы видим внимание как со стороны экономистов, так и со стороны представителей технических специальностей. Однако не следует забывать, что диссертационные исследования ведутся более чем один год, поэтому данная статистика включает в себя некоторый накопительный эффект.

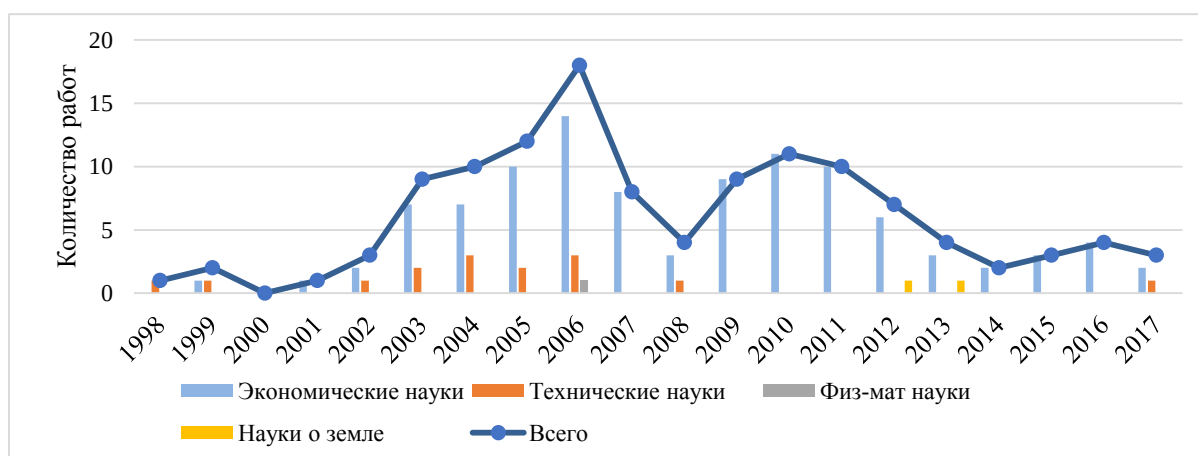


Рис. 5.5. Динамика диссертационных исследований в РФ, в которых метод нечетких множеств применяется для целей инвестиционно-инновационного анализа

Вторая волна исследований по данной теме началась после 2008 г., возможно, такая динамика обусловлена кризисными явлениями в экономике России и, как следствие, усилением неопределенности, с которой позволяет работать аппарат нечетких множеств.

Структура работ по кодам паспорта специальностей ВАК РФ дает нам следующую картину (табл. 5.5). Как и следовало ожидать, наибольшее число работ было выполнено в рамках экономических исследований (более 85%), так как инвестиции главным образом являются объектом изучения ученых-экономистов. Тем не менее тема была интересна и для специалистов технических наук, которые главным образом старались создать механизмы применения теории нечетких множеств на практике, автоматизировать процессы выбора проектов предприятиями. В основном данным вопросом занимались специалисты в области управления народным хозяйством (49%) и в сфере математических методов в экономике (23%).

Таблица 5.5

Количество подготовленных диссертаций по кодам паспорта специальностей ВАК

Экономические науки	Количество	Технические науки	Количество	Науки о Земле	Количество
08.00.05	59	05.13.06	6	25.00.21	2
08.00.10	8	05.13.09	0		
08.00.13	28	05.13.10	7		
08.00.05, 08.00.13	6	05.13.16	1		
08.00.13, 08.00.10	1	05.13.14	1		
08.00.12	1	05.13.18	1		
Всего	103		16		2

Таблица составлена авторами.

Если мы обратимся к ученым степеням специалистов, изучавших данную область, то получим схожий результат (табл. 5.6, рис. 5.6). Общее число докторских диссертаций в общем количестве работ составляет 21% (25), среди них 88% (22) работ ученых-экономистов, 22% (3) – представителей технических специальностей. Кандидатских диссертаций 79% (96), из них: 88% по экономическим наукам, 11% (11) – в области технических наук.

Таблица 5.6

Распределение докторских и кандидатских диссертаций по научным специальностям

Количество	Докторские диссертации	Кандидатские диссертации	Количество
22	Д-р экон. наук	Канд. экон. наук	84
3	Д-р техн. наук	Канд. техн. наук	11
–	–	Канд. физ-мат. наук	1
25	Всего	Всего	96

Таблица составлена авторами.

Что касается структуры диссертационных работ по анализируемому направлению исследований (рис. 5.7), то большинство из них включало изучение оценки инвестиционных и инновационных проектов предприятий с использованием метода нечетких множеств (80%). В 2005 г. появляются диссертации, где нечеткие множества использу-

ются вместе с методом реальных опционов (9%). В это же время под рассмотрение ученых попадает применение нечетких множеств для оценки венчурных инвестиций (11%). Однако сочетание метода нечетких множеств и реальных опционов для оценки венчурных проектов в работах российских исследователей за рассматриваемый период не встречается.

Из всего вышесказанного мы можем сделать вывод, что метод нечетких множеств является достаточно эффективным и часто используемым методом анализа проектов в инвестиционно-инновационной сфере.

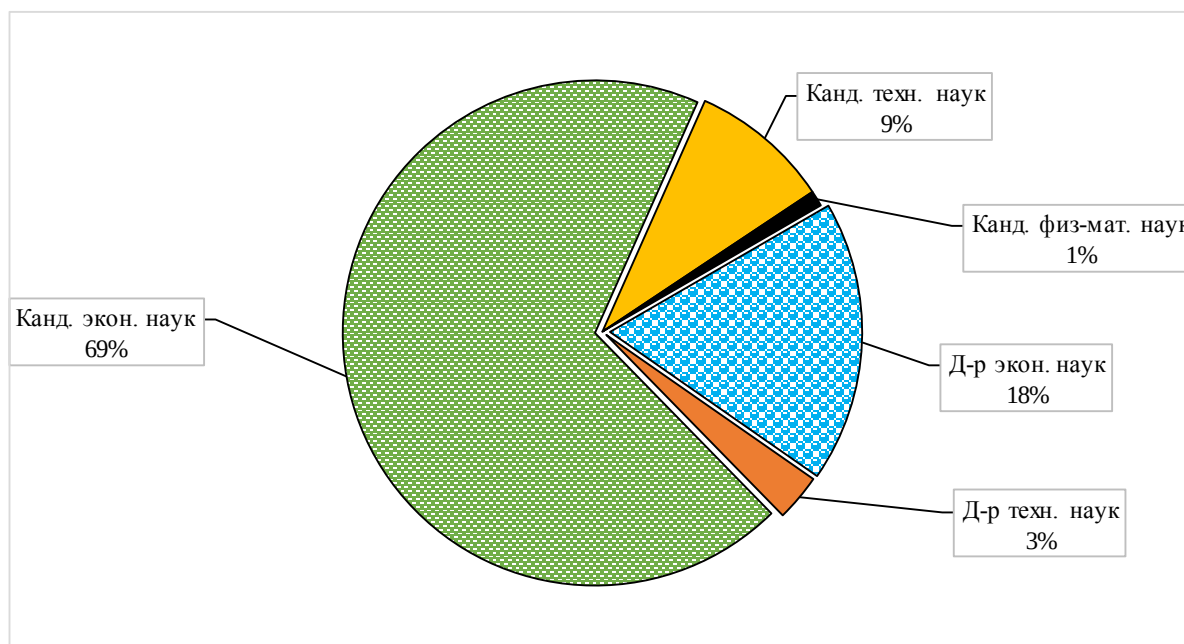


Рис. 5.6. Структура докторских и кандидатских диссертаций по специальностям за период 1998–2017 гг.

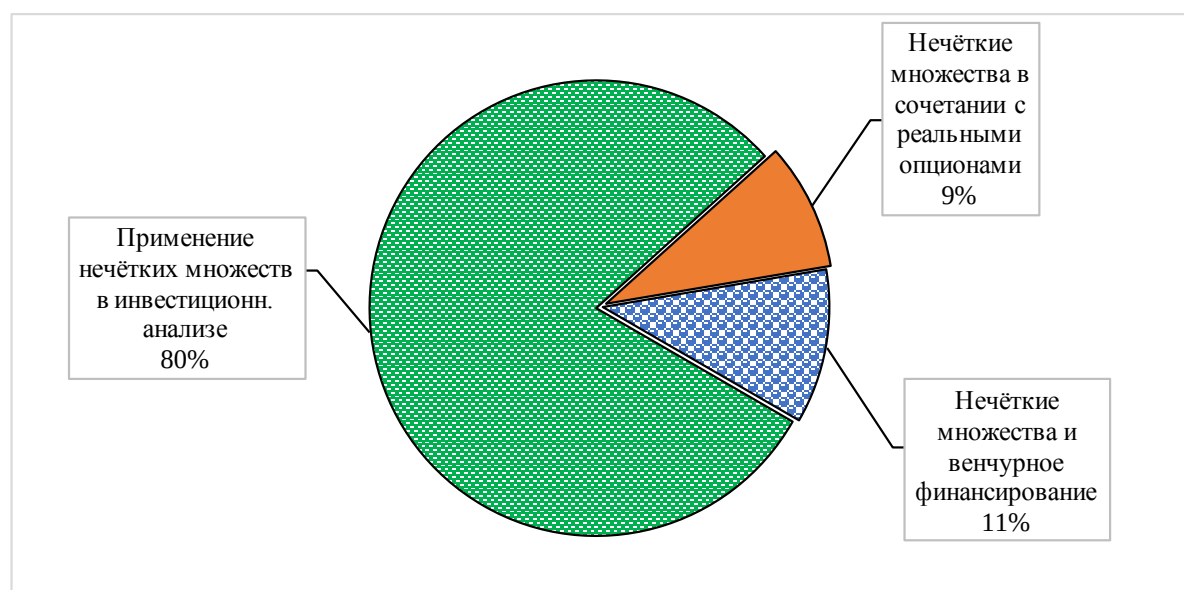


Рис. 5.7. Структура диссертационных исследований по направлениям исследования за период 1998–2017 гг.



