

8.3. ПРИМЕНЕНИЕ СОСТАВНЫХ РЕАЛЬНЫХ ОПЦИОНОВ ПРИ ОЦЕНКЕ МНОГОСТАДИЙНЫХ ПРОЕКТОВ

Петренива Е.А., аспирант кафедры математических методов анализа экономики

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

В работе рассмотрены основные виды реальных опционов, а также предложен способ оценки многостадийного инвестиционного проекта как составного реального опциона. Проведено сравнение способов оценки составного реального опциона, а также представлен пример оценки составного реального опциона на российских данных.

В настоящее время актуальным является повышение обоснованности управленческих решений при оценке проектов, характеризующихся высокой степенью неопределенности. Такие показатели, как чистая приведенная стоимость (*NPV*), внутренняя норма доходности (*IRR*), дисконтированный период окупаемости могут неверно оценивать определенные инвестиционные проекты. «Если приведенная ценность денежных потоков от проекта подвержена колебаниям и со временем может измениться, то проект с отрицательной чистой приведенной стоимостью сегодня способен иметь положительную чистую приведенную стоимость в будущем» [1, с. 1031].

Традиционные способы оценки инвестиционных проектов недооценивают инвестиционную гибкость (т.е. возможность изменять инвестиционные решения в соответствии с новой информацией). Гибкость можно учесть при оценке инвестиционных решений методом реальных опционов.

Инвестиционная гибкость важна в тех отраслях, где большие средства вкладываются в новые исследования и разработки, и многие проекты не генерируют положительного денежного потока в начале своего существования. В качестве примера можно привести проект инвестиций в новую технологию или в патент. «Поскольку ...патент обеспечивает фирме эксклюзивное право на производство запатентованного товара или услуги, его можно и нужно оценивать как опцион» [1, с. 1031].

Следует заметить, что гибкость, как правило, возникает на нескольких стадиях инвестиционного проекта. Например, при разработке нового продукта предприятие может сталкиваться с двумя видами неопределенности – с технологической и с рыночной. Эти два вида неопределенности могут привести к двум источниками гибкости проекта. Чем более длительным является проект, тем больше видов неопределенности он включает. Многостадийные инвестиции характерны для предприятий фармацевтической отрасли (так как новые препараты проходят несколько стадий клинических испытаний).

При оценке многостадийного инвестиционного проекта методом реальных опционов, как правило, учитывается только один вид гибкости. Для того чтобы учитывать несколько видов гибкости при принятии решений, необходимо оценивать многостадийные инвестиции как составные реальные опционы.

В качестве примеров многостадийных инвестиционных проектов, обладающих гибкостью, можно привести проект инвестиций в патент, проект инвестиций в научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР) инновационной продукции, а также проект по разведке и разработке месторождений полезных ископаемых. Проект инвестиций в НИОКР инновационной продукции характеризуется гибкостью, возникающей на этапе разработки продукта, и гибкостью, возникающей на этапе коммерциализации. Проект инвестиций в патент состоит из фазы разработки продукта, нескольких фаз клинических испытаний, а также фазы коммерциализации.

Оценка составных реальных опционов может осуществляться при помощи модифицированных биномиальных деревьев, при помощи имитационного моделирования, а также аналитически. Аналитическая формула для оценки составного опциона была предложена Geske.

В статье представлена оценка многостадийного проекта, описанного в исследовании Luigi Sereno, при помощи аналитической формулы, биномиального дерева, а также имитационной модели. Научная новизна заключается в том, что автором предложена имитационная модель оценки составного опциона, а также был предложен способ определения дисперсии доходности денежных потоков, учитывающий финансовый рычаг компании. Также представлена оценка российского проекта как составного реального опциона. Автором проанализировано изменение ценности проекта при вводе неопределенности инвестиций в имитационную модель.

Обзор исследований

Критика традиционных способов оценки инвестиционных проектов началась в 1950-х гг. (Dean, Hayes, Garvin), в 1980-х гг. проекты с гибкостью начали оцениваться по аналогии с финансовыми опционами (Riggs, Mason, Cox, Ross, Rubinstein).

«Термин «реальный опцион» был введен в 1977 г. Майерсом, который первым предложил оценивать реальные инвестиции по аналогии с опционами. Реальный опцион – это право принимать определенные инвестиционные решения в определенные моменты времени» [1, с. 5]. «Диксит и Пиндаик в 1994 г. заметили, что большая часть инвестиционных решений имеет три важные характеристики в терминах реальных опционов.

- Во-первых, инвестиции являются полностью или частично необратимыми.
- Во-вторых, всегда имеет место неопределенность относительно будущей отдачи от инвестиций.
- В-третьих, инвесторы могут выбрать момент инвестиций по своему усмотрению» [1, с. 6].

Виды реальных опционов были определены в период с 1977 по 1992 гг. (Merton, Trigerous, Brennan, Marcus). В 1991-1993 гг. начала исследоваться взаимосвязь между отдельными типами опционов (Trigerous, Dos Santos).

Существует большое количество реальных опционов, и различные проекты могут обладать ими. Наиболее распространенные реальные опционы отражены в табл. 1.

