

Оценка перспективности инновационного проекта с использованием реального пут-опциона

Assessing the prospects of an innovative project using a real put option

doi 10.26310/2071-3010.2020.254.12.013



С. Н. Яшин,
Д. э. н., профессор,
зав. кафедрой
jashinsn@yandex.ru

S. N. Yashin,
doctor of economics, professor,
head of department



Е. В. Кошелев,
к. э. н., доцент
ekoshelev@yandex.ru

E. V. Koshelev,
PhD in economics, associate
professor

**Кафедра менеджмента и государственного управления,
Институт экономики и предпринимательства,
Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского**

Department of management and public administration, Institute of economics and entrepreneurship, Lobachevsky university

Ограничивать анализ инновационных проектов только общеизвестными экономическими и техническими критериями оценки нецелесообразно, так как необходим учет возможного риска отказа от реализации проекта в будущем. В таких ситуациях необходимо учитывать возможности досрочного выхода из соответствующего проекта с минимальными потерями в виде ликвидационной стоимости в рыночной оценке. Учет данного фактора добавляет управленческой гибкости запланированному проекту, которую тоже необходимо оценить в деньгах. Причем, данная гибкость увеличивает современную стоимость анализируемых проектов. Таким образом, приходим к необходимости оценки стоимостей реальных пут-опционов по каждому инновационному проекту. Тогда окончательный выбор проектов будет более обоснованным, т. е. будет учитывать использование возможных будущих коммерческих и технических рисков в свою пользу.

Стоимость реального пут-опциона отражает перспективность инновационного проекта с учетом риска отказа от его реализации. Таким образом, добавляя обозначенный рискованный компонент к двумерному, т. е. в плоскости, принципу Парето, получаем трехмерный метод в пространстве, позволяющий более детально оценить эффективность инновационного проекта. Данный метод назван как метод ПЗИ (перспективность/затратность/инновационность), суть которого заключается в следующем. Сначала в горизонтальной плоскости сравниваются проекты по критериям инновационности и затратности, а после отбора набора проектов по принципу Парето оставшиеся проекты сравниваются с помощью критерия перспективности, т. е. стоимости реального пут-опциона.

Данный поэтапный метод ПЗИ имеет свои преимущества по сравнению с построением, например, обычной функции трех переменных. Во-первых, метод ПЗИ предполагает поэтапность анализа, где принцип Парето можно применять только при наличии необходимой информации о значениях обобщенных показателей для анализируемых проектов, а применение метода ПЗИ возможно лишь после построения подмножества эффективных проектов. Во-вторых, метод ПЗИ предполагает учет набора сценариев развития каждого проекта, а также принимает во внимание стоимость реального пут-опциона на отказ от проекта на каком-то этапе его реализации, а это возможно лишь после того, как заведомо неэффективные проекты исключены из анализа, что существенно экономит время и ресурсы экономических расчетов.

It is not feasible to limit the analysis of innovative projects to well-known economic and technical evaluation criteria, as it is necessary to take into account the possible risk of non-implementation of the project in the future. In such situations, it is necessary to take into account the possibility of early withdrawal from the relevant project with minimal losses in the form of liquidation value in the market valuation. Taking this factor into account adds managerial flexibility to the planned project, which also needs to be evaluated in money. Besides, this flexibility increases the modern cost of analyzed projects. Thus, we come to the need to assess the values of real put options for each innovative project. The final choice of projects would then be more reasonable, i. e. taking into account the use of possible future commercial and technical risks in its favour.

The cost of a real put option reflects the prospects of an innovative project taking into account the risk of non-implementation. Thus, by adding a designated risk component to the two-dimensional, that is, in the plane, Pareto principle, we obtain a three-dimensional method in space that allows us to assess in more detail the effectiveness of an innovative project. This method is referred to as the PPI (Perspective/Cost/Innovation) method, the essence of which is as follows. First, projects are compared in the horizontal plane according to the criteria of innovation and cost, and after selecting a set of projects on the Pareto principle, the remaining projects are compared using the criterion of perspective, that is, the cost of the real put option.

