

УДК 336.581

П. А. Д р о г о в о з

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РЕАЛЬНЫХ ОПЦИОНОВ

Исследованы проблемы оценки эффективности инновационных проектов в сфере разработки высокотехнологичной продукции. Систематизированы характеристики неопределенности, необратимости и гибкости процесса инвестиций в инновационные технологии. На основе теории реальных опционов разработаны экономико-математические модели для оценки вариантов разработки технологии и ее приобретения на рынке.

Высокая неопределенность и риски осуществления инвестиций в разработку и внедрение новых технологий обусловили необходимость создания новых, адаптивных методов управления инновационной деятельностью, обеспечивающих принятие решений о расширении, приостановке или возобновлении инновационного проекта в зависимости от ситуации.

В современной литературе [1–4] для решения этих задач получили развитие методы оценки реальных опционов. Современный подход к оценке инвестиций на основе реальных опционов является не только динамично развивающейся областью для научных исследований, но и “образом мышления”, позволяющим руководству предприятия анализировать и оценивать инвестиционные возможности в условиях неопределенности. Такой подход позволит учесть три основные особенности принятия решений в процессе управления инвестициями в новые технологии: необратимость, неопределенность, гибкость.

Необратимость означает невозможность возврата всех средств, вложенных в проект, в случае его неудачи. Большинство инновационных проектов характеризуются необратимостью. Например, вложения в разработку новой технологии окупятся только в том случае, если она, во-первых, будет успешно завершена и, во-вторых, будет внедрена в продукцию, которая обеспечит предприятию денежный поток, покрывающий инвестиции в разработку.

Неопределенность является одним из базовых понятий теории ценообразования опционов и означает, что инвестор не может абсолютно точно определить развитие проекта в будущем. Неопределенность всегда имеет положительную и отрицательную сторону, т.е., например, будущий денежный поток проекта может оказаться больше или меньше прогнозируемой суммы. Рациональное поведение руководителя предприятия заключается в том, что его позиция не является пассивной и он имеет возможность изменять инвестиционные решения в зависимости от рыночной ситуации (стремясь при этом к повышению стоимости бизнеса), чтобы воспользоваться преимуществами благоприятной экономической ситуации и избежать убытков в неблагоприятной ситуации.

В теории опционов различают два вида неопределенности, которые оказывают противоположные воздействия на условие оптимальности принятия инвестиционного решения, — экономическая и техническая неопределенность.

Экономическая неопределенность связана корреляционными зависимостями с состоянием экономики или отрасли. Этот вид неопределенности является экзогенным (внешним) по отношению к процессу принятия решений. Например, цены на сырье, материалы и другие ресурсы не изменятся в зависимости от того, примет ли предприятие решение об инвестициях или нет. Как правило, экономическая неопределенность побуждает руководство предприятия отложить осуществление капиталовложений до наступления более благоприятных условий. Таким образом, может оказаться целесообразной отсрочка исполнения проекта, имеющего даже положительную чистую приведенную стоимость (*NPV* — net present value), так как с течением времени его стоимость может увеличиться. Следовательно, экономическая неопределенность побуждает инвестора отложить исполнение проекта.

Техническая неопределенность не связана с состоянием экономики или отрасли. Этот вид неопределенности — эндогенный (внутренний) по отношению к процессу принятия решений. В этом случае отсрочка исполнения проекта не снижает неопределенности. Наоборот, она может быть снижена только посредством осуществления проекта. Этот вид неопределенности характерен для инвестиций в научные исследования или разработку принципиально новых технологий. Поэтапное осуществление таких проектов позволяет получать дополнительную информацию на каждом этапе и таким образом снижать неопределенность конечного результата. Такая дополнительная информация, получаемая в процессе реализации проекта, обладает определенной стоимостью, которая не учитывается в традиционном *NPV*-анализе. В случае наличия технической неопределенности может оказаться экономически целесообразным осуществление инвестиций в проект с отрицательной *NPV*. Следовательно, техническая неопределенность побуждает начинать инвестиции как можно скорее.