Подобные возможности изменения решения обладают ценностью, и их можно оценивать по аналогии с

финансовыми опционами. Инвесторы достаточно часто готовы нести дополнительные издержки в обмен на гибкость проектов. При этом «хотя стоимость гибкости всегда положительна, цена, которую приходится платить за гибкость, может превосходить ценность гибкости» [6, с. 13]. «Например, известно, что машина, способная работать на двух видах топлива, является более ценной, так как ее использование предоставляет предприятию инвестиционную гибкость. Но дополнительные издержки на покупку данной машины могут превосходить ценность этой гибкости» [7, с. 13]. Если сравнивать такие реальные опционы с финансовыми опционами, то можно провести следующую аналогию: финансовый опцион обладает внутренней стоимостью, но его рыночная цена превосходит эту стоимость. Таким образом, покупка данного опциона не является целесообразной.

Таблица 1

ВИДЫ РЕАЛЬНЫХ ОПЦИОНОВ

Вид опциона	Возможность изменение решения
Опцион на отсрочку	Возможность отложить осуществление проекта
Опцион на расширение	Возможность расширить производство
Опцион на отказ от проекта	Возможность закрытия производства в случае неблагоприятной ситуации развития бизнеса
Опцион на переключение	Возможность переключения на производство другого вида продукции

К методам оценки финансовых и реальных опционов можно отнести формулу Блэка-Шоулза, биномиальные и триниомальные деревья, а также имитационное моделирование. Формула Блэка-Шоулза предполагает аналитическую оценку опциона при условии, что доходность базового актива имеет логонормальное распределение. Биномиальная модель использует биномиальные деревья и является аппроксимацией формулы Блэка-Шоулза.

Сравнение финансовых и реальных опционов

Проведем аналогию между логикой оценки финансовых и реальных опционов. Для начала рассмотрим логику оценки финансовых опционов.

1. Цена базового актива – это цена акции, на которую приобретается опцион, определенная на настоящий момент времени. Предполагается, что доходность имеет логарифмически нормальное распределение и, исходя из этого, прогнозируется цена базового актива на момент исполнения опциона.
2. Цена исполнения опциона – та цена, по которой владелец опциона имеет право купить или продать базовый актив. Эта сумма будет заплачена (получена) в момент исполнения опциона.
3. Срок исполнения – срок, по истечении которого (для американского опциона – в течение которого) можно будет исполнить опцион.
4. Волатильность – дисперсия доходности базового актива. Она определяется исходя из исторических данных.

Проанализируем логику оценки реальных опционов.

1. Цена базового актива – это стоимость приростных денежных потоков, генерируемых в результате инвестиционного решения, приведенная к настоящему моменту времени. Как правило, приростные денежные потоки дисконтируются по средневзвешенной стоимости капитала для дан-

ного проекта. Согласно теореме П. Самуэльсона, при оценке реальных опционов следует использовать такое же распределение доходности базового актива, как и при оценке финансовых опционов. «В 1965 году Пол Самуэльсон, первый нобелевский лауреат по экономике, доказал следующую теорему. Доходность любого актива будет следовать «случайному блужданию» независимо от распределения ожидаемых будущих денежных потоков, так как инвесторы обладают полной информацией относительно денежных потоков». [6, с. 222].

2. Цена исполнения опциона – это стоимость инвестиций, решение об осуществлении которых принимается в момент исполнения опциона, приведенная к моменту исполнения опциона. Согласно подходу Коупленда, инвестиции стоит дисконтировать по безрисковой ставке.
3. Срок исполнения – это срок, по истечении которого (или же в течение которого) можно принять инвестиционное решение (т.е. исполнить реальный опцион). Это именно тот момент, в который возникает гибкость.

Недостатки моделей оценки реальных опционов

При всех преимуществах методики оценки реальных опционов ее использование не всегда приводит к корректной оценке проекта.

В первую очередь необходимо учитывать тот факт, что оценка опциона при помощи модели Блэка-Шоулза является справедливой только при соблюдении следующих исходных предпосылок (Copeland, Antikarov, 2003):

- опцион не может быть исполнен раньше установленного срока;
- по базовому активу не выплачиваются дивиденды;
- текущая рыночная цена базового актива известна, динамика цены базового актива наблюдаема;
- дисперсия доходности базового актива не меняется со временем;
- цена исполнения опциона известна и является постоянной;
- метод оценки реальных опционов применим в только тогда, когда гибкость действительно имеет место. Если менеджеры не могут менять решения, оценка проекта методом реальных опционов не имеет смысла.

Также для корректной оценки инвестиционных решений как реальных опционов необходимо знать риски проекта, **WACC** и волатильность проекта. В качестве дисперсии доходности базового актива следует использовать дисперсию денежных потоков по аналогичным проектам [2]. Но для расчета данной дисперсии сложно найти исторические данные. Использование дисперсии доходности акций компании, или же дисперсии стоимости фирмы, является корректным только при оценке инвестиционных решений в компаниях одного проекта. «При этом не учитывается снижение риска в результате диверсификации» [2, с. 236], поэтому оценка реальных опционов в крупных многопрофильных компаниях зачастую оказывается некорректной. Также ввиду сложности прогнозирования будущего нецелесообразно оценивать опционы, которые могут возникнуть более чем через 15 лет с момента оценки [5].

Оценка составных опционов

В настоящее время разработано большое количество модификаций модели Блэка-Шоулза и биномиальной модели, позволяющих оценивать финансовые и реальные опционы при нарушении некоторых пред-

посылок. Одной из таких модификаций является формула оценки составных опционов.

Составной опцион – это опцион, базовым активом на который является опцион. Составные опционы невозможно оценивать при помощи стандартной формулы Блэка-Шоулза. «Геске (Geske, 1979) разработал аналитическую формулировку для оценки составных опционов, заменив при вычислении стандартное нормальное распределение для оценки составных опционов, используемое в простых моделях, двумерным нормальным распределением» [8, с. 142].