This step-by-step PPI method has its advantages over building, for example, a conventional function of three variables. First, the PPI method involves a step-by-step analysis, where the Pareto principle can only be applied if the necessary information is available on the values of the generalized indicators for the projects analysed, and the application of the PPI method is possible only after a subset of effective projects has been built. Second, the PPI method involves taking into account a set of scenarios for the development of each project, and also takes into account the cost of a real put option to abandon the project at some stage of its implementation, this is possible only after knowingly inefficient projects are excluded from the analysis, which significantly saves time and resources of economic calculations.

Ключевые слова: перспективность инновационного проекта, метод PERT, реальный пут-опцион.

Keywords: prospects of innovation project, PERT method, real put option.

Введение

Ограничивать анализ инновационных проектов только общеизвестными экономическими и техническими критериями оценки нецелесообразно, так как необходим учет возможного риска проекта. Для этого можно использовать реальный пут-опцион на отказ от реализации проекта в будущем [13-15]. Здесь под моментом отказа от проекта имеется в виду любой момент времени срока реализации проекта, кроме последнего года.

Когда речь идет о добровольных причинах прекращения проекта, мы имеем дело с ситуацией исполнения реального опциона на отказ от проекта [2, 7, 9].

Мотивами отказа от проекта являются выявившаяся в процессе осуществления проектов несостоятельность, техническая неосуществимость в том виде, в котором это ожидалось, а также развитие событий по пессимистическому сценарию в отношении доходов и расходов проектов [8, 10, 11]. Возможность отказа от проекта на определенном этапе его осуществления называется реальным пут-опционом.

Так, в области промышленной безопасности некоторые технические характеристики, например, в отношении погрешности измерений могут повлечь за собой в будущем изменение числа измерений, которые будут проводиться с помощью соответствующих систем измерения [16]. Также может измениться в будущем спрос на измерения параметров, влияющих на безопасность работы персонала фирм. Кроме того, изменение внешней экономической ситуации, возникшей, к примеру, по причине нового экономического кризиса также может повлечь за собой изменение денежных потоков запланированных проектов.

В таких ситуациях необходимо учитывать возможности досрочного выхода из соответствующего проекта с минимальными потерями в виде ликвидационной стоимости в рыночной оценке. Учет данного фактора добавляет управленческой гибкости запланированному проекту, которую тоже необходимо оценить в деньгах. Причем, данная гибкость увеличивает современную стоимость анализируемых проектов. Таким образом, мы приходим к необходимости оценки стоимостей

реальных пут-опционов по каждому инновационному проекту. Тогда окончательный выбор проекта будет более обоснованным, т. е. будет учитывать использование возможных будущих коммерческих и технических рисков в свою пользу.

1. Основные положения метода оценки перспективности инновационного проекта с использованием реального пут-опциона

Стоимость реального пут-опциона (P) отражает перспективность инновационного проекта с учетом риска отказа от его реализации. Таким образом, добавляя обозначенный рискованный компонент к двумерному, т. е. в плоскости, принципу Парето, получаем трехмерный метод в пространстве, позволяющий более детально оценить эффективность инновационного проекта. Назовем данный метод как метод ПЗИ (перспективность/затратность/инновационность). Его основная идея отражена на рис. 1. То есть сначала в горизонтальной плоскости сравниваются проекты по критериям инновационности (Q_i) и затратности ($C_{отн. i}$), а после отбора набора проектов по принципу Парето оставшиеся проекты сравниваются с помощью критерия перспективности, т. е. стоимости реального пут-опциона (P) [16].

На рис. 1, представляющем собой теоретическую модель, наиболее перспективные проекты представ-

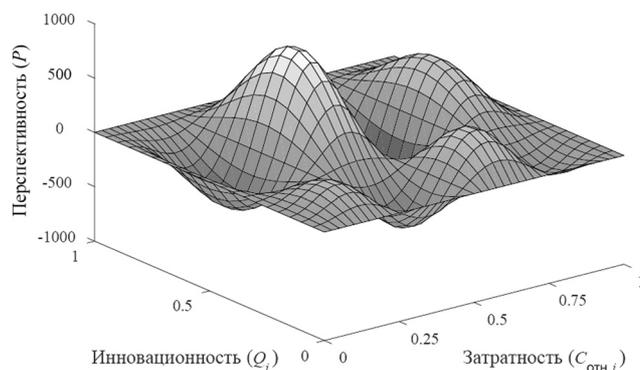


Рис. 1. Трехмерное представление метода ПЗИ оценки проектов

лены наибольшими значениями P в соответствующих вершинах трехмерного графика.