Гибкость принятия управленческих решений означает, что руководство предприятия имеет возможность осуществить расширение, приостановку и возобновление инновационного проекта. Такая возможность увеличивает рыночную оценку стоимости инновационного проекта и, соответственно, всего предприятия в целом. Чем больше у руководства возможностей для изменения процесса осуществления инновационного проекта, тем больший вклад дает этот проект в формирование прогнозной рыночной стоимости предприятия.

Учет перечисленных выше особенностей при управлении портфелем инновационных проектов представляется возможным на основе теории реальных опционов и использования стохастической финансовой математики. Рассмотрим основные термины и математические модели этой научной области.

Опцион на покупку, или опцион “колл” (*call option*) дает “право, но не обязательство, на покупку актива по предварительно установленной цене до наступления или на момент наступления определенной даты”. Опцион на продажу, или опцион “пут” (*put option*) дает “право, но не обязательство на продажу актива по предварительно установленной цене до наступления или на момент наступления определенной даты” [5].

В соответствии с этими определениями опцион имеет фиксированный максимальный срок действия (*time to maturity, time to expiration*), а опционное обязательство исполняется согласно фиксированной цене исполнения (*exercise price, strike price*). Различают европейские опционы (*European option*) и американские опционы (*American option*). По американскому опциону покупка или продажа актива могут быть осуществлены в любой момент в течение срока действия, а по европейскому — только в момент окончания срока действия опциона.

Так как за право владения опционом выплачивается опционная премия, актуально определение стоимости опциона на момент его покупки (*exercise time*). Никто не будет платить за опцион на покупку актива больше, чем разница между тем, что нужно заплатить для покупки актива на рынке, и тем, что нужно заплатить по опциону — ценой исполнения. Следовательно, верхний предел стоимости опциона на покупку — это цена самого актива минус цена исполнения. Соответственно, для опциона на продажу актива верхним пределом будет цена исполнения минус стои-

мость актива. Так как владелец опциона может отказаться от него без последующих обязательств, стоимость опциона не может быть отрицательной, т.е. нижний предел стоимости опционов обоих типов — нулевое значение.

Эти ограничивающие условия формально могут быть выражены следующим образом:

$$C = \max[0, A - X] \text{ для опциона на покупку;} \\ C = \max[0, X - A] \text{ для опциона на продажу.}$$

В современной финансовой теории для решения задач оценки опционов широкое распространение получило использование стохастических процессов.

К настоящему времени разработан ряд моделей ценообразования опционов, в финансовой практике наибольшее распространение получили модель Кокса–Рубинштейна [6] и модель Блэка–Шоулза [7].

Впервые значимость реальных опционов была отмечена в 1977 г. экономистом С. Майерсом: “часть стоимости фирмы представляет собой приведенную стоимость опционов на осуществление последующих инвестиций в возможных благоприятных условиях” [8]. Он также отметил, что для оценки стоимости реальных опционов можно использовать теорию ценообразования финансовых опционов. В настоящее время тип опционов, описанных С. Майерсом, называется опционом на расширение. Кроме опционов этого типа за рубежом были рассмотрены следующие [2, 8]:

- опционы на отсрочку решения об осуществлении капиталовложений до наступления оптимального момента времени;
- опционы на прекращение деятельности по ликвидационной стоимости проекта;
- опционы на расширение или свертывание производства в зависимости от спроса на продукцию;
- опционы на опционы (комплексные опционы для моделирования многофазных проектов).

В соответствии с теорией реальных опционов осуществление любого инновационного проекта представляется в виде определенной последовательности фаз и является комплексным опционом. Каждая фаза такого сложного проекта моделируется в виде простого опциона. Для описания подобного простого опциона вводится понятие базовой модели инновационного проекта.