В качестве составных реальных опционов можно рассматривать многостадийные инвестиционные проекты, обладающие гибкостью. При осуществлении первой стадии проекта инвестор получает возможность исполнить вторую, т.е. приобретает опцион. При осуществлении второй стадии проекта приобретает следующий вложенный опцион – инвестор получает возможность исполнить третью стадию.

Luigi Sereno применил подход Geske для оценки многостадийного инвестиционного проекта (точнее, инвестиций в фармацевтический патент) как составного реального опциона. Инвестиции в фармацевтический патент стоит рассматривать как составной реальный опцион, так как проект разработки лекарственного препарата можно четко разделить на несколько стадий. В стадии проекта входит разработка, несколько фаз клинических испытаний, а также коммерциализация проекта.

Оценка многостадийного проекта как составного реального опциона.

Иллюстративный пример

В качестве иллюстративного примера был взят проект инвестиций в фармацевтический патент, который был рассмотрен в работе Л. Серено «Оценка фармацевтического патента как реального опциона. Практический пример». В исследовании описывается инвестиционный проект по разработке, патентованию и коммерциализации лекарственного препарата. Проект делится на стадии, определяется продолжительность каждой стадии осуществления инвестиций. Определяется приведенная стоимость выгод от осуществления инвестиционного проекта.

Инвестиционный проект можно разделить на следующие стадии.

1. Предварительные исследования.
2. Первая фаза клинических испытаний. Испытание препарата на 20-100 здоровых добровольцах с целью определения оптимальной дозы и исследования безопасности данного препарата.
3. Вторая фаза клинических испытаний.
4. Третья фаза клинических испытаний.
5. Сертификация нового препарата.
6. Выпуск нового препарата на рынок.

Большая часть патентов получается на стадии предварительных исследований, и это приводит к снижению реального срока жизни патента.

В статье Л. Серено новый продукт успешно прошел первую фазу клинических испытаний. Коммерциализация нового продукта будет продолжаться до 2024 г. После получения патента препарат выпускается на рынок. Срок службы патента в данном случае – 9 лет. В исследовании Л. Серено препарат находится на второй стадии клинических испытаний. На этой стадии

фирма получает патент. Стадии, которые будут анализироваться при оценке инвестиционного проекта, перечислены в табл. 2 [9, с. 10].

Таблица 2

СТАДИИ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА

Этап инвестирования	Дата начала этапа	Ожидаемая продолжительность этапа	Описание этапа
1	2010	1	Вторая фаза клинических испытаний – добровольное тестирование препарата на 100-300 пациентах. Цель этапа – подтверждение эффективности данного препарата
2	2014	3	Третья фаза клинических испытаний – добровольное тестирование препарата на 1000-1500 пациентах. Цель – выявление побочных эффектов и противопоказаний.
3	2015	1	Принятие решения о сертификации нового продукта

При этом инвестиционное решение принимается три раза: через год, еще через три года и еще через год. Соответственно, один год, четыре года и пять лет – сроки исполнения третьего, второго и первого опционов соответственно. Цены исполнения опционов – те инвестиции, которые мы решаем осуществить через один год (15 000 тыс. долл.), через четыре года (10 000 тыс. долл.) и через пять лет (20 000 тыс. долл.). Цена базового актива – 68 400 тыс. долл. (стоимость притоков денежных потоков, приведенная к настоящему времени по средневзвешенной стоимости капитала). На рис. 1 представлено соотношение времени исполнения вложенных опционов и времени осуществления стадий инвестиционных проектов.

В рамках данной модели предполагается, что инвестиционные решения можно менять только на первый, четвертый и пятый годы существования проекта. Таким образом, опционы на отсрочку не учитываются.

Формализация модели оценки

Оценка составного реального опциона производилась аналитически, при помощи биномиальных деревьев, а также при помощи имитационной модели.

Введем обозначения.

Суммарное время всех стадий проекта в годах = T_1 . С точки зрения опционной теории T_1 – это срок исполнения первого опциона.

Суммарное время на осуществление первой и второй стадий инвестиций в проект в годах = T_2 . С точки зрения опционного подхода, это срок исполнения второго опциона (точнее, опциона на первый опцион).

Время на осуществление первой стадии инвестиций в проект в годах = T_3 . Это срок исполнения третьего опциона (т.е. опциона на второй опцион).

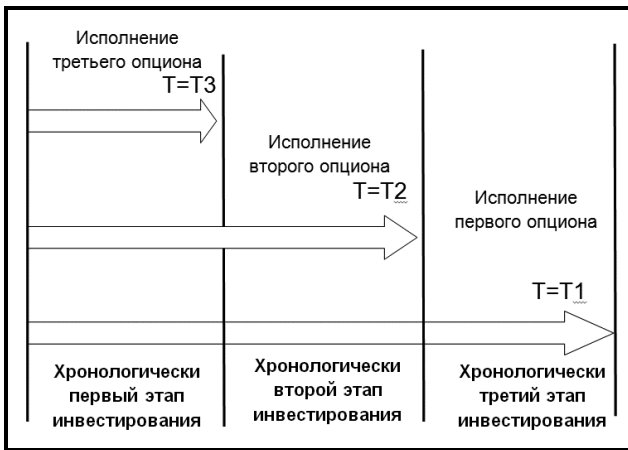


Рис. 1. Проект инвестирования в фармацевтический патент

При этом хронологически раньше всего осуществляется третий опцион. После этого инвестор получает возможность осуществить «вложенный в него» второй опцион, а затем – первый.