Выражение для стоимости реального пут-опциона каждого проекта, используя модель [5], можно записать как

$$P = \sum_{t=1}^{n-1} L_t p \left(\frac{1-p}{1+r_f} \right)^t, \quad (1)$$

где L_t — ликвидационная стоимость проекта в году t (руб.); p — среднегодовая вероятность отказа от реализации проекта; r_f — безрисковая ставка с поправкой на страновой риск России (%); n — срок проекта (лет).

Примем предположение, что вероятность отказа от проекта равна вероятности того, что доходность проекта окажется меньше барьерного минимального уровня доходности, например, нуля или безрисковой ставки r_f . Это предположение основано на том, что бессмысленно вкладывать деньги в рискованный проект, если безрисковое вложение дает инвестору столько же дохода или больше. И поэтому если вероятность того, что доходность проекта в среднегодовом измерении окажется меньше r_f , равна p , то и вероятность отказа от такого инвестиционного решения может быть условно принята равной p . То есть с такой вероятностью инвестор в будущем откажется от дальнейшей реализации проекта, попав в пессимистичный сценарий, и выйдет из него, имея текущую ликвидационную стоимость проекта.

Чтобы найти вероятность подобного оборота событий, рассчитывается NPV проекта, используя пессимистичный, оптимистичный и наиболее вероятный варианты развития событий. В качестве ставки дисконта используется барьерная доходность r_f . Найдя ожидаемое значение и среднее квадратическое отклонение NPV, строится кривая нормального распределения вероятностей, а затем, пользуясь данным законом распределения, находится вероятность того, что NPV будет меньше заданного значения. Это и будет искомая вероятность.

Оценку среднегодовой вероятности p отказа от проекта можно провести, используя метод приближенных статистических оценок PERT [2], суть которого в данном случае заключается в следующем. Ожидаемое

значение NPV, его среднее квадратическое отклонение и нормализованное значение NPV находятся как

$$E [NPV] =$$

$$= (E [NPV_{\min}] + 4E [NPV_p] + E [NPV_{\max}]) / 6, \quad (2)$$

$$\delta [NPV] = (E [NPV_{\max}] - E [NPV_{\min}]) / 6, \quad (3)$$

$$d [NPV] = (NPV_{\min} - E [NPV]) / \sigma [NPV]. \quad (4)$$

Тогда вероятность отказа от проекта можно найти по таблице площади под кривой нормального распределения как $N(d)$ [2].

Данный поэтапный метод ПЗИ имеет свои преимущества по сравнению с построением, например, обычной функции трех переменных. Во-первых, метод ПЗИ предполагает поэтапность анализа, где принцип Парето можно применять только при наличии необходимой информации о значениях обобщенных показателей Q_i [16] по экономическим, техническим и другим критериям для анализируемых проектов, а применение метода ПЗИ возможно лишь после построения подмножества эффективных проектов. Во-вторых, метод ПЗИ предполагает учет набора сценариев развития каждого проекта, а также принимает во внимание стоимость реального пут-опциона на отказ от проекта на каком-то этапе его реализации, а это возможно лишь после того, как заведомо неэффективные проекты исключены из анализа, что существенно экономит время и ресурсы экономических расчетов.

2. Эмпирические результаты

2.1. Подготовка статистической информации

Центр охраны труда «Биота» (г. Нижний Новгород) представлен на рынке услуг по охране труда с 1997 г. Это группа компаний, имеющих общий менеджмент и единую политику. Центр участвует в реализации государственной политики, осуществляет помощь предприятиям в исполнении законодательных требований