Базовая модель инновационного проекта описывает осуществление капиталовложений в разработку технологии в период времени $[t_0, t_1]$ и последующее получение чистых операционных денежных притоков от ее эксплуатации в период $[t_1, T]$. Пусть D — ожидаемая сумма денежных средств, необходимых для завершения разработки при условии, что в каждый интервал времени осуществляются инвестиции в размере I . В связи с тем, что разработка сопряжена с неопределенностью, величина D носит стохастический характер, а момент времени завершения разработки заранее точно не известен.

Стохастический характер затрат на разработку D определяется возможностью возникновения в процессе разработки технических проблем, а также возможными изменениями стоимости работ, услуг и комплектующих (случайными изменениями экономического окружения).

Следует учитывать, что приток C также характеризуется неопределенностью вследствие отсутствия точной информации о будущем рыночном развитии технологии, и существует возможность выждать определенный период времени $[0, t_0]$ для того, чтобы получить дополнительную информацию и уменьшить эту неопределенность. С другой стороны, ожидание уменьшает период получения притока $[t_1, T]$. Кроме того, при принятии такого решения необходимо также учитывать снижение цены технологии с течением времени. Таким образом, моделируется проблема принятия решения о том, в какой момент времени начало реализации проекта наиболее выгодно.

В общем случае, принятие решения об осуществлении инвестиций в технологию принимается руководством на основании оценки двух основных параметров — капиталовложений в технологию и чистого денежного потока от проекта.

Стохастическое дифференциальное уравнение для процесса изменения чистого денежного потока проекта и цен на приобретение информационной технологии имеет вид

$$dC = \mu_{cash} C dt + \sigma_{cash} C \varepsilon \sqrt{dt}. \quad (1)$$

При анализе проекта разработки технологии затраты $D(t)$, необходимые для ее завершения, могут быть представлены следующим выражением [2]:

$$dD = I dt + \beta_{dev} \sqrt{ID} \varepsilon_1 \sqrt{dt} + \sigma_{dev} D \varepsilon_2 \sqrt{dt}, \quad (2)$$

где I — инвестиции; β_{dev} — техническая неопределенность; σ_{dev} — экономическая неопределенность.

В формуле (2) величины $\varepsilon_1 \sqrt{dt}$ и $\varepsilon_2 \sqrt{dt}$ являются инкрементами некоррелирующих процессов Винера.

Осуществление проекта связано с неопределенностью двух видов. Первый вид — техническая неопределенность — выражается слагаемым $\beta_{dev} \sqrt{ID} \varepsilon_1 \sqrt{dt}$ и отражает техническую сложность реализации проекта, т.е. вероятность того, что фактические затраты и сроки будут отличаться от запланированных вследствие возникновения непредвиденных технических трудностей. В общем случае, техническая неопределенность отражает недооценку или, наоборот, переоценку сложности проекта. Она не зависит от экономического окружения проекта и может быть разрешена только в процессе его реализации.

Второй вид неопределенности представляет собой неопределенность стоимости ресурсов, необходимых для реализации проекта, и выражается слагаемым $\sigma_{dev} D \varepsilon_2 \sqrt{dt}$. Эта неопределенность связана со случайными изменениями стоимости работ, услуг и материалов, т.е. ресурсов, являющихся внешними по отношению к проекту. Неопределенность стоимости ресурсов зависит только от экономического окружения проекта, она не может быть разрешена в процессе его осуществления и увеличивается при расширении горизонта планирования.

Чистая приведенная стоимость инновационного проекта рассчитывается посредством вычитания приведенных затрат $PV(D)$ из приведенных притоков $PV(C)$:

$$V = PV(C) - PV(D). \quad (3)$$

Приведенные притоки и затраты проекта рассчитываются посредством интегрирования выражений (1) и (2) и их дисконтирования к базисному моменту времени

$$PV(C) = E \left[\left(\int_{t_1}^T C(t) dt \right) e^{-r_f T} \right]; \quad PV(D) = E \left[\left(\int_{t_0}^{t_1} D(t) dt \right) e^{-r_f t_1} \right]. \quad (4)$$

где r_f — безрисковая норма дисконта.