Выводы

1. Проведенный анализ показал, что методы теории нечетких множеств активно применяются учеными-экономистами. Всплеск интереса российских ученых к применению аппарата нечетких множеств в инвестиционном анализе наблюдается в 2003–2006 гг. после защиты докторской диссертации А.О. Недосекина.
2. Обращает на себя внимание появление ряда работ по техническим и физико-математическим наукам, связанных с использованием аппарата нечетких множеств для анализа инвестиционной и инновационной деятельности. В них авторы, как правило, исследуют вопрос со стороны технического исполнения – обосновывают алгоритмы и методы оценки и принятия решений в условиях неопределенности, автоматизируют данный процесс. В работах отечественных авторов был исследован инвестиционный потенциал промышленных, строительных, высокотехнологичных, IT-предприятий и др., а также промышленного комплекса в целом, транспортной и научно-инновационной инфраструктуры, что говорит о постепенном углублении специализации в данной сфере исследований.
3. Несмотря на то что российские исследователи проявляют достаточно высокий интерес к методу нечетких множеств, лишь небольшая часть работ использует его в сочетании с методом реальных опционов (9%) и в основном для оценки инвестиционных и инновационных проектов. Для анализа эффективности венчурного финансирования сочетание метода реальных опционов и аппарата нечетких множеств в работах отечественных авторов не использовались.

Глава 6. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЦИОННОГО И НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННОГО ПОДХОДОВ

6.1. Модификация метода реальных опционов с точки зрения его приложения к венчурному финансированию инновационных проектов

6.1.1. Подбор модели оценки риска/доходности венчурным инвестором. Как венчурный фонд может оценить новую, быстрорастущую компанию на рынке, находящуюся в стадии интенсивного развития, имеющую высокую степень неопределенности?

Поскольку инвестиции в венчурный капитал – это инвестиции, для которых характерны высокий риск и высокая доходность, и они достаточно часто имеют поэтапную природу, традиционный метод NPV может быть дополнен иными подходами, способными учесть управленческую гибкость, в частности, оценкой эффективности проекта с использованием метода реальных опционов. При этом существующие модели оценки реальных опционов имеют определенные ограничения при их применении для целей оценки вложений венчурного инвестора.

Процесс венчурного инвестирования обычно разделяется на несколько этапов в зависимости от стадии реализации проекта: достартовый (seed investments), стартовый (start up), этап начального расширения (early development), этап быстрого расширения (profitable but cash poor), подготовительный этап (bridge investments) и этап выхода (exit).

Поскольку инвестируемая компания имеет различные цели и задачи на разных этапах венчурного финансирования, характеристики риска на разных этапах различны. Так, задача компании на более ранней стадии – это R&D. Таким образом, главная неопределенность на начальных стадиях – это технологическая неопределенность.

Модель оценки стоимости реального опциона для случая инвестиций в сфере венчурного бизнеса должна отражать не только высокий риск, высокую доходность и поэтапную природу инвестирования, но и тот факт, что венчурные инвестиции имеют различные характеристики соотношения «риск-доходность» на разных стадиях.

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

Формулы, полученные Блэком и Шоулзом [Black, Scholes, 1973] для оценки стоимости европейского колл-опциона, а также Геске [Geske, 1979] – для оценки двухстадийного составного европейского колл-опциона, применимы только в случае постоянной волатильности стоимости базового актива.

Постоянство волатильности стоимости базового актива является одной из предпосылок и квадратичной модели Вэйли [Barone-Adesi, Whaley, 1987], полученной на основе формулы Блэка-Шоулза для оценки стоимости опционов «колл» и «пут» американского типа.

В России исследования, содержащие применение метода реальных опционов в венчурном финансировании инновационных проектов, до настоящего времени широкого развития не получили. Поэтому рассмотрим лишь зарубежные исследования, касающиеся оценки стоимости реальных опционов, возникающих при венчурном финанси-

ровании инновационных проектов. Подобные работы в мировой литературе, к сожалению, немногочисленны: это статьи [Botteron, Casanova, 2003] и [Hsu, 2002].

В статье [Botteron, Casanova, 2003] развивается модель опционного ценообразования, позволяющая оценить гибкость, которую получает венчурный капиталист, когда он разбивает процесс инвестирования на стадии. Авторы статьи представляют стоимость компании-стартапа в виде суммы стоимости двух опционов: европейского колл-опциона и бинарного европейского колл-опциона.

Согласно данному подходу – базовым активом является весь венчурный проект (стартап) [Botteron, Casanova, 2003]. Нам представляется, что данная интерпретация недостаточно корректна, поскольку венчурному капиталисту принадлежит не весь проект, а лишь доля в уставном капитале проинвестированной компании. По нашему мнению, базовым активом в случае рассмотрения вложений венчурного инвестора через опцион «колл» являются акции проинвестированной компании, принадлежащие венчурному фонду.

Авторы статьи [Botteron, Casanova, 2003] следуют всем предпосылкам формулы Блэка-Шоулза, в том числе и предпосылке о постоянстве волатильности стоимости базового актива. По нашему мнению, в случае венчурного финансирования волатильность изменяется с течением времени, поскольку инвестируемая компания имеет различные характеристики риска на разных стадиях своего развития.

В работе [Hsu, 2002] анализируется процесс принятия решения венчурным капиталистом о поэтапном инвестировании. Венчурный капиталист может инвестировать всю сумму сразу в виде единовременной выплаты, а может разбивать инвестиции на стадии. Поэтапное инвестирование рассматривается автором статьи как составной европейский колл-опцион с зависящей от времени волатильностью. Для оценки стоимости этого опциона в статье [Там же] получена модификация формулы Геске [Geske, 1979]. Венчурное финансирование в виде единовременной выплаты рассматривается как простой европейский колл-опцион, но с зависящей от времени волатильностью. Для оценки стоимости этого опциона получена модификация формулы Блэка-Шоулза [Black, Scholes, 1973].

В рассмотренных выше двух подходах к оценке стоимости реальных опционов, возникающих при венчурном финансировании инновационных проектов, венчурное финансирование рассматривается с позиции опционов европейского типа (исполнение на определенную дату). Однако ни в одном из них не проводится апробация предлагаемых моделей оценки стоимости опционов на реальных данных по инновационным проектам с венчурным финансированием, а содержательная интерпретация предлагаемых авторами математических построений представляется не достаточно ясной и обоснованной: над экономическим смыслом превалирует технико-математический подход. Кроме того, в обеих рассмотренных статьях анализ проводится с позиции инвестиционного проекта в целом.

По нашему мнению, необходимо разделять финансовые потоки венчурного фонда и финансовые потоки собственно проекта. Венчурный фонд имеет свои финансовые потоки, отличные от общих денежных потоков всего анализируемого проекта.

Рассмотрим финансовые потоки собственно проекта (табл. 6.1) и финансовые потоки венчурного фонда (табл. 6.2).

6.1.2. Эффективность проекта с точки зрения венчурного фонда. Существуют показатели оценки эффективности проекта в целом ($NPV_{\text{проекта}}$, $IRR_{\text{проекта}}$). Однако для целей оценки эффективности вложений венчурного инвестора необходимо анализировать показатели эффективности проекта с точки зрения венчурного фонда (NPV^v , IRR^v).