Таблица 1

Характеристики СИ, измеряющих неионизирующее излучение

Наименование СИ	Метрологические характеристики СИ	Стоимость	Стоимость поверки	Стоимость измерения
1. Циклон-05	Измерения напряженности электрического поля в диапазонах 5 Гц-2 кГц и 2 кГц-400 кГц; измерения напряженности магнитного поля в диапазонах 5 Гц-2 кГц и 2 кГц-400 кГц	90801	28500	400
2. Циклон-05М	Измерение напряженности переменного электрического поля в диапазоне частот 5-2000 Гц; измерение напряженности переменного магнитного поля в диапазоне частот 2-400 кГц; измерение электростатического потенциала поверхности экрана монитора	141010	43200	400
3. ВЕ-метр АТ-004 и 50 Гц	Напряженности электромагнитного поля в диапазоне 5 Гц-2 кГц; напряженности электромагнитного поля в диапазоне 2 кГц-400 кГц; напряженности электромагнитного поля в диапазоне 45 Гц-55 Гц до 50 кВ/м; напряженности электромагнитного поля в диапазоне 5 Гц-2 кГц с режекцией полосы частот 45 Гц до 55 Гц	149000	18600	400
4. ПЗ-80 Комплект 1	Измерения промышленных электрических и магнитных полей (50 Гц и ее гармоник, полей ПЭВМ, полей в диапазоне 10-30 кГц)	145600	20800	400
5. ПЗ-70/1 Базовый вариант 2	Измерение электрических и магнитных полей на рабочих местах с ПЭВМ; измерение электростатических полей на рабочих местах с ПЭВМ	201426	28500	400

в области охраны труда. Политика компании – постоянное повышение качества предоставляемых услуг в области охраны труда на основе четкого определения и полного удовлетворения потребностей клиента, обеспечение оптимального совпадения интересов сторон.

Имеется информация о системах измерений (СИ), измеряющих неионизирующее излучение, одну из которых собирается приобрести лаборатория ООО «Биота» для проведения замеров неионизирующего излучения сотрудниками лаборатории (табл. 1) [16].

Средние сроки службы СИ: 1: $n=5$ лет; 2: $n=6$ лет; 3: $n=5$ лет; 4: $n=6$ лет; 5: $n=6$ лет.

Необходимая регулярность поверки приборов: 1: раз в год; 2: раз в 2 года; 3: раз в 2 года; 4: раз в год; 5: раз в 2 года.

Дальнейшие расчеты будут проводиться в долларах по причине наличия необходимой адекватной информации об отрасли «Машиностроение» только в долларах [2]. В первом полугодии 2018 г. средняя цена 1 долл. составляла 62,5 руб. Тогда, поделив необходимые данные из табл. 1 на 62,5 руб., получаем информацию о приборах в табл. 2. При этом учитывается тот факт, что в 2017 г. подобными СИ ООО «Биота» проводила измерения неионизирующего излучения в различных организациях 734 раза. Поэтому данные последней колонки табл. 1 о стоимости измерений умножаем на $734:5 \approx 147$ измерений для одной из пяти СИ. Каждую СИ считаем отдельным проектом.

Полученные денежные потоки разложим по годам для каждого проекта на рис. 2, где предполагается, что поверка проводится перед каждым началом измерений. Также доходы CIF_t и расходы COF_t отражаем в расчетах по годам отдельно, так как в этом случае получаются более адекватные значения индекса доходности (PI) и учетной доходности (ARR). В противном случае они получаются завышенными.

2.2. Определение экономических показателей оценки эффективности инновационных проектов

Как было представлено в работе [16], в число таких необходимых показателей входят чистый приведенный доход (NPV), внутренняя доходность (IRR), дисконтный срок окупаемости (DPBP), индекс доходности (PI) и учетная доходность (ARR) проекта. Для оценки первых четырех из них потребуется адекватная ставка дисконта, т. е. цена капитала проектов в процентах, которые начисляются в долларах.

Следуя рекомендациям М. А. Лимитовского, в качестве безрисковой доходности в долларах возьмем 4,21%, а в качестве рыночной премии за риск инвестирования в акции российских корпораций возьмем 13,35%. β – коэффициент для отрасли «Машиностроение» равен 0,83 [2].

При этом у ООО «Биота» нет долгосрочных долгов в валюте, поэтому вместо средневзвешенной цены капитала WACC можно взять цену собственного капитала фирмы k_s , чтобы использовать ее в качестве ставки дисконта для проектов. Согласно модели CAPM [6, 9, 12] она вычисляется как

$$k_s = k_{RF} + MRP \beta,$$

Таблица 2

Данные о денежных потоках для 5 СИ (долл.)