Для расчета выражений (4) необходимо применять численные методы, так как они содержат стохастические переменные в пределах интегралов и не могут быть решены аналитически.

Полученные выражения (1)–(4) могут быть адаптированы для моделей разработки и приобретения технологии.

Модель разработки инновации описывает следующие основные элементы:

— процесс изменения затрат на разработку в период ожидания

$$dD = \mu_{dev} D dt + \sigma_{dev} D \varepsilon \sqrt{dt}; \quad (5)$$

— процесс изменения затрат на завершение разработки

$$dD = -I dt + \beta_{dev} \sqrt{ID} \varepsilon_1 \sqrt{dt}; \quad (6)$$

— процесс изменения денежного потока

$$dC = \mu_{cash}Cdt + \sigma_{cash}C\varepsilon\sqrt{dt}. \quad (7)$$

Модель приобретения инновации описывает следующие основные элементы:

— процесс изменения цены технологии в период ожидания

$$dP = \mu_{price}Pdt + \sigma_{price}P\varepsilon\sqrt{dt}; \quad (8)$$

— процесс изменения денежного потока

$$dC = \mu_{cash}Cdt + \sigma_{cash}C\varepsilon\sqrt{dt}. \quad (9)$$

Отсутствие аналитического решения для полученных математических выражений обосновывает необходимость применения численных методов. Для того чтобы применить методы имитационного моделирования, необходимо перейти от непрерывных моделей в выражениях (5)–(9) к их дискретным аналогам.

Метод реальных опционов является способом уточнения чистой приведенной стоимости высоко рискованных инновационных проектов. Он позволяет учесть возможность расширения, приостановки и возобновления инновационного проекта в зависимости от изменения ситуации.

Реальные опционы представляют собой опционы на стороне активов, их значение состоит в первую очередь в том, что они придают гибкость операциям предприятия. Предприятия, имеющие опцион на расширение, приостановку или возобновление инновационного проекта, обладают большей гибкостью, а следовательно, и большей стоимостью. Такую гибкость принятия управленческих решений можно рассматривать как одно из средств управления риском. В тех ситуациях, когда риски невозможно предвидеть, наиболее эффективным решением является формирование структуры, способной приспосабливаться к меняющимся условиям благодаря большому запасу гибкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л и м и т о в с к и й М. А. Инвестиционные проекты и реальные опционы на развивающихся рынках: Учеб.-практич. пособие. – М.: Дело, 2004. – 528 с.
2. D i x i t A. K., P i n d y c k R. S. Investment under uncertainty. – Princeton (New Jersey): University Press, 1994. – 230 p.
3. M c G r a t h R. G. A real options logic for initiating technology positioning investments // Academy of Management Review. – 1997. – Vol. 22, -No 4. – P. 974–996.
4. S c h w a r t z E. S. Patents and R&D as real options // NBER Working paper. – 2003. – No 10114. – 50 p.
5. Ш а р п У., А л е к с а н д е р Г., Б е й л и Д ж. Инвестиции / Пер. с англ. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 1028 с.
6. C o x J. C., R o s s S. A. a n d R u b i n s t e i n M. Option pricing: a simplified approach // Journal of Financial Economics. – 1979. – No 7(229). – P. 63.
7. B l a c k F. a n d S c h o l e s M. J. The pricing of options and corporate liabilities // Journal of Political Economy. – 1973. – No 81(637). – P. 59.
8. M y e r s S t. Determinants of corporate borrowing // Journal of Financial Economics. – 1997. – No 5. – P. 147–175.

Статья поступила в редакцию 22.06.2007