Таблица 6.1

Финансовые потоки собственно проекта

Приток денежных средств	Отток денежных средств
Чистая прибыль (NPAT)	Прирост материального оборотного капитала
Амортизация	Инвестиции в основной капитал и нематериальные активы
Поступления от продажи акций	Погашение долгосрочного кредита
Долгосрочный кредит	Погашение кредита акционеров
Кредит акционеров	Выплата дивидендов
–	Выплата налогов

Таблица 6.2

Финансовые потоки венчурного фонда

Приток денежных средств	Отток денежных средств
Дивиденды, которые выплачивает проинвестированная компания венчурному фонду (выплачивается из чистой прибыли проинвестированной компании)	Прямые инвестиции, предоставляемые венчурным фондом проинвестированной компании в период t
Проценты, которые выплачивает венчурному фонду проинвестированная компания в году t по предоставленному им кредиту	Выплата кредита, который венчурный фонд предоставляет проинвестированной компании в году t
Возврат кредита, предоставленного венчурным фондом	–
Ликвидационная стоимость, определяемая как оценка дохода, который венчурный фонд получит в последнем году T своего пребывания в бизнесе проинвестированной компании от продажи принадлежащих ему акций.	–

Рассмотрим основные показатели эффективности проекта с точки зрения венчурного фонда:

$$NPV^v = \sum_{t=0}^T \frac{[DIV^v(t) + PER^v(t) + LR^v(t) - I^v(t) - L^v(t)]}{(1+r)^t} + \frac{TER^v(T)}{(1+r)^T}, \quad (6.1)$$

где $DIV^v(t) = NPAT^{(t-1)} \cdot SHK^v$ – дивиденды, выплачиваемые проинвестированной компанией венчурному фонду в году t ;

SHK^v – доля венчурного фонда в уставном капитале проинвестированной компании;

$div(t)$ – доля чистой прибыли проинвестированной компании за предыдущий год $t-1$, направляемая в году t на выплату дивидендов;

$PER^v(t)$ – проценты, которые выплачивает венчурному фонду проинвестированная компания в году t по предоставленному им кредиту;

$LR^v(t)$ – возврат кредита, предоставленного венчурным фондом проинвестированной компанией, в году t ;

$L^v(t)$ – выплата кредита, предоставленного венчурным фондом проинвестированной компанией, в году t ;

$I^v(t)$ – прямые инвестиции, предоставляемые венчурным фондом проинвестированной компании, в году t ;

$TER^v(T)$ – ликвидационная стоимость, определяемая как оценка дохода, который венчурный фонд получит в последнем году T своего пребывания в бизнесе проинвестированной компании от продажи принадлежащих ему акций;

r – приемлемая для фонда ставка дисконтирования (на практике обычно – не ниже 20% годовых).

$$TER^v(T) = NPAT^{(T-1)} SHK^v(P/E), \quad (6.2)$$

где $NPAT^{(T-1)}$ – чистая прибыль проинвестированной компании в году, предшествующем «выходу» венчурного фонда из бизнеса;

P/E – ожидаемая величина отношения цены акции к получаемому по ней доходу.

➤ *Расчет внутренней нормы доходности для инвестиций фонда.* Данный показатель определяется путем решения следующего уравнения относительно нормы процента r :

$$\sum_{t=0}^T \frac{[DIV^v(t) + PER^v(t) + LR^v(t) - I^v(t) - L^v(t)]}{(1+r)^t} + \frac{TER^v(T)}{(1+r)^T} = 0 \quad (6.3)$$

В расчетах варьируется доля венчурного фонда в уставном капитале инвестируемой компании $SNK^v(T)$ с целью определения такой ее величины, которая обеспечивает приемлемую для фонда внутреннюю норму доходности на вложенный капитал.

Нами предлагается следующая интерпретация элементов формулы Блэка-Шоулза с позиции венчурного инвестора.

Венчурный фонд приобретает право на то, чтобы через определенное время получить определенную сумму (прибыль), т.е. получить дополнительный актив.

Базовый актив – акции проинвестированной компании, принадлежащие венчурному фонду.

Цена базового актива – приведенная стоимость прогнозируемой рыночной цены акций проинвестированной компании, принадлежащих венчурному фонду (прогнозируемые доходы от реализации доли венчурного фонда в уставном капитале проинвестированной компании).

Цена исполнения – приведенная стоимость инвестиционных вложений венчурного капитала (затраты венчурного фонда на покупку акций).

Волатильность – волатильность цены базового актива (волатильность рыночной цены акций проинвестированной компании). Эта цена будет непостоянная, поскольку компания может развиваться по-разному: при благоприятном исходе стоимость проинвестированной компании будет увеличиваться, и соответственно, стоимость доли венчурного фонда будет расти.

Срок исполнения опциона – момент «выхода» венчурного фонда из бизнеса (exit) (предполагается, что этот момент известен).

Безрисковая процентная ставка – текущая процентная ставка, например по пяти-летнему срочному депозиту в надежном банке (к примеру в «Сбербанке»), или доходность государственных облигаций.

По нашему мнению, случай венчурного инвестирования – это опцион американского типа (исполнение до определенной даты). Как правило, венчурный фонд создается на 5–10 лет, и венчурный инвестор может выйти из бизнеса проинвестированной компании в любой момент до срока закрытия венчурного фонда, который условно можно считать сроком истечения опциона. Таким образом, для венчурного фонда момент времени, до которого должен быть исполнен опцион, является неопределенной величиной.

В то же время вложения венчурного фонда можно трактовать и как европейский опцион – в том смысле, что момент «выхода» венчурного фонда из бизнеса проинвестированной компании (exit) известен, поскольку венчурный фонд исходит из конкретных сроков «выхода», варьируя их в своих прогнозных финансовых расчетах. При этом в каждом конкретном варианте расчета срок «выхода» фонда из бизнеса проинвестированной компании известен. Вследствие этого нам представляется возможным использование моделей оценки опционов европейского типа для целей оценки стоимости реальных опционов в венчурном инвестировании.

При выборе модели оценки реального опциона для случая венчурного инвестирования необходимо принимать во внимание тот факт, что волатильность цены базового актива изменяется с течением времени. По нашему мнению, именно модифицированная формула Геске в полной мере учитывает особенности венчурного инвестирования и может быть использована для оценки стоимости реальных опционов, возникающих при венчурном финансировании инновационных проектов. Однако нам представляется необходимым модифицировать исходные данные для этой модели следующим образом: анализировать венчурные вложения не с позиции проекта в целом, а с позиции венчурного фонда. Иными словами, нам представляется необходимым изменить интерпретацию параметров, входящих в модифицированную модель Геске.

Опишем предлагаемую нами содержательную интерпретацию параметров модифицированной модели Геске.

Особенность данной модели состоит в том, что в ней учтен тот факт, что риск венчурной компании изменяется с течением времени. Рассмотрим три фиксированных момента времени $T_0 = 0$, T_1 и T_2 , где $0 < T_1 < T_2$.

Стоимость акций проинвестированной компании, принадлежащих венчурному фонду, V^v в момент времени t обозначим V_t^v .

Предположим, что венчурный фонд принимает решение разбить процесс инвестирования на этапы. Тогда инвестируемая компания предоставляет венчурному фонду составной колл-опцион. Составной опцион (опцион «колл» на опцион «колл») – это опцион, базовым активом которого является внутренний колл-опцион.

Нами предлагается следующая содержательная интерпретация составного опциона «колл». Инвестиции на приобретение в момент времени T_0 составного опциона «колл» равны I_0^v . Этот опцион «колл» на опцион «колл» предоставляет инвестору – венчурному фонду право, но не обязательство, купить через определенное время T_1 по цене I_1^v часть акций инвестируемой 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 ничто иное, как прибыль венчурного инвестора, которую он может получить в момент времени T_2 после продажи своих акций, приобретенных в момент 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».

На рис. 6.1 дано схематическое представление венчурного инвестирования с приобретением в начале инвестиционного процесса опциона на покупку акций.

Опишем особенность исполнения внутреннего колл-опциона в нашей интерпретации.

Перед венчурным фондом не стоит вопрос, продавать или не продавать принадлежащую ему часть акций проинвестированной компании. Из практической дея-

тельности известно, что вне зависимости от того, насколько успешно развивалась проинвестированная компания, венчурный фонд все равно будет стремиться продать принадлежащие ему акции, чтобы в случае неуспешного развития компании вернуть хотя бы часть вложенных средств и отчитаться перед инвесторами, которые вложили свои деньги в венчурный фонд.

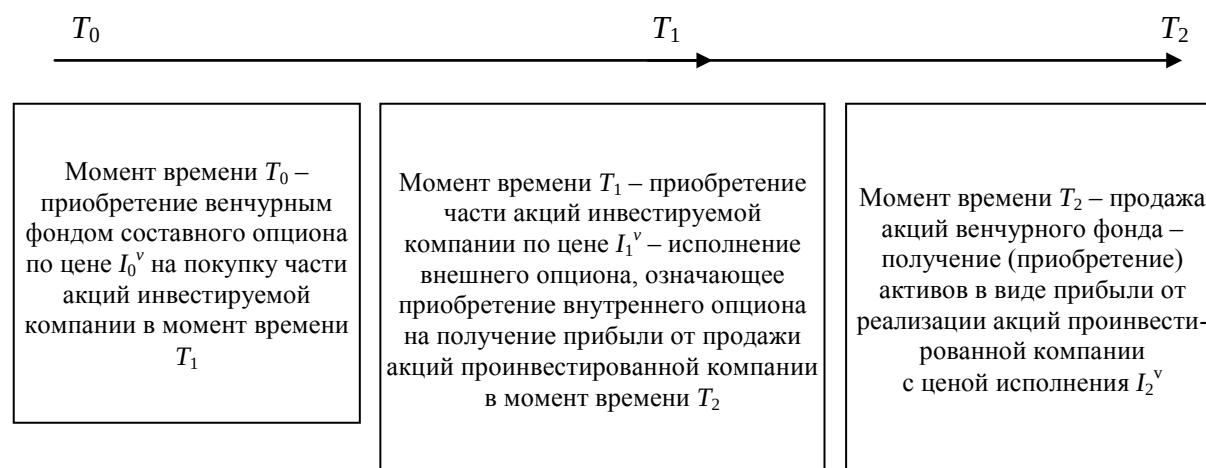


Рис. 6.1. Схематическое представление венчурного инвестирования с приобретением в начале инвестиционного процесса опциона на покупку акций

Определим правило исполнения внутреннего колл-опциона на получение прибыли от продажи акций проинвестированной компании в момент времени T_2 . Подчеркнем, что получение дополнительного актива в виде прибыли от продажи венчурным фондом принадлежащих ему акций трактуется нами как исполнение внутреннего колл-опциона с ценой исполнения I_2^v . При этом необходимо дать содержательную интерпретацию цены исполнения I_2^v .