Проекты	Стоимость	Поверка	Измерения
1	-1452,816	-456	940,8
2	-2256,16	-691,2	940,8
3	-2384	-297,6	940,8
4	-2329,6	-332,8	940,8
5	-3222,816	-456	940,8

где k_{RF} – безрисковая ставка процента (%); MRP – рыночная премия за риск (%); β – коэффициент, отражающий риск доходности данной фирмы относительно средней доходности на рынке.

Тогда для ООО «Биота» стоимость собственного капитала составит

$$k_s = 4,21\% + 13,35\% \cdot 0,83 = 15,29\%.$$

Пользуясь ей и данными о денежных потоках на рис. 2, можно рассчитать необходимые экономические показатели для всех 5 проектов. Формулы для расчета показателей представлены в работе [16].

Рассчитаем NPV проектов, учитывая, что доходы и некоторые расходы представляют из себя аннуитеты постнумерандо [4], для которых дисконтные множители вычисляются как

$$a_{n,k} = (1 - (1+k)^{-n})/k,$$

где n – срок проекта (лет); k – процентная ставка за год (%).

$$\begin{aligned} NPV^{(1)} &= -1908,816 - 456 ((1 - 1,1529^{-5})/0,1529) + \\ &+ 940,8 + 940,8 ((1 - 1,1529^{-5})/0,1529) = \\ &= -3426,962 + 4072,974 = 646,012 \text{ (долл.)}, \end{aligned}$$

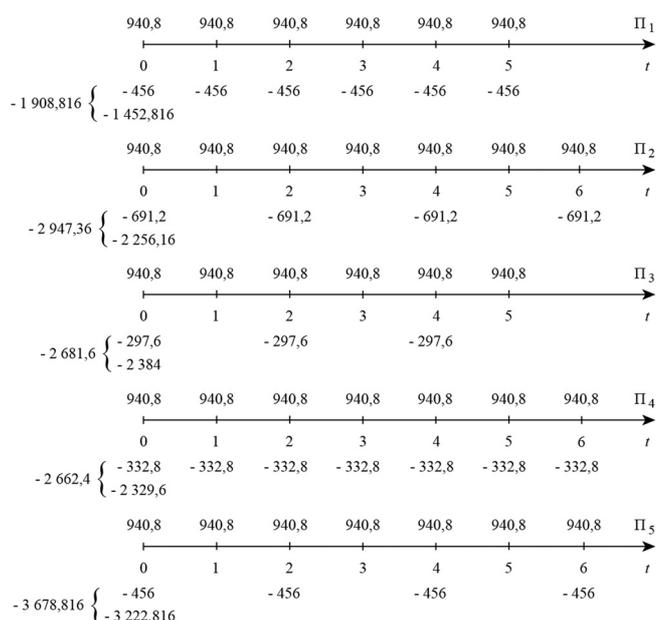


Рис. 2. Денежные потоки 5 проектов (долл.)