Затем:

F – ценность опциона, млн. долл.;

V – аналог цены базового актива в модели Блэка-Шоулза (это приведенная стоимость приростных денежных потоков, генерируемых в результате тех или иных инвестиционных решений);

I – стоимость инвестиций, решение по которым принимается в момент исполнения T -го опциона (млн. долл.), приведенная к моменту исполнения данного опциона. Эту величину можно рассматривать как цену исполнения опциона;

σ – волатильность базового актива, %;

r – безрисковая ставка, %.

Оценка составного опциона

Аналитическая оценка.

Динамика цены базового актива (т.е. приведенной стоимости выгод от последовательных инвестиций) описывается следующим уравнением:

$$\frac{dV}{V} = rdt + \sigma dZ$$

где σ – мгновенное стандартное отклонение в пропорциональном изменении цены базового актива;

Z – винеровский процесс.

Выплаты по составному опциону в момент T_3 определяются по следующей схеме:

$$F_3(V) = \max [0, F_2(V, T_3) - I_3]$$

Ценность составного опциона определяется по следующей формуле:

$$F_3(V) = V_0 N_3(b_3, b_2, b_1, A) - I_1 \times e^{-rt_1} N_3(a_3, a_2, a_1, A) - I_2 \times e^{-rt_2} N_2(a_3, a_2, p_{23}) - I_3 \times e^{-rt_3} \times N_1(a_3)$$

где

$$b_k = \frac{\log \left(\frac{V_0}{V_{T_k}} \right) + \left(r + \frac{1}{2} \times \sigma^2 \right) T_k}{\sigma \sqrt{T_k}}$$

$$a_k = b_k - \sigma \sqrt{T_k}$$

для $k=1,2,3$.

При этом $N_3(x, y, z, A)$ – трехмерное (стандартное) нормальное распределение со верхними пределами интегрирования x, y, z и корреляционной матрицей

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{13} \\ \rho_{12} & 1 & \rho_{13} \\ \rho_{13} & \rho_{23} & 1 \end{bmatrix}$$

$$\rho_{12} = \sqrt{T_2 / T_1}$$

$$\rho_{13} = \sqrt{T_3 / T_1}$$

$$\rho_{23} = \sqrt{T_3 / T_2}$$

Кроме того, $v_{T_k}^*$ является решением уравнения

$$F_{k-1}(V, T_k) - I_k = 0 \text{ для } k=2,3 \text{ и } v_{T_1}^* = I_1$$

Более подробно данную формулу можно изучить в работах Геске, а алгоритм решения – в исследовании Серено.

Коэффициенты в (13) определяются, исходя из совместного нормального распределения прироста цены базового актива за периоды T_3, T_2 и T_1 . При этом доля T_2 в T_1 – это коэффициент корреляции между приростом стоимости базового актива за периоды T_2 и T_1 .

На рис. 2 представлена логика оценки составного опциона при помощи биномиальных деревьев и при помощи имитационной модели. В моменты T_1, T_2 и T_3 инвестор может отказаться от проекта в том случае, когда осуществление проекта не является выгодным. В момент T_1 величина $V(T_1)$ сравнивается с величиной I_1 . В другие моменты решение принимается, исходя из условного математического ожидания.

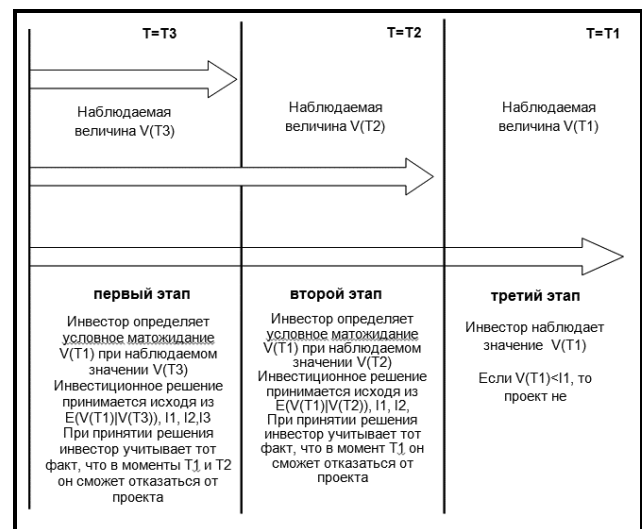


Рис. 2. Принятие решения в момент T_1, T_2, T_3

Определение ценности составного реального опциона путем анализа биномиальных деревьев

«В основе биномиальной модели оценки опционов (binominal option pricing model) лежит элементарная формулировка процесса установления цены опциона, в котором актив в любой период времени может двигаться к одной из двух возможных цен» [5].

На этом рисунке V – это завершающая цена базового актива. Цена движется к цене Vu (т.е. растет) с вероятностью π и к цене Vd (т.е. снижается) с вероятностью $1 - \pi$ в любой период времени.

Параметры роста или падения цены базового актива определяются следующим образом:

$$u_n = e^{\sigma \sqrt{h_n}},$$

$$d_n = e^{-\sigma \sqrt{h_n}}.$$

где h – длина временного интервала.

Вероятность роста цены определяется по следующей формуле:

$$\pi = \frac{e^{r \Delta t} - d}{u - d}.$$

Временной промежуток рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta t = T_i / n.$$

Цена базового актива на каждый момент определяется следующим образом:

$$V(T) = V(0) \times u^i d^{n-i} C_n^i(\pi)^i (1 - \pi)^{n-i},$$

где

$$i = 0, \dots, n.$$

В данном случае i – количество подъемов цены, а $n - i$ – количество падений цены. Мы рассчитываем вероятность того, что цена вырастет i раз, а $n - i$ раз упадет, при этом рост и падения цены имеют распределение Бернулли. В нашем примере:

n_1 – количество отрезков между периодами T_2 и T_1 ;

n_2 – количество отрезков между периодами T_3 и T_2 ;

n_3 – количество отрезков внутри периода T_3 .