Правило исполнения внутреннего опциона будет следующим.

Внутренний опцион будет считаться исполненным в том смысле, что венчурный фонд получит прибыль, если продисконтированная стоимость акций компании, принадлежащих венчурному фонду, в момент времени T_2 ($V_{T_2}^v$) будет больше, чем продисконтированная величина суммы совокупных вложений венчурного фонда в покупку этих акций ($I_0^v + I_1^v$) и величины неявных издержек I_2^v .

Величина *неявных издержек* – это часть величины чистой прибыли текущего периода T_2 . Если бы венчурный фонд не продал в момент времени T_2 принадлежащие ему акции, то он бы получил часть прибыли текущего периода T_2 , пропорциональную его доле в уставном капитале компании. Эта часть прибыли текущего периода T_2 уже не будет принадлежать венчурному фонду, она будет принадлежать тому экономическому субъекту, которому венчурный фонд продал акции [Баранов, Музыко, 2015].

Таким образом, при продаже акций в момент времени T_2 венчурный фонд теряет прибыль текущего периода, пропорциональную своей доле в уставном капитале проинвестированной компании. Эта величина трактуется нами как его *неявные издержки и цена исполнения внутреннего опциона «колл» в момент времени T_2* .

Отметим, что при продаже своих акций в момент времени T_2 венчурный фонд теряет не только соответствующую часть текущей прибыли, но и последующую прибыль. Однако в дальнейшем в нашем анализе в качестве величины неявных издержек венчурного фонда ограничимся рассмотрением только текущей прибыли момента времени T_2 .

Итак, внутренний опцион будет считаться исполненным, т.е. венчурный фонд получит прибыль, если продисконтированная выручка от продажи акций будет больше, чем продисконтированная величина затрат $(I_0^v + I_1^v + I_2^v)$, где $(I_0^v + I_1^v)$ – это совокупные вложения венчурного фонда в приобретение этих акций; I_2^v – величина *неявных издержек венчурного фонда* (часть прибыли текущего периода T_2 , когда венчурный фонд осуществляет продажу своих акций).

Если продисконтированная выручка от продажи акций будет меньше, чем продисконтированная величина затрат $(I_0^v + I_1^v + I_2^v)$, то венчурный фонд прибыль не получит. Этот случай трактуется нами в том смысле, что опцион «колл» будет считаться неисполненным.

Предположим, что переменная V^v (стоимость пакета акций проинвестированной компании, который, возможно, приобретет венчурный фонд) подчиняется геометрическому броуновскому движению:

$$dV^v = \alpha V^v dt + \sigma_1 V^v dW \quad (6.4)$$

в течение промежутка времени $(0, T_1)$, и

$$dV^v = \alpha V^v dt + \sigma_2 V^v dW \quad (6.5)$$

в течение промежутка времени (T_1, T_2) , где σ_1 – уровень рискованности операций проинвестированной компании в течение промежутка времени $(0, T_1)$; σ_2 – уровень рискованности операций проинвестированной компании в течение промежутка времени (T_1, T_2) .

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

$$C^v = V^v N_2(h + \sqrt{\sigma_1^2 \tau_1}, l + \sqrt{\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2}; \rho) - I_2^v e^{-r\tau} N_2(h, l; \rho) - I_1^v e^{-r\tau_1} N_1(h), \quad (6.6)$$

где C^v – стоимость составного колл-опциона в текущий момент времени t , которым владеет венчурный фонд;

V^v – текущая стоимость акций проинвестированной компании, принадлежащих венчурному фонду;

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

I_1^v – цена исполнения составного (внешнего) колл-опциона (инвестиции венчурного фонда в момент времени T_1 в приобретение части акций рискованной компании);

I_2^v – цена исполнения внутреннего колл-опциона (величина неявных издержек венчурного фонда);

r – безрисковая процентная ставка;

$\tau_1 = T_1 - t$, $\tau_2 = T_2 - T_1$, $\tau = T_2 - t = \tau_1 + \tau_2$;

$N_2(h, l, \rho)$ – функция двумерного стандартного нормального распределения;

$N_1(\cdot)$ – функция одномерного стандартного нормального распределения;

$\bar{V}$ – такое значение стоимости акций инвестируемой компании в момент времени T_1 (V_{T_1}), для которого выполняется следующее равенство:

$$V_{T_1} N_1(l^* + \sqrt{\sigma_2^2 \tau_2}) - I_2^v e^{-r\tau_2} N_1(l^*) = I_1^v, \quad (6.7)$$

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

$$l^* = \frac{\ln \frac{V_{T_1}}{I_1^v} + r\tau_2 - \frac{1}{2}\sigma_2^2\tau_2}{\sqrt{\sigma_2^2\tau_2}}. \quad (6.8)$$

Опишем правило исполнения внешнего опциона.

Для того чтобы принять решение об исполнении внешнего опциона, т.е. принять решение о приобретении части акций инвестируемой компании (в нашей интерпретации это трактуется как приобретение внутреннего опциона на получение прибыли от продажи акций), венчурному фонду необходимо знать так называемую пороговую величину стоимости акций рискованной компании в момент времени T_1 – $\bar{V}$. Для того чтобы определить $\bar{V}$, необходимо найти решение уравнения (6.7) относительно переменной V_{T_1} .

Правило исполнения составного колл-опциона (внешнего опциона) будет следующим: венчурный фонд исполнит составной колл-опцион, т.е. в момент времени T_1 осуществит инвестиции I_1^v в покупку части акций инвестируемой компании и тем самым приобретет базовый актив составного колл-опциона – внутренний опцион на получение прибыли от продажи акций в момент времени T_2 , если для заданного σ_2 стоимость базового актива составного колл-опциона (т.е. стоимость *внутреннего колл-опциона*) будет больше, чем цена исполнения *составного колл-опциона* I_1^v . Иными словами, венчурный фонд исполнит составной колл-опцион и будет инвестировать I_1^v только в том случае, если значение стоимости акций инвестируемой компании в момент времени $t=T_1$, V_{T_1} , превысит пороговое значение $\bar{V}$ (соотношение (5.25)) [Баранов, Мухоморова, 2011].

Итак, методика оценки инновационных проектов с венчурным финансированием с позиции венчурного фонда на основе метода реальных опционов может быть сведена к следующей последовательности шагов:

1. Построение прогнозной финансовой модели инновационного проекта.
2. Оценка экономической эффективности инновационного проекта в целом методом дисконтированных денежных потоков (методом NPV): расчет показателей чистого приведенного дохода проекта в целом $NPV_{\text{проекта}}$ и внутренней нормы доходности проекта $IRR_{\text{проекта}}$.
3. Оценка экономической эффективности инновационного проекта методом NPV с позиции венчурного фонда:
 - 3.1. Определение доли фонда в уставном капитале инвестируемой компании.
 - 3.2. Расчет денежных потоков венчурного фонда.
 - 3.3. Расчет внутренней нормы доходности венчурного фонда IRR^v и чистого приведенного дохода венчурного фонда NPV^v .
4. Оценка эффективности инновационного проекта для венчурного фонда с применением метода реальных опционов:
 - 4.1. Расчет стоимости составного опциона «колл», которым владеет венчурный фонд по модифицированной формуле Геске:
 - 4.1.1. Определение значений «входных» параметров модифицированной формулы Геске:
 - а) затраты на приобретение в момент времени T_0 составного опциона «колл» I_0^v ;
 - б) цена исполнения составного (внешнего) опциона «колл» (инвестиции венчурного фонда в момент времени T_1 в приобретение части акций рискованной компании I_1^v);

- в) цена исполнения внутреннего колл-опциона (величина неявных издержек венчурного фонда) I_2^v ;
 - г) оценка безрисковой процентной ставки;
 - д) вычисление функций двумерного стандартного нормального распределения с использованием программного пакета Maple 14;
 - е) вычисление функции одномерного стандартного нормального распределения с использованием статистической функции Microsoft Excel НОРМСТРАСП;
 - ж) вычисление текущей стоимости базового актива внутреннего опциона «колл» V^v (представляет собой ликвидационную стоимость проекта для венчурного фонда TER^v в году «выхода» фонда из бизнеса проинвестированной компании);
 - з) определение уровня рискованности операций венчурной компании в течение промежутка времени $(0, T_1)$, σ_1 , и определение уровня рискованности операций венчурной компании в течение промежутка времени $(0, T_2)$, σ_2 .
- 4.1.2. Определение порогового значения стоимости акций инвестируемой компании в момент времени T_1 , $\bar{V}$ (решение уравнения (5.25)).
- 4.1.3. Принятие решения по поводу исполнения внешнего опциона (проверка правила исполнения внешнего опциона).
- 4.1.4. Принятие решения по поводу исполнения внутреннего опциона (проверка правила исполнения внутреннего опциона).
- 4.2. Расчет показателей эффективности вложений венчурного фонда с учетом стоимости составного опциона «колл» NPV^v с уч. опц. и IRR^v с уч. опц. [Baranov, Muzyko, 2016].