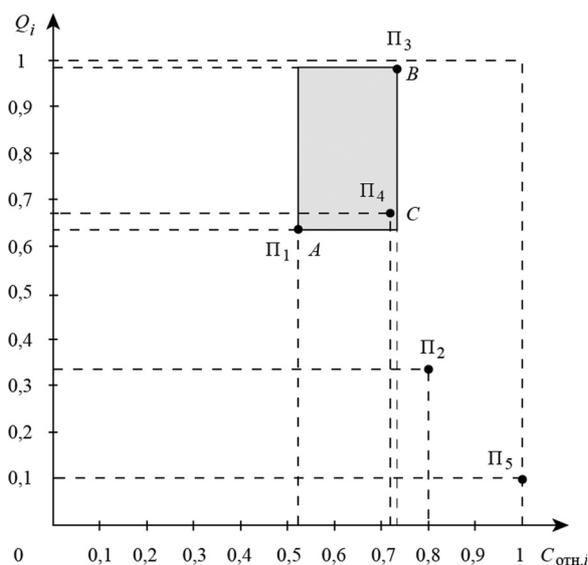


Рис. 3. График определения подмножеств эффективных и неэффективных проектов

$$\begin{aligned}
 NPV^{(2)} &= -2947,36 - (691,2/1,1529^2) - (691,2/1,1529^4) - \\
 &- (691,2/1,1529^6) + 940,8 + 940,8 \cdot ((1 - 1,1529^{-6})/0,1529) = \\
 &= -4152,958 + 4473,608 = 320,65 \text{ (долл.)}, \\
 NPV^{(3)} &= -2681,6 - (297,6/1,1529^2) - (297,6/1,1529^4) + \\
 &+ 940,8 + 940,8 \cdot ((1 - 1,1529^{-5})/0,1529) = \\
 &= -3073,946 + 4072,974 = 999,028 \text{ (долл.)}, \\
 NPV^{(4)} &= -2662,4 - 332,8 \cdot ((1 - 1,1529^{-6})/0,1529) + \\
 &+ 940,8 + 940,8 \cdot ((1 - 1,1529^{-6})/0,1529) = \\
 &= -3912,101 + 4473,608 = 561,507 \text{ (долл.)}, \\
 NPV^{(5)} &= -3678,816 - (456/1,1529^2) - (456/1,1529^4) - \\
 &- (456/1,1529^6) + 940,8 + 940,8 \cdot ((1 - 1,1529^{-6})/0,1529) = \\
 &= -4474,176 + 4473,608 = -0,568 \text{ (долл.)}.
 \end{aligned}$$

По показателю NPV проекты можно проранжировать в порядке

$$3 > 1 > 4 > 2 > 5.$$

То есть наибольшее значение NPV у проекта 3, поэтому по данному показателю он наиболее привлекателен. Чуть меньше NPV проекта 1, поэтому он более привлекателен из остальных проектов и т. д.

2.3. Применение принципа Парето

Для формирования группы эффективных инновационных проектов используем метод, представленный в работе [16], а именно, определяется подмножество эффективных и подмножество неэффективных инно-

вационных проектов графическим способом на основании принципа Парето. Здесь используются значение обобщенного показателя Q_i и относительная величина исходных затрат, связанных с реализацией проекта $C_{отн.i} = C_i / C_{max}$, где C_i — величина исходных затрат по i -му проекту, (долл.); C_{max} — максимальная величина исходных затрат среди сравниваемых проектов, (долл.).

Тогда рассчитаем $C_{отн.i}$ для каждого из 5 проектов:

$$C_{max} = C_5 = 3678,816;$$

$$C_{отн.1} = C_1 / C_{max} = 1908,816 / 3678,816 = 0,518867;$$

$$C_{отн.2} = C_2 / C_{max} = 2947,36 / 3678,816 = 0,801171;$$

$$C_{отн.3} = C_3 / C_{max} = 2681,6 / 3678,816 = 0,72893;$$

$$C_{отн.4} = C_4 / C_{max} = 2662,4 / 3678,816 = 0,723711;$$

$$C_{отн.5} = C_5 / C_{max} = 3678,816 / 3678,816 = 1.$$

Используя значения Q_i и $C_{отн.i}$ для каждого из 5 проектов, можно построить график определения подмножеств эффективных и неэффективных проектов (рис. 3).

Как видно из графика на рис. 3, самым привлекательным по показателю Q_i является проект 3, а по показателю $C_{отн.i}$ — проект 1. Они задают множество эффективных проектов, в которое попадают проекты 1, 3, 4. Поэтому дальше будем анализировать только их.

При этом данный результат совпадает с результатом, который был получен ранее на основе сводных показателей Q_i для 5 проектов. Там тоже наиболее привлекательными для инвестора получились проекты 3, 4 и 1.

Кроме того, рис. 3 иллюстрирует тот факт, что для инвестора примерно равнозначны более «инновационный» по показателю Q_i проект 3 и менее затратный по показателю $C_{отн.i}$ проект 1.

2.4. Применение метода ПЗИ

Представленное применение принципа Парето необходимо дополнить оценкой рисков инновационных проектов, которую можно провести, используя реальный пут-опцион на отказ от реализации проекта в будущем. Здесь под моментом отказа от проекта имеется в виду любой момент времени срока реализации проекта, кроме последнего года.

Оценку среднегодовой вероятности p отказа от проекта можно провести, используя метод PERT [2], т. е. по формулам (2)-(4). Для этого сначала необходимо сформировать денежные потоки проектов 1, 3, 4 для пессимистичного и оптимистичного сценариев.