Дерево движения цены базового актива представлено на рис. 3.

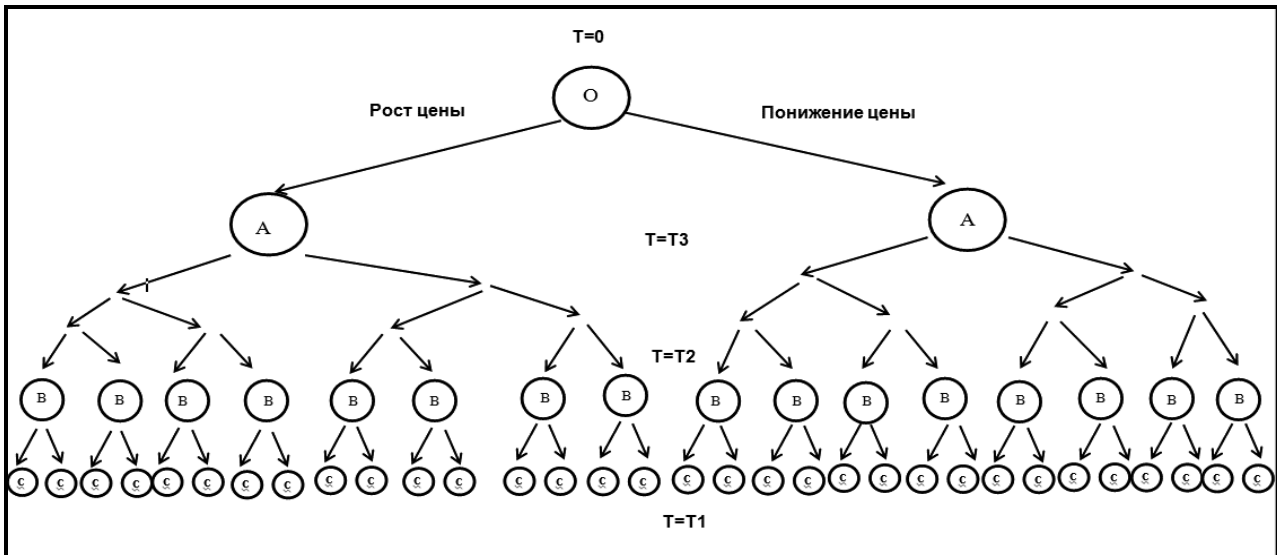


Рис. 3. Упрощенное биномиальное дерево

Проанализируем последовательное принятие инвестиционных решений, используя обратную индукцию (вначале будет рассмотрено принятие решения в хронологически последний момент).

В момент T_1 инвестиционное решение принимается, исходя из следующего неравенства:

$$V(0) \times u^i d^{n-i} C_n^i(\pi)^i (1 - \pi)^{n-i} > I_1.$$

Инвестор наблюдает, какое значение принимает цена базового актива в момент T_1 . Цена базового актива на момент T_1 сравнивается с суммой инвестиций, которую нужно заплатить в данный момент. На рис. 3 данное решение принимается в узлах **A**. Это решение об исполнении первого вложенного опциона, или же решение о начале коммерциализации продукта.

В момент T_2 инвестор может наблюдать только величину $V(T_2)$. Исходя из наблюдаемой величины, определяется условное математическое ожидание величины $V(T_1)$:

$$E(V(T_1) | V(T_2)) = V(T_2) \times \sum_{i=0}^{n_1} u^i d^{n_1-i} C_{n_1}^i(\pi)^i (1 - \pi)^{n_1-i}.$$

Инвестор принимает решение в момент T_2 , исходя из следующего неравенства:

$$\max(E(V(T_1) | V(T_2)) - I_1; 0) \times \exp(-r(T_1 - T_2)) > I_2.$$

Поясним данную формулу. Условное математическое ожидание $V(T_1)$ сравнивается с величиной I_1 . Если ожидаемое значение цены базового актива ока-

жется меньше суммы инвестиций, то в момент T_1 инвестор, скорее всего, не будет исполнять реальный опцион. Это говорит о том, что в момент T_2 исполнять второй вложенный опцион так же невыгодно. Если $E(V(T_1) | V(T_2)) > I_1$, то в момент T_2 инвестор решает следующее неравенство:

$$(E(V(T_1) | V(T_2)) - I_1) \times \exp(-r(T_1 - T_2)) > I_2$$

Если оно выполняется, то стоит исполнять второй вложенный опцион. Данное решение принимается в узлах **B**. Это – решение об осуществлении второго вложенного опциона.

В момент T_3 наблюдаемой является величина $V(T_3)$ и принимается решение на основе следующего неравенства:

$$\max(\max(E(V(T_1); V(T_3)) - I_1; 0) \times \exp(-r(T_1 - T_2)) - I_2; 0) \times \exp(-r(T_3 - T_2)) > I_3$$

Расчет ценности проекта, приведенной к нулевому периоду:

$$\max(\max(\max(E(V(T_1); V(T_3)) - I_1; 0) \times \exp(-r(T_1 - T_2)) - I_2; 0) \times \exp(-r(T_3 - T_2)) - I_3; 0) \times \exp(-r \times T_3)$$

Это решение об осуществлении третьего вложенного опциона. Оно принимается в узлах **C** дерева.