6.2. Авторская методика оценки инновационных проектов с венчурным финансированием на основе метода реальных опционов и нечетко-множественного подхода

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

Отличительной особенностью нашего подхода является синтез теоретико-вероятностных и нечетко-множественных методов в анализе венчурного финансирования инвестиционных проектов на основе реальных опционов [Baranov и др., 2015a].

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

1. Построение прогнозной финансовой модели инновационного проекта.

С использованием результатов расчетов по построенной детерминированной финансовой модели проекта осуществляется моделирование с применением метода нечетких множеств (МНМ) финансовых потоков, характеристики которых определяются степенью «раскачивания» экзогенных параметров – рыночных цен на продукцию, цен на основные сырье, материалы, электроэнергию и т.д. Теоретически можно «раскачивать» и объем инвестиций (например, могут измениться цены на оборудование). Однако обычно эта величина в проектах является достаточно стабильной, и на данной стадии исследования мы будем предполагать ее неизменность. В инвестиционных проектах, в том числе – инновационных, степень неопределенности показателей нарастает по мере удаления от периода начала реализации проекта. Поэтому «раскачка» экзогенных пара-

метров проекта в расчетах постепенно нарастает относительно прогнозных значений, использованных в детерминированной модели, по мере удаления от начального периода времени реализации проекта. Например, в первом году $\pm 2\%$, втором году $\pm 5\%$, в третьем году $\pm 10\%$ и т.д.

2. *Оценка экономической эффективности инновационного проекта в целом методом дисконтированных денежных потоков: расчет показателей чистого приведенного дохода проекта в целом $NPV_{\text{проекта}}$ и внутренней нормы доходности проекта $IRR_{\text{проекта}}$.*

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

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

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

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

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

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

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

4.1. Расчет стоимости составного опциона «колл», которым владеет венчурный фонд по модифицированной формуле Геске (см. формулу (6.6)).

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

- а) затраты на приобретение в момент времени T_0 составного опциона «колл» I_0^v ;
- б) цена исполнения составного (внешнего) опциона «колл» (инвестиции венчурного фонда в момент времени T_1 в приобретение части акций рискованной компании I_1^v);
- в) цена исполнения внутреннего колл-опциона (величина неявных издержек венчурного фонда) I_2^v ;
- г) оценка безрисковой процентной ставки;
- д) вычисление функций двумерного стандартного нормального распределения с использованием программного пакета Maple 14;
- е) вычисление функции одномерного стандартного нормального распределения с использованием статистической функции Microsoft Excel НОРМСТРАСП;
- ж) вычисление текущей стоимости базового актива внутреннего опциона «колл» V^v , которая представляет собой ликвидационную стоимость проекта для венчурного

фонда TER^v в году «выхода» фонда из бизнеса проинвестированной компании. Параметр V^v также находится под влиянием «раскачанных» с применением МНМ показателей. В частности, он зависит от значения чистой прибыли, генерируемой проектом, которая моделируется с применением МНМ. Следовательно, он будет меняться в зависимости от колебаний входных параметров;

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

4.1.2. Определение порогового значения стоимости акций инвестируемой компании в момент времени T_1 , $\bar{V}$ (решение уравнения (6.7)), где $\bar{V}$ – также зависит от «раскачки» входных параметров. В частности, значение стоимости акций инвестируемой компании в момент времени T_1 (V_{T_1}) зависит от величины генерируемой проектом прибыли, которая моделируется с применением метода нечетких множеств.

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

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

4.2. Расчет показателей эффективности вложений венчурного фонда с учетом стоимости составного опциона «колл» $NPV^v_{с\ у\ч. \ о\п\ц.}$ и $IRR^v_{с\ у\ч. \ о\п\ц.}$. Эти показатели будут зависеть от того, как, в каком режиме «раскачаны» 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».

В целом синтез теоретико-вероятностных и нечетко-множественных методов в анализе венчурного финансирования инновационных проектов на основе метода реальных опционов, на наш взгляд, расширяет инструментарий венчурного инвестора, используемый им для обоснования решений по инвестированию проектов, а также позволяет получить более точную оценку эффективности проектов с высокой степенью неопределенности по сравнению с традиционными подходами [Баранов и др., 2015а; 2015б].

6.3. Математическое обоснование методики исследования нечетко-множественных свойств траекторий модели Геске и ее модификаций

6.3.1. Основные понятия, связанные с нечетко-множественными методами. Пусть R^m – m -мерное арифметическое пространство с Борелевской мерой r (см. [Кантор, 1985, с. 226])¹, A – классическое (четкое) замкнутое множество в нем. Обозначим через 2^{R^m} множество всех замкнутых (четких) подмножеств пространства R^m , наделенное экспоненциальной топологией, которую часто называют μ -топологией (см. [Куратовский, 1966, с. 168]), и Борелевской σ -алгеброй S_μ .

Через $\mathfrak{Z}(R^m)$ обозначим совокупность нечетких множеств пространства R^m (см. [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012, с. 38]). Нечеткое множество $A \in \mathfrak{Z}(R^m)$ однозначно определяется своей функцией принадлежности $\chi_A: R^m \rightarrow [0;1]$, когда для каждого $x \in R^m$ вещественное число $0 \leq \chi_A(x) \leq 1$ задает степень принадлежности точки x нечеткому множеству A . В терминах многозначной логики число $\chi_A(x)$ представляет

¹ Теория классических множеств разработана благодаря усилиям Г. Кантора [Кантор, 1985].

собой степень истинности высказывания $\{x \in A\}$. Например, если $\chi_A(x) = 0,5$, то степень истинности высказывания $\{x \in A\}$ равна 0,5. В отличие от нечеткого множества функция принадлежности четкого множества A принимает всего два значения: $\chi_A(x) = 1$, для $x \in A$; и $\chi_A(x) = 0$, для $x \notin A$. Функция принадлежности четкого множества обычно называется характеристической функцией этого множества.

Пусть $x \in R^m$, $A \in 2^{R^m}$, Ω – вероятностное пространство с вероятностной мерой p и $\zeta: \Omega \rightarrow 2^{R^m}$ – измеримое точечно-множественное отображение. Обозначим через Σ – множество таких отображений. Определим функцию:

$$h_x(A) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in A, \\ 0, & \text{если } x \notin A. \end{cases}$$

Как показано в работе [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012], отображение $h_x \circ \zeta: \Omega \rightarrow R$ является вещественной случайной величиной, математическое ожидание которой $E(h_x \circ \zeta)$ удовлетворяет неравенствам:

$$0 \leq q_\zeta(x) \stackrel{\text{df}}{=} E(h_x \circ \zeta) = \int_{\Omega} h_x(\zeta(\omega)) dp(\omega) \leq 1.$$

Следовательно, отображение $q_\zeta: R^m \rightarrow [0;1]$ можно интерпретировать как функцию принадлежности некоторого, однозначно определяемого этим отображением, нечеткого множества $A_\zeta \in \mathfrak{Z}(R^m)$, порожденного случайным точечно-множественным отображением $\zeta \in \Sigma$. Соответствием $\zeta \rightarrow A_\zeta$ определяется отображение $F: \Sigma \rightarrow \mathfrak{Z}(R^m)$, так что $A_\zeta = F(\zeta)$.

Отметим, что образ обратного отображения $F^{-1}(F(\zeta))$ – есть некоторое множество случайных точечно-множественных отображений, содержащееся в Σ , причем, очевидно, $\zeta \in F^{-1}(F(\zeta))$. Поэтому, интерес представляет исследование статистических свойств наборов $(\zeta, F(\zeta))$.

Согласно работе [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012], назовем набор $(\zeta, F(\zeta))$ нечетко-случайной парой и обозначим через $\mathfrak{Z}^\Sigma(R^m)$ множество, элементами которого являются пары $(\zeta, F(\zeta))$, где $\zeta \in \Sigma$.

В приложениях функция принадлежности нечеткого множества вычисляется приближенно с использованием стохастического алгоритма, базовой процедурой которого является процедура интервального преобразования случайной величины в нечеткое множество (см. [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012, с. 55–74]).

Нечетко-множественные методы анализа неопределенности в условиях переменной волатильности

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

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

Определение нечеткого множества

Нечеткое множество $A \subseteq X$ определяется функцией принадлежности:

$$\chi_A : X \rightarrow [0;1], \quad (6.9)$$

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

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

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

$$\chi_S(s_0) = \max_{x \in X} \chi_S(x). \quad (6.10)$$

Для исследования неопределенности, сопровождающей принятие решений в экономике, все источники неопределенности агрегируются в две группы: неопределенность цели и неопределенность располагаемых ресурсов. Располагаемые ресурсы определяют множество допустимых решений, а цель определяет выбор конкретного решения из множества допустимых. Применительно к реальным опционам располагаемым ресурсом является стоимость базового актива.

Особенность описания неопределенности располагаемых ресурсов на языке теории вероятностей заключается в том, что она должна быть описана случайным точечно-множественным отображением. В монографии [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012] разработана концепция исследования свойств случайных точечно-множественных отображений на основе их нечетко-множественного описания. Основным математическим результатом, на котором базируются исследования в указанной работе, является установленное авторами соответствие F , которое каждому случайному точечно-множественному отображению $\xi : \omega \rightarrow \xi(\omega) \subseteq X$, где ω – случайный элемент вероятностного пространства Ω , ставит в соответствие нечеткое множество $F(\xi) \subseteq X$ в том же пространстве, порожденное отображением ξ . Обратное преобразование $F(\xi) \rightarrow \xi$ нечеткого множества в случайное точечно-множественное отображение неоднозначно, т.е. одному нечеткому множеству соответствует целый класс K случайных точечно-множественных отображений. Важным свойством соответствия F является то, что $\xi \in K = F^{-1}(F(\xi))$.