Предполагается, что в пессимистичном сценарии изменение общего числа измерений за год снизится с 734 до 500, т. е. на 31,88%. Таким образом, предполагается, что в пессимистичном случае измерения будет проводить только ПАО «Сбербанк» в количестве 500.

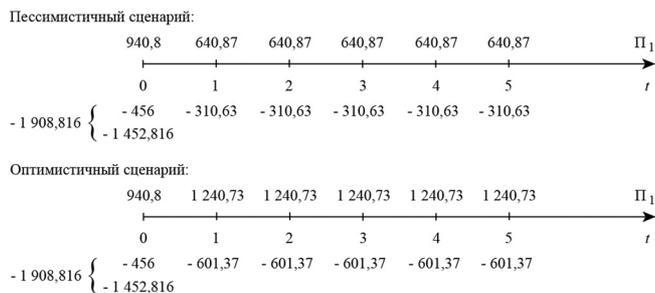


Рис. 4. Денежные потоки проекта 1 в пессимистичном и оптимистичном сценариях

Поскольку изначально мы полагали, что количество измерений одной из пяти СИ одинаково для всех СИ и составляет $734:5 \approx 147$ измерений, для каждой СИ годовое изменение числа измерений будет таким же, т. е. $-31,88\%$. В оптимистичном сценарии мы напротив предполагаем, что число измерений увеличится на $31,88\%$.

На рис. 4-6 показаны новые денежные потоки для проектов 1, 3, 4 в пессимистичном и оптимистичном сценариях.

Проект 1.

Для нахождения NPV в методе PERT в 3-х сценариях (пессимистичном, наиболее вероятном и оптимистичном), необходимо денежные потоки дисконтировать по безрисковой ставке с поправкой на страновой риск России, составляющей $10,8\%$ годовых [2]. Тогда

$$NPV_{\text{pes}} = -1908,816 - 310,63 \left(\frac{1 - 1,108^{-5}}{0,108} \right) + 940,8 + 640,87 \left(\frac{1 - 1,108^{-5}}{0,108} \right) = 258,683,$$

$$NPV_p = -1908,816 - 456 \left(\frac{1 - 1,108^{-5}}{0,108} \right) + 940,8 + 940,8 \left(\frac{1 - 1,108^{-5}}{0,108} \right) = 832,806,$$

$$NPV_{\text{opt}} = -1908,816 - 601,37 \left(\frac{1 - 1,108^{-5}}{0,108} \right) + 940,8 + 1240,73 \left(\frac{1 - 1,108^{-5}}{0,108} \right) = 1406,93.$$

По формулам (2)-(4) можем найти ожидаемое значение NPV, его среднеквадратическое отклонение и нормализованное значение, учитывая при этом, что NPV_{min} , ниже которого опускаться нельзя, равен значению NPV проекта 1, который мы рассчитывали в параграфе 3.2, т. е. 646,012 долл.

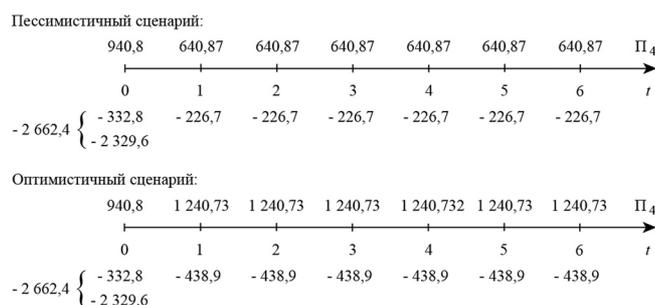


Рис. 6. Денежные потоки проекта 4 в пессимистичном и оптимистичном сценариях

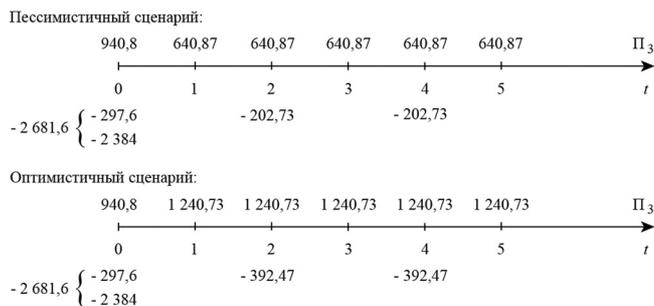


Рис. 5. Денежные потоки проекта 3 в пессимистичном и оптимистичном сценариях

$$E [NPV] = (258,683 + 4 \cdot 832,806 + 1406,93) / 6 = 832,806 \text{ (долл.)},$$