Оценка составного опциона при помощи метода Монте-Карло

Предполагается, что цена базового актива имеет распределение **Имо**. Таким образом, темпы роста базового актива за период T можно будет определить по формуле:

$$\phi(T) = \exp\left(\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)T + \sigma \varepsilon \sqrt{T} \right)$$

Таким образом, цена базового актива к моментам T_1 , T_2 и T_3 примет следующие значения:

$$V(T) = V(0) \exp\left(\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)T + \sigma \varepsilon \sqrt{T} \right)$$

В таком случае оценка составного опциона будет проводиться в соответствии со следующим алгоритмом.

Расчет темпов роста цены базового актива $\phi(T_1 - T_2)$, $\phi(T_2 - T_2)$ и $\phi(T_3)$ для каждой симуляции. Величина $\phi(T_1 - T_2)$ показывает, насколько увеличится цена базового актива за период между T_2 и T_1 , т.е. за последний этап инвестирования, $\phi(T_2 - T_2)$ показывает изменения за период между T_3 и T_2 , величина $\phi(T_3)$ показывает изменения за период с нулевого момента по момент T_3 .

Расчет величин $V(T_1)$, $V(T_2)$, $V(T_3)$ для каждой симуляции.

Расчет средних значений для $\phi(T_2 - T_2)$, $\phi(T_2 - T_2)$, $\phi(T_3)$.

Расчет условного математического решения $V(T)$ в моменты T_1 , T_2 и T_3 :

$$E(V(T_1) | V(T_2)) = V(T_2) \times \phi(T_1 - T_2)$$

$$E(V(T_3) | V(T_3)) = V(T_3) \times \phi(T_1 - T_2) \times \phi(T_2 - T_2)$$

Принятие инвестиционных решений в моменты T_1 , T_2 и T_3 по формулам, предложенным при оценке биномиальной модели.

Расчет ценности проекта по формулам.

Результаты оценки составного опциона

Аналитическая оценка опциона

Ценность опциона составляет 28 772 млн. долл. Ценность опциона за вычетом инвестиций 2010 г. составляет 26 771 млн. долл. Аналитическая оценка опциона была проведена при использовании приложений MathCad и Maple. Код в программе Maple можно увидеть в приложении 1, а решение в программе MathCad – в приложении 2.

Оценка опциона при помощи биномиальной модели

Ценность опциона = 26 557 млн. долл. Ценность опциона за вычетом инвестиций 2010 г. равна 24 557 млн. долл. Оценка опциона при помощи биномиальной модели приведена в приложении 3.

Оценка опциона при помощи имитационной модели

Стоимость равна 24 006 млн. долл.

Анализ чувствительности ценности составного опциона

Был проведен анализ чувствительности ценности опциона по продолжительности различных этапов инвестирования на базе расчета стоимости опциона методом Монте-Карло (табл. 3).

Таблица 3

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЦЕННОСТИ ОПЦИОНА ПО БЕЗРИСКОВОЙ СТАВКЕ, СУММЕ ИНВЕСТИЦИЙ И ВОЛАТИЛЬНОСТИ

Переменная	Вклад переменной в дисперсию ценности опциона, %	Ранговая корреляция переменной и ценности опциона
Волатильность	82,70	0,76
I1	5,7	-0,2
I2	3,6	-0,14
I3	2,7	-0,16
Безрисковая ставка процента	5,3	-0,19

Исходя из анализа чувствительности, ценность опциона находится в прямой зависимости от значения волатильности и в обратной зависимости от значения суммы инвестиций и безрисковой ставки. При этом па-

раметр волатильности положительно влияет на ценность опциона.

В ходе анализа чувствительности были получены следующие выводы.

Сильнее всего ценность опциона будет изменяться при изменении значения волатильности. Поэтому в том случае, когда значение волатильности нестабильно, оценка опциона будет некорректной.

При прочих равных условиях изменение более близких по времени инвестиций сильнее повлияет на цен-

ность опциона, чем изменение суммы инвестиций, которые предстоит осуществить позже.

Сроки исполнения опциона могут оказать сильное влияние на ценность опциона только в том случае, когда они являются достаточно продолжительными.

Сравнение различных способов оценки составного опциона

Таблица 4

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ СОСТАВНОГО ОПЦИОНА

Параметр	Аналитическая модель	Биномиальная модель	Метод Монте-Карло
Точность результата	Максимальная	Точность меньше, чем при аналитической модели. Увеличивается при увеличении количества временных интервалов	Точность меньше, чем при аналитической модели. Точность увеличивается при увеличении количества симуляций и при использовании процедур снижения дисперсии
Возможность применения модели для оценки для n -стадийного опциона	Расширение модели для оценки n -стадийного опциона является достаточно сложным	Данная модель является наиболее удобной для оценки n -стадийного опциона	Расширения модели для оценки n -стадийного опциона является достаточно трудоемким
Удобство проведения анализа чувствительности	Минимальное	Проведение анализа чувствительности по большей части переменных не является трудоемким. Тем не менее, анализ чувствительности по продолжительности этапов инвестирования затруднено	При применении метода Монте-Карло возможно проведение анализа чувствительности практически по любому фактору (ввиду гибкости и универсальности метода Монте-Карло). Тем не менее, анализ чувствительности, проводимый на основе метода Монте-Карло, является трудоемким
Возможность модификации модели	Модификация модели затруднительна	Достаточно простой является модификация, позволяющая оценить американский опцион	Возможны практически любые модификации моделей. Но «при оценке американских опционов появляются значительные сложности. Так как определение оптимального времени исполнения опциона зависит от усреднения по будущим событиям, метод Монте-Карло для американских опционов предполагает «Монте-Карло над Монте-Карло», что делает процедуру вычислительно сложной» [6, с. 9]