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

Теоретико-множественные операции над нечеткими множествами

Следуя работе [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012], определим результирующие множества через их функции принадлежности:

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

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

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

Совпадение нечетких множеств

Пусть X – некоторое пространство с мерой μ . Определим функцию $\|f\| = \int_X |f| d\mu$.

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

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

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

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

Устойчивость экономических показателей

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

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

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

$$x = F(D). \quad (6.11)$$

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

$$\Delta x = \sum_j \frac{\partial F(D)}{\partial D_j} \cdot r_j + o(\|r\|), \quad (6.12)$$

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

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

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

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

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

- показатель, имеющий коэффициент согласованности, равный 100%, обладает неустойчивостью, соответствующей неустойчивости эталонного образца;

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

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

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

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

$$u_A(x) = \sup_{s \in R} T(A_s, x). \quad (6.13)$$

В работе [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012] показано, что при замене эталона A на B относительные показатели устойчивости для всех X одновременно увеличиваются или уменьшаются с обязательным выполнением условия: если $u_A(x) > u_A(y)$, то $u_B(x) > u_B(y)$ [Баранов и др., 2015а; 2015в].

6.3.2. Интервальное преобразование и стохастический алгоритм. Пусть $u: \Omega \rightarrow R^m$ – случайная величина, $v: R^m \rightarrow 2^{R^m}$ – измеримое отображение. Следуя [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012], определим случайное точечно-множественное отображение:

$$\zeta: \Omega \rightarrow 2^{R^m}$$

по формуле:

$$\zeta(\omega) = (v \circ u)(\omega),$$

где через $v \circ u$ обозначена суперпозиция отображений u и v .

Таким образом, построено преобразование случайной величины u в нечеткое множество $F(v \circ u)$.

Описанное преобразование случайной величины u в нечеткое множество $F(v \circ u)$ и называется интервальным преобразованием. Свойства интервального преобразования $u \rightarrow \zeta = v \circ u$ определяются параметрами точечно-множественного отображения $v: R^m \rightarrow 2^{R^m}$. Изменяя v , мы получим разные нечеткие множества, соответствующие одной и той же случайной величине u .

Наиболее широко используемым в приложениях является интервальное преобразование, в котором отображение v имеет вид $v(x) \equiv v_a(x) = \{y \in R^m \mid x - a \leq y < x + a\}$. Здесь $a \in R^m$ и $a > 0$ ¹.

Обратное преобразование нечеткого множества в случайную величину выполняется по следующей схеме.

Шаг 1. По функции принадлежности нечеткого множества $\chi(x)$ определяется плотность распределения:

$$f(x) = \frac{\chi(x)}{\int_{R^m} \chi(t) dr(t)}. \quad (6.14)$$

Шаг 2. Выбирается случайная величина u^0 , соответствующая плотности распределения (6.14).

Примечание. Так как выбор случайной величины u^0 на шаге 2 выполняется неоднозначно (см. [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012, с. 41]), то для конкретизации случайной величины здесь используется дополнительная информация о свойствах решаемой прикладной задачи. Методика выбора u^0 основана на использовании этой дополнительной информации.

Стохастический алгоритм представляет собой совокупность следующих трех процедур.

Шаг 1. Выполняется преобразование исходного нечеткого множества в случайную величину u^0 .

Шаг 2. Генерируется выборка $u_1^0, u_2^0, \dots, u_N^0$, $u_k^0 \in R^s$ значений случайной величины u^0 . По ней с использованием экономико-математических моделей вычисляется выборка $u_1, u_2, \dots, u_N$, $u_k \in R^m$ значений результирующей случайной величины u .

Шаг 3. Выполняется приближенное интервальное преобразование $F(v_a \circ u)$ с использованием эмпирической функции распределения $\Phi_{uN}(x)$.

Основными параметрами стохастического алгоритма² являются: методика выбора u^0 , вектор a и длина выборки N .

¹ Свойства этого преобразования достаточно хорошо изучены (см. работу [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012]).

² За математическим обоснованием сходимости стохастического алгоритма мы отсылаем читателя к работе [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012, с. 72].

Количество неопределенности вещественной функции на случайном множестве

Пусть $\xi: \Omega \rightarrow 2^{R^m}$ – случайное точечно-множественное отображение и $y: R^m \rightarrow R$ – вещественная измеримая функция. Рассмотрим вещественную случайную величину:

$$Y_\xi(\omega) = \int_{\xi(\omega)} y(x) dr(x). \quad (6.15)$$

Преобразование вещественной функции m переменных y в случайную величину Y_ξ обозначим через H_ξ , так что $Y_\xi = H_\xi(y)$. Преобразование H_ξ каждой вещественной измеримой функции y ставит в соответствие случайную величину $H_\xi(y)$, которая определяет количество неопределенности функции y на случайном множестве ξ .

Лемма. Математическое ожидание EY_ξ неопределенности вещественной измеримой функции $y(x)$ на случайном множестве ξ вычисляется по формуле:

$$EY_\xi = \int_{R^m} y(x) q_\xi(x) dr(x). \quad (6.16)$$

Доказательство. По определению математического ожидания справедливо равенство:

$$EY_\xi = \int_{\Omega} Y_\xi(\omega) dp(\omega) = \int_{\Omega} dp(\omega) \int_{\xi(\omega)} y(x) dr(x) = \int_{\Omega} dp(\omega) \int_{R^m} y(x) h_x(\xi(\omega)) dr(x).$$

Далее применяем теорему Фубини и получаем:

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} dp(\omega) \int_{R^m} y(x) h_x(\xi(\omega)) dr(x) &= \int_{R^m} y(x) dr(x) \int_{\Omega} h_x(\xi(\omega)) dp(\omega) = \\ &= \int_{R^m} y(x) q_\xi(x) dr(x). \end{aligned}$$

Лемма доказана.

Количество неопределенности вещественной функции на нечетком множестве

Рассмотрим вещественную измеримую функцию $y: R^m \rightarrow R$. Математическое ожидание неопределенности функции $y(x)$ на нечетком множестве $F(\xi)$, согласно [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012, с. 75], определяется формулой:

$$E_{F(\xi)}(y) = \int_{R^m} y(x) \chi_{F(\xi)}(x) dr(x). \quad (6.17)$$

Следствие из леммы. Так как для каждого $x \in R^m$ справедливо равенство $q_\xi(x) = \chi_{F(\xi)}(x)$, то из леммы и формулы (6.17) следует, что математическое ожидание EY_ξ неопределенности вещественной функции $y(x)$ на случайном множестве ξ и математическое ожидание неопределенности $E_{F(\xi)}(y)$ этой же функции на нечетком множестве $F(\xi)$ совпадают.

Отметим, что функция неопределенности нечеткого множества, изученная в [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012, с. 43], получается из формулы (6.17) в частном случае, когда $y(x) \equiv 1$.

.....

Частные функции принадлежности нечеткого множества

Если $x \in R^{m+n}$, то будем писать $x = (y, z)$, где $y \in R^m$, $z \in R^n$. Пусть $\xi: \Omega \rightarrow 2^{R^{m+n}}$ – случайное точечно-множественное отображение.

Функция принадлежности проекции $\pi_{R^m} F(\xi)$ нечеткого множества $F(\xi)$ на ось R^m определяется по формуле:

$$\chi_{\pi_{R^m} F(\xi)}(y) = p(E_y), \quad (6.18)$$

$$\text{где } E_y = \{\omega \in \Omega \mid \xi(\omega) \cap (y \times R^n) \neq \emptyset\}.$$

Функция принадлежности проекции $\pi_{R^n} F(\xi)$ нечеткого множества $F(\xi)$ на ось R^n определяется по формуле:

$$\chi_{\pi_{R^n} F(\xi)}(z) = p(E_z), \quad (6.19)$$

$$\text{где } E_z = \{\omega \in \Omega \mid \xi(\omega) \cap (R^m \times z) \neq \emptyset\}.$$

Заметим, что для $y \in R^m$ и $z \in R^n$ справедливы неравенства:

$$\chi_{F(\xi)}(y, z) \leq \chi_{\pi_{R^m} F(\xi)}(y), \quad \chi_{F(\xi)}(y, z) \leq \chi_{\pi_{R^n} F(\xi)}(z). \quad (6.20)$$

Пусть теперь при некотором $y \in R^m$ имеем $\chi_{\pi_{R^m} F(\xi)}(y) > 0$. Тогда правдоподобность того, что $z \in \pi_{R^n} F(\xi)$ при условии $y \in \pi_{R^m} F(\xi)$, вычисляется по формуле:

$$p(z \in \pi_{R^n} F(\xi) \mid y \in \pi_{R^m} F(\xi)) = \frac{\chi_{F(\xi)}(y, z)}{\chi_{\pi_{R^m} F(\xi)}(y)}. \quad (6.21)$$

Условная правдоподобность (6.21) при фиксированном y является отображением $\chi: R^n \rightarrow [0, 1]$ и представляет собой функцию принадлежности нечеткого множества $G(y) = \pi_{R^n} F(\xi) \mid y$, которую и будем называть частной функцией принадлежности нечетко-случайной пары $(\xi, F(\xi))$ в точке $y \in R^m$. Очевидно, в точке $x = (y, z) \in R^{m+n}$ имеется две частных функции принадлежности:

$$\chi_1(y) = \frac{\chi_{F(\xi)}(y, z)}{\chi_{\pi_{R^n} F(\xi)}(z)} \quad \text{и} \quad \chi_2(z) = \frac{\chi_{F(\xi)}(y, z)}{\chi_{\pi_{R^m} F(\xi)}(y)}.$$

Предположим, что функции $\chi_1(y)$ и $\chi_2(z)$ таковы, что все сечения нечетких множеств A_{χ_1} и A_{χ_2} замкнуты. Тогда найдутся случайные точечно-множественные отображения $\xi_1: \Omega \rightarrow R^m$ и $\xi_2: \Omega \rightarrow R^n$, для которых справедливы равенства (см. [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012, с. 42]):

$$A_{\chi_1} = F(\xi_1), \quad A_{\chi_2} = F(\xi_2).$$

Замкнутость сечений, в частности, имеет место, если функции $\chi_1(y)$ и $\chi_2(z)$ непрерывны.

Экспериментальное исследование статистических свойств частных функций принадлежности выполнено в работах [Павлов, 2004; Павлов А.В., Павлов В.Н., 2013].

6.3.3. Описание методики исследования нечетко-множественных свойств модели Геске

Определение винеровского процесса.

Случайный процесс W_t , где $t > 0$, называется винеровским процессом, если:

1. $W_0 = 0$ почти наверное.
2. W_t – процесс с независимыми приращениями.
3. $W_t - W_s \sim N(0, \sigma^2(t-s))$, для любых $0 < s < t < \infty$, где $N(0, \sigma^2(t-s))$ обозначает нормальное распределение со средним 0 и дисперсией $\sigma^2(t-s)$.

Свойство роста дисперсии винеровских процессов во времени хорошо согласуется с гипотезой роста со временем волатильности цены базовых активов в моделях реальных опционов. Это в полной мере касается и применения метода реальных опционов при венчурном финансировании инновационных проектов (см. [Баранов и др., 2015]).

Определение модели Геске

Формула, полученная Блэком и Шоулзом [Black, Scholes, 1976] для оценки стоимости европейского колл-опциона, а также формула Геске [Geske, 1979], полученная для оценки двухстадийного составного европейского колл-опциона, применимы только для случая постоянной волатильности стоимости базового актива. Хсу в работе [Hsu, 2002] получил модификацию модели Геске для случая оценки опционов с волатильностью, зависящей от времени.

При выборе модели оценки реального опциона для случая венчурного инвестирования необходимо принимать во внимание тот факт, что волатильность цены базового актива изменяется с течением времени. По нашему мнению, именно модифицированная формула Геске [Geske, 1979] в полной мере учитывает особенности венчурного инвестирования и может быть использована для оценки стоимости реальных опционов, возникающих при венчурном финансировании инновационных проектов.

Пусть переменная V_t описывает стоимость акций компании в момент времени t , проинвестированной в момент времени $t = 0$ в объеме I_0 . В модели Геске предполагается, что переменная $X_t = \ln V_t$ является случайным процессом, удовлетворяющим стохастическому дифференциальному уравнению:

$$dX_t = \alpha(t, \omega)dt + \sigma(t)dW_t, \quad (6.22)$$

или

$$X_t - X_0 = \int_0^t \alpha(s, \omega)ds + \int_0^t \sigma(s)dW_s, \quad (6.23)$$

где dW_t – приращение винеровского процесса $dW_t \sim N(0, dt)$, – случайный элемент. Тогда, согласно формуле Ито (см. [Гихман, Скороход, 1977]), переменная $V_t = e^{X_t}$ будет удовлетворять стохастическому дифференциальному уравнению:

$$dV_t = \left[\alpha(t, \omega) + \frac{1}{2}\sigma^2(t) \right] V_t dt + (\sigma(t)V_t)dW_t, \quad (6.24)$$

где $\alpha(t, \omega)$ – мгновенная норма доходности акций V_t , $\sigma^2(t)$ – дисперсия мгновенной нормы доходности (оценка риска изменения мгновенной нормы доходности).

Стохастическое дифференциальное уравнение¹ (6.22) (а, следовательно, и уравнение (6.24)) имеет единственное с точностью до множества меры нуль непрерывное почти всюду решение на отрезке $[0; T]$.

Далее, для исследования нечетко-множественных свойств траектории V_t используются нечетко-случайные пары $(v \circ (t, V_t), F(v \circ (t, V_t)))$, как это описано выше.

Модификация модели Геске и адаптация нечетко-множественной методики анализа реальных опционов к оценке венчурного финансирования инновационных проектов

Учитывая многоэтапную реализацию рассматриваемого проекта, будем использовать модификацию модели Геске (6.24), в которой параметр мгновенной дисперсии $\sigma^2(t)$ является кусочно-постоянной функцией, т.е. период времени $[0; T]$ делится на части $[0; T] = [0; T_1) \cup [T_1; T_2) \cup \dots \cup [T_{k-1}; T_k]$, и на каждом из множеств $[T_{j-1}; T_j)$, $j = 1, \dots, k-1$, $T_0 = 0$ имеем $\sigma^2(t) = \sigma_j^2$, а на $[T_{k-1}; T_k]$ – $\sigma^2(t) = \sigma_k^2$.

Предположим, что венчурный фонд принимает решение разбить процесс инвестирования на два этапа: $T_0 < T_1 < T_2$, где

$$T_0 = 0 \text{ и } \sigma^2(t) = \sigma_1^2 \text{ для } T_0 < t < T_1, \sigma^2(t) = \sigma_2^2 \text{ для } T_1 < t < T_2. \quad (6.25)$$

Тогда инвестируемая компания представляет венчурному фонду составной колл-опцион.

В соответствии с [Баранов и др., 2015], введем следующие параметры:

I_0^v – инвестиции фонда на приобретение составного колл-опциона в момент времени $t = T_0$;

I_1^v – цена покупки фондом части Q^v акций инвестируемой компании в момент времени $t = T_1$ (цена исполнения составного (внешнего) колл-опциона);

I_2^v – цена исполнения внутреннего колл-опциона в момент времени $t = T_2$ (величина неявных издержек венчурного фонда);

V_t^v – рыночная стоимость пакета акций Q^v инвестируемой компании в момент времени t , который, возможно, приобретет венчурный фонд по условиям составного колл-опциона;

$\bar{V}$ – пороговое значение стоимости акций инвестируемой компании в момент времени T_1 , так что при условии $V_{T_1} \geq \bar{V}$ венчурным фондом принимается решение о его приобретении;

C_t^v – цена составного колл-опциона в момент времени t , которым владеет венчурный фонд.

Будем предполагать, что на отрезке времени $[T_0; T_2]$ переменная V_t^v является решением уравнения (6.24). Тогда, оставаясь в предположениях (6.25), по модифицированной формуле Геске (см. [Баранов и др., 2015]), для каждого t можем вычислить цену составного колл-опциона C_t^v и другие характеристики, которые являются функциями переменной V_t^v и условий (6.25).

¹ Теория стохастических дифференциальных уравнений изложена, например, в [Гихман, Скороход, 1977].

Основные методические приемы исследования нечетко-множественных свойств моделей инвестиционных проектов с венчурным финансированием, основанных на стохастическом дифференциальном уравнении (6.24), заключаются в следующем.

Во-первых, проводится нечетко-множественное описание параметров модели. При этом для нечетко-множественного описания случайных параметров используется стохастический алгоритм; для нечетко-множественного описания решений уравнения (6.24) применяется двухшаговая процедура, на первом шаге которой случайный процесс, являющийся решением уравнения (6.24), преобразуется в случайную величину, а на втором шаге к полученной случайной величине применяется стохастический алгоритм. Процедура преобразования случайного процесса V_t , являющегося решением уравнения (6.24) на отрезке $[0; T_2]$, в случайную величину заключается в том, что вместо V_t рассматривается двумерная случайная величина $\eta = (\xi, V_\xi)$, где ξ равномерно распределена на отрезке $[0; T_2]$.

Во-вторых, исследуются свойства полученных нечетких множеств, и вычисляются нечетко-множественные оценки эффективности исследуемого инвестиционного проекта.

В работе [Павлов А.В., Павлов В.Н., 2012] наиболее детально изучены следующие две группы методических приемов, которые используются нами для оценки эффективности инвестиционных проектов (предполагается, что V_t является решением уравнения (6.24)).

1. Оценка наиболее правдоподобного значения показателя. Так как значение функции принадлежности $\chi_{F(v \circ (tV_t))}(\tau, z)$, для каждой пары (τ, z) представляет собой степень истинности высказывания $V_\tau = z$, то решение при фиксированном τ задачи $\chi_{F(v \circ (tV_t))}(\tau, z_0) = \max_z \chi_{F(v \circ (tV_t))}(\tau, z)$ является наиболее правдоподобным значением V_τ , равным z_0 . Отметим, что для бимодальных и более сложных распределений наиболее правдоподобное значение существенно отличается от среднестатистического.