Оценка составного реального опциона на российских данных

В данной части статьи проведена оценка составных реальных опционов, которыми обладала компания Открытое акционерное общество «Институт стволовых клеток человека» (ОАО «ИСКЧ») в 2009 г. Компания была создана в 2003 г. с целью реализации проектов в

области клеточных технологий. Компания вкладывает средства во множество инновационных проектов. ОАО «ИСКЧ» осуществляет многостадийные инвестиции в новые продукты. Многие из осуществляемых компанией проектов являются классическими примерами реальных опционов, в частности, научно-образовательная деятельность.

Для расчетов ценности реальных опционов были использованы данные, взятые из базы данных

www.spark.interfax.ru, а также из отчета об оценке компании (оценщик – Закрытое акционерное общество (ЗАО) «Алор-Инвест»). Волатильность была определена, исходя из средней волатильности акций для предприятий данной отрасли и финансового рычага для данного предприятия (таким образом, в качестве дисперсии доходности базового актива мы использовали волатильность стоимости фирмы).

Инвестиционная программа ОАО «ИСКЧ» приведена в табл. 5.

Таблица 5

**ИНВЕСТИЦИОННАЯ ПРОГРАММА ОАО «ИСКЧ»
НИКОР ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕПАРАТОВ**

Млн. руб.

Инвестиционные расходы	2010 г.	2011 г.
R&D инновационных препаратов	44,8	–
Расширение лаборатории, покупка оборудования	9,6	16

Оценка реального опциона для ОАО «ИСКЧ»

Нам известны размеры инвестиций в НИОКР трех инновационных препаратов, в строительство новой лаборатории для их производства, а также ожидаемые денежные потоки от их коммерциализации. Мы можем оценить данный инвестиционный проект как составной реальный опцион.

Проанализируем двухступенчатый опцион на разработку и коммерциализацию инновационных препаратов.

Первая стадия инвестирования – R&D инновационных препаратов + расходы на клинические испытания препаратов «Неоваскулген» (расходы – 10 млн. руб.) и «Фибробласт» (расходы – 15 млн. руб.).

Вторая стадия инвестирования – создание новой лаборатории + клинические испытания препарата «Криоцел» (расходы - 20 млн. руб.).

Приведенная стоимость денежных потоков – 758,12 млн. руб.

Длительность первого этапа инвестирования – 1 год.

Длительность второго этапа инвестирования – 1 год.

Срок исполнения опциона – 2 года.

Волатильность определяется, исходя из средней волатильности собственного капитала фирм из отрасли биотехнологий, скорректированной на финансовый рычаг.

Способ определения параметра волатильности для оценки составного реального опциона

В иллюстративном примере нам были даны исходные данные, и мы концентрировались на оценке реального опциона. На данном примере рассмотрена проблема определения исходных параметров для оценки опциона. Волатильность собственного капитала – это среднеквадратическое отклонение стоимости собственного капитала (рассчитанное за определенный период), выраженное в процентах от средней стоимости собственного капитала:

$$\sigma_E = \frac{\sqrt{D_E}}{E}$$

Волатильность стоимости фирмы – это среднеквадратическое отклонение стоимости фирмы (рассчитанное за определенный период), выраженное в процентах средней от стоимости фирмы:

$$\sigma_F = \frac{\sqrt{D_F}}{F}$$

Выразим волатильность стоимости фирмы через волатильность стоимости собственного капитала компании и долю собственных средств:

$$\sigma_F = \frac{\sqrt{D_E}}{F} \times \frac{E}{E + D} = \sigma_E \times \frac{E}{F} \times \frac{E}{D + E} = \sigma_E \times \left(\frac{E}{E + D} \right)^2$$

Выведенное отношение подтверждается на основе статистического анализа данных с сайта А. Дамодара-на.

Расчет ценности составного реального опциона

Стоимость опциона = 379,292 млн. руб. (опцион был оценен при помощи биномиальной модели).

Было доказано, что чувствительность ценности опциона по финансовому рычагу является высокой, так как финансовый рычаг влияет на параметр волатильности, а параметр волатильности – на ценность опциона. Это говорит о том, что полученная оценка справедлива только при условии постоянства финансового рычага. Непостоянство финансового рычага компании говорит о непостоянстве дисперсии, а это нарушает предпосылки, при соблюдении которых корректно использование биномиальной модели и формулы Блэка-Шоулза для оценки опциона.

Ввод неопределенности инвестиций в имитационную модель

В реальных инвестиционных проектах неопределенность присуща также и показателю инвестиций. Подобную неопределенность можно ввести в имитационную модель несколькими способами:

- инвестиции являются случайной величиной (например, нормально распределенной случайной величиной);
- инвестиции включают как постоянную, так и случайную компоненту.

Мы предположим, что инвестиции будут включать как запланированную, так и случайную составляющую. В данном случае мы будем оценивать двухстадийный проект с учетом неопределенности инвестиций. Модель можно расширить и для случая *n* – стадийного проекта.

Траектория движения цены базового актива задана аналогично прошлому случаю. При этом инвестиции имеют следующее распределение:

$$I_1 = \bar{I}_1 + N(0; \sigma)$$

$$I_2 = \bar{I}_2 + N(0; \sigma)$$

Таким образом, в момент *T*₁ инвестиционное решение принимается, исходя из следующего неравенства:

$$V(T_1) > I(T_1)$$

В этот момент инвестор может наблюдать, какое значение приняли величины V и I .

В момент T_2 инвестиционное решение принимается, исходя из следующего неравенства:

$$((E(V(T_1) | V(T_2)) - E(I_1)) \times \exp((T_1 - T_2) \times (-r)) > I_2$$

В данный момент инвестор может наблюдать значение $V(T_2)$ и I_2 . Инвестор рассчитывает условное математическое ожидание $V(T_1)$, исходя из наблюдаемого значения $V(T_2)$. Разность ожидаемых значений $V(T_1)$ и I_1 приводится к периоду T_2 и сравнивается с величиной I_2 . Если разница превышает I_2 , то реальный опцион исполняется – этап проекта осуществляется.

В нулевой момент ценность проекта рассчитывается следующим образом:

$$\max((E(V(T_1)) - E(I_1)); 0) \times \exp(-rT_1) - E(I_2) \times \exp(-rT_2)$$

Если данная сумма превышает инвестиции нулевого периода (в терминологии опционов «цену покупки опциона»), то проект стоит осуществлять.

В таком случае, ценность проекта принимает значение 24 006. Мы видим, что учет неопределенности инвестиций понижает ценность проекта.

При этом, согласно проведенному анализу чувствительности, при росте волатильности ценность проекта может как снижаться, так и расти. Это объясняется тем, что за счет роста волатильности растет как степень неопределенности денежных потоков (что приводит к росту ценности проекта), так и степень неопределенности сумм инвестиций (что снижает ценность проекта).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод оценки составных реальных опционов позволяют учесть гибкость при оценке многостадийных инвестиционных проектов.

Оценка многостадийных инвестиционных проектов как составных опционов позволяет учесть возможность изменения решений, возникающую на нескольких стадиях инвестиционного проекта. Одним из ярких примеров многостадийного инвестиционного проекта, обладающего гибкостью, является проект инвестиций в фармацевтический патент.

Наиболее удобной моделью при оценке многостадийных составных реальных опционов является биномиальная модель. Метод Монте-Карло является более трудоемким, но более гибким и позволяет учесть ненормальность распределения денежных потоков. Наиболее сильное влияние на ценность проекта оказывает дисперсия доходности денежных потоков.

При оценке многостадийных инвестиционных проектов как составных реальных опционов внутренние оценщики имеют преимущество перед внешними оценщиками, так как внутренняя информация позволяет более точно определить параметры, необходимые для оценки реального опциона.

Схема финансирования проекта влияет на ценность реального опциона. Оценка многостадийных инвестиций как реальных опционов является неточной в том случае, когда мы не можем корректно учесть изменчивость финансового рычага.

Литература

1. Бриггем Ю. Финансовый менеджмент [Текст] / Ю. Бриггем, Л. Галенски. – СПб. : Экономическая школа, 1999.
2. Дамодаран А. Инвестиционная оценка. Инструменты и техника оценки любых активов [Текст] / А. Дамодаран ; пер. с англ. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2004.
3. Попова А.А. Оценка стоимости стандартных опционов с помощью метода Монте-Карло [Текст] / А.А. Попова ; Национальный техн. ун-т Украины «Киевский политехн. ин-т». 2010.
4. Уотшем Т.Д. Количественные методы в финансах [Текст] / Т.Д. Уотшем, К. Паррамоу ; пер. с англ. М.Р. Ефимовой. – М. : Финансы, Юнити, 1999.
5. Copeland T., Antikarov V. Real options. A practitioner's guide. THOMSON TEXERE, 2003.
6. Koller T., Coedhart M., Wessels D. Valuation: measuring and managing The value of companies. MCKINSEY&COMPANY", 2010.
7. Young-Chan Lee, Seung-Seok Lee. The evaluation of RFID investment using fuzzy real option. 2011.
8. Sereno L. Real options and economic valuation of patents department of management / University of Bologna. 2009.
9. Sereno L. Real option valuation of pharmaceutical patents: a case study / Department of economics, University of Pisa. 2003.

Ключевые слова

Реальные опционы; составные опционы; инвестиционные проекты; имитационное моделирование.

Петренива Екатерина Андреевна

РЕЦЕНЗИЯ

В настоящее время актуальной является оценка проектов, характеризующихся высокой степенью неопределенности. Часто проекты, характеризующиеся неопределенностью, также подразумевают инвестиционную гибкость – возможность корректировки инвестиционного решения. Гибкость, как правило, оценивается при помощи метода анализа реальных опционов и метода анализа деревьев решений. Многостадийные проекты могут включать не один источник гибкости, и в подобных случаях их можно оценивать по аналогии с составными опционами.

В статье Е.А. Петренивой предложен способ оценки многостадийных инвестиционных проектов как составных реальных опционов. Рассмотрены различные способы оценки составных опционов и проведено их сравнение. Применение метода продемонстрировано на проекте инвестиций в фармацевтический патент. Также была проведена оценка российского проекта как двухстадийного составного реального опциона.

К недостаткам работы можно отнести недостаточное подробное рассмотрение экономического смысла моделей оценки составных опционов, а также недостаточное объяснение результатов анализа чувствительности.

Несмотря на отмеченные шероховатости, статья представляет интерес и может быть рекомендована к публикации.

Грачева М.В., д.э.н, профессор, зав. кафедрой «Математические методы анализа экономики» Экономического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.