2. Надежность и устойчивость нечетко-множественной оценки показателя относительно эталона. Для оценки надежности и устойчивости используется некоторое эталонное нечетко-множественное значение показателя. Отклонением от него оцениваются искомые надежность и устойчивость при изменении влияющих параметров.

В указанной публикации также исследованы асимптотические свойства нечетко-множественных оценок показателей в зависимости от выбора параметра $v: R^m \rightarrow 2^{R^m}$ в формуле $\zeta(\omega) = (v \circ u)(\omega)$ преобразования случайной величины $u: \Omega \rightarrow R^m$ в случайное точечно-множественное отображение $\zeta: \Omega \rightarrow 2^{R^m}$, что позволяет судить о научной обоснованности предлагаемых оценок.

6.4. Нечетко-множественная оценка параметров эффективности инновационного проекта

6.4.1. Нечетко-множественная оценка устойчивости генерируемых инновационным проектом финансовых потоков и показателей его эффективности. Стоимость составного колл-опциона в текущий момент времени t , которым владеет венчурный фонд, будет определяться по модифицированной формуле Геске, которая описана выше, см. п.6.1, формулу (6.6) и равенства (6.7)–(6.8).

Нечетко-множественная оценка устойчивости прогнозируемых финансовых потоков и финансовых показателей, генерируемых инновационным проектом, будет проводиться в трех направлениях:

- 1) для оценки эффективности инновационного проекта в целом методом дисконтированных денежных потоков;
- 2) для оценки эффективности инновационного проекта методом NPV с позиции венчурного фонда;
- 3) для оценки эффективности инновационного проекта методом NPV с позиции венчурного фонда с применением метода реальных опционов.

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 финансовой модели, характеризующих эффективность инвестиционного проекта.

В первом из вышеперечисленных трех направлений могут быть «раскачаны» следующие экзогенные параметры: рыночные цены на выпускаемую продукцию; цены на основные сырье, материалы, электроэнергию; инвестиции во внеоборотные активы (например, могут измениться цены на оборудование или строительно-монтажные работы и, следовательно, параметр «инвестиции» тоже может быть нечетким). В качестве выходных эндогенных параметров, устойчивость которых будет оценена, выступают: чистая приведенная стоимость проекта в целом ($NPV_{\text{проекта в целом}}$) и внутренняя норма доходности проекта в целом ($IRR_{\text{проекта в целом}}$).

Во втором случае могут быть «раскачаны» следующие параметры: доля венчурного фонда в уставном капитале инвестируемой компании; величина прямых инвестиций венчурного фонда; дивиденды, получаемые венчурным фондом как процент от чистой прибыли (чистая прибыль проинвестированной компании нечеткая); приемлемая для фонда ставка дисконтирования. Будет оцениваться устойчивость чистого приведенного дохода венчурного фонда ($NPV^{\text{венч фонда}}$) и внутренней нормы доходности венчурного фонда ($IRR^{\text{венч фонда}}$).

В третьем направлении исследований в качестве нечетко описываемых «входных» параметров могут быть: $I_0^{\text{в}}$ – затраты на приобретение в момент времени T_0 составного опциона «колл»; $I_1^{\text{в}}$ – цена исполнения составного (внешнего) опциона «колл» (инвестиции венчурного фонда в момент времени T_1 в приобретение части акций рискованной компании); r – безрисковая процентная ставка; σ_1 – уровень рискованности операций венчурной компании в течение промежутка времени $(0, T_1)$; σ_2 – уровень рискованности операций венчурной компании в течение промежутка времени $(0, T_2)$. Нечетко описываемые «выходные» параметры, устойчивость которых будет оцениваться, следующие: $NPV^{\text{с уч. опциона}}$ и $IRR^{\text{с уч. опциона}}$.

В целях ограничения объемов публикации будут приведены результаты следующих расчетов: влияние вариации рыночных цен продукции на $NPV_{\text{проекта в целом}}$ и $IRR_{\text{проекта в целом}}$; влияние вариации величины доли венчурного фонда в уставном капитале инвестируемой компании и цен на продукцию на $IRR^{\text{венч фонда}}$; оценка надежности наиболее правдоподобного значения NPV венчурного фонда в случае изменения цен на продукцию проинвестированной компании и доли фонда в уставном капитале инвестируемой компании; влияние вариации σ_1 – уровня рискованности операций венчурной компании в течение промежутка времени $(0, T_1)$ и σ_2 – уровня рискованности операций венчурной компании в течение промежутка времени (T_1, T_2) на $NPV^{\text{с уч. опциона}}$ и $IRR^{\text{с уч. опциона}}$ [Баранов и др., 2016а; 2016б; 2016г; Baranov и др., 2016].

6.4.2. Методика оценки надежности и устойчивости нечетких показателей.

Основные обозначения

Пусть R – вещественная прямая, $F(R)$ – совокупность нечетких множеств в пространстве R , $D \in F(R)$ – нечеткое множество в R и $\chi_D : R \rightarrow [0,1]$ – функция принадлежности множества D . Обозначим $I(D)$ носитель нечеткого множества D :

$$I(D) = \{x \in R | \chi_D(x) > 0\},$$

где $N(D)$ – наименьший отрезок, содержащий $I(D)$; $S(a,b) \in F(R)$ – симметричное треугольное число a с носителем длины b .

Пусть теперь R^m – m -мерное арифметическое пространство, $F(R^m)$ – совокупность нечетких множеств в пространстве R^m . Рассмотрим некоторое отображение:

$$G : F(R^m) \rightarrow F(R).$$

В приложениях прямая R обычно интерпретируется как пространство значений исследуемого экономического показателя, а пространство R^m – как пространство значений параметров, влияющих на исследуемый показатель. Отображение G представляет собой математическую модель, по которой вычисляется значение показателя $G(D) \in F(R)$ при заданных значениях влияющих параметров $D \in F(R^m)$.

Пусть задано нечеткое значение параметра D . Для построения отображения G в данной статье используется стохастический алгоритм, который включает следующую последовательность процедур.

1. Преобразуется нечеткое множество D в случайное отображение:

$$\xi : \Omega \rightarrow R^m,$$

где Ω – вероятностное пространство с вероятностной мерой p .

2. Делается выборка случайных элементов $\{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$. Для каждого значения параметра $\xi(\omega_k)$ по модификации модели Геске рассчитывается значение результирующего показателя $r_k \in R$.

3. К выборке $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ применяется интервальное преобразование, и в результате получается нечеткое множество $G(D)$.

В качестве результирующего значения показателя из нечеткого множества $G(D)$ обычно берется его наиболее правдоподобное значение $\bar{g}$, вычисленное следующим образом:

$$\chi_{G(D)}(\bar{g}) = \max_{g \in R} \{\chi_{G(D)}(g)\}.$$

Процедуры вычисления надежности и устойчивости нечетких показателей

Для оценки надежности наиболее правдоподобного значения нечеткого показателя вводится понятие эталонного значения показателя. Принимается, что эталонный показатель имеет наибольшую надежность, равную единице. Если вычисленное значение нечеткого показателя отклоняется от эталонного, то его надежность может быть меньше единицы. В качестве эталонного обычно выбирается такой нечеткий показатель, который из каких-то соображений устраивает исследователя. В качестве эталона выберем симметричное треугольное число $S(\bar{g}, b)$, где длина носителя $b \leq |N(G(D))|$. Тогда показатель надежности $H(G(D), S(\bar{g}, b))^1$ вычисляется по следующей формуле:

¹ В монографии А.В. Павлова и В.Н. Павлова «Нечетко-случайные методы исследования неопределенности и их макроэкономические приложения» (2012) он называется правдоподобностью совпадения множеств $G(D)$ и $S(\bar{g}, b)$.

$$H(G(D), S(\bar{g}, b)) = \min \left\{ \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \min\{\chi_{G(D)}(t), \chi_{S(\bar{g}, b)}(t)\} dt}{\int_{-\infty}^{\infty} \chi_{G(D)}(t) dt}, \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \min\{\chi_{G(D)}(t), \chi_{S(\bar{g}, b)}(t)\} dt}{\int_{-\infty}^{\infty} \chi_{S(\bar{g}, b)}(t) dt} \right\}. \quad (6.26)$$

Ясно, что абсолютное значение показателя надежности зависит от выбранного эталона. Это, конечно, снижает привлекательность методики. Однако если при одном и том же эталоне и при одних и тех же значениях влияющих параметров вычислить коэффициенты надежности двух показателей $G_1(D)$ и $G_2(D)$, то при изменении эталона повторный расчет надежности каждого показателя показывает, что оба коэффициента надежности меняются пропорционально и так, что меньший из них всегда остается меньшим.

Показатель устойчивости используется при исследовании зависимости показателя $G(D)$ от параметра D и характеризует скорость изменения значения $G(D)$ при изменении параметра D . Обычно, показатель устойчивости используется в анализе по следующей методике. Пусть имеется два значения параметра D_1 и D_2 . Вычисляется $H(G(D_1), G(D_2))$.

Заключение об устойчивости показателя $G(D)$ при $D = D_1$ делается следующим образом: чем больше правдоподобность $H(G(D_1), G(D_2))$ совпадения множеств $G(D_1)$ и $G(D_2)$, тем выше устойчивость показателя $G(D)$. При этом коэффициент устойчивости объявляется равным $H(G(D_1), G(D_2))$ [Баранов и др., 2016а; 2016б; 2016г; Baranov и др., 2016].