$$\delta [NPV] = (1406,93 - 258,683) / 6 = 191,375 \text{ (долл.)},$$

$$d = (642,012 - 832,806) / 191,375 = -0,98.$$

Вероятность отказа от проекта (p) можно найти по таблице площади под кривой нормального распределения как $N(d)$ [2]. Тогда

$$N(d) = 0,5 - 0,3365 = 0,1635 \Rightarrow p = 16,35\%.$$

Стоимость реального пут-опциона на отказ от проекта можно найти по формуле (1). При этом вероятность отказа от проекта равна вероятности того, что доходность проекта окажется меньше барьерного минимального уровня доходности. То есть с такой вероятностью инвестор (ООО «Биота») в будущем откажется от дальнейшей реализации проекта, попав в пессимистичный сценарий, и выйдет из него, имея текущую ликвидационную стоимость проекта.

Ликвидационные стоимости проектов 1, 3, 4 при реализации пессимистичного сценария можно получить из денежных потоков на рис. 4-6. Они представлены в табл. 3. Так, например, для проекта 3 в году 4 ликвидационная стоимость L_4 получена как $640,87 - 202,73 = 438,14$ (долл.), а в году 3 L_3 берется как 640,87 долл.

Для проекта 1

$$(1-p)/(1-r_f) = (1-0,1635)/(1-1,108) = 0,754964.$$

Тогда стоимость пут-опциона по формуле (1) равна

$$P = 330,24 \cdot 0,1635 \cdot 0,754964 + 330,24 \cdot 0,1635 \cdot 0,754964^2 +$$

Таблица 3
Ликвидационные стоимости проектов 1, 3, 4 (долл.)

Проект	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
1	330,24	330,24	330,24	330,24	—
3	640,87	438,14	640,87	438,14	—
4	414,17	414,17	414,17	414,17	414,17

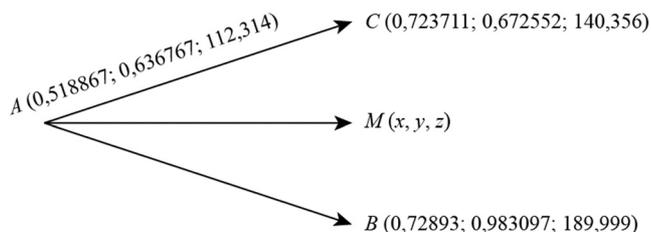


Рис. 7. Исходные данные для получения уравнения плоскости

$$+ 330,24 \cdot 0,1635 \cdot 0,754964^3 + 330,24 \cdot 0,1635 \cdot 0,754964^4 = 112,314 \text{ (долл.)}$$

Проект 3.

Найдем NPV в методе PERT в 3-х сценариях:

$$\begin{aligned} NPV_{pes} &= -2681,6 - (202,73)/(1,108^2) - (202,73)/(1,108^4) + \\ &+ 940,8 + 640,87 \cdot ((1 - 1,108^{-5})/0,108) = 340,108, \\ NPV_p &= -2681,6 - (297,6)/(1,108^2) - (297,6)/(1,108^4) + \\ &+ 940,8 + 940,8 \cdot ((1 - 1,108^{-5})/0,108) = 1313,995, \\ NPV_{opt} &= -2681,6 - (392,47)/(1,108^2) - (392,47)/(1,108^4) + \\ &+ 940,8 + 1240,73 \cdot ((1 - 1,108^{-5})/0,108) = 2287,882. \end{aligned}$$

По формулам (2)-(4) можем найти ожидаемое значение NPV, его среднее квадратическое отклонение и нормализованное значение, учитывая при этом, что NPV_{min} , ниже которого опускаться нельзя, равен значению NPV проекта 3, который мы рассчитывали в параграфе 2.2, т. е. 999,028 долл.

$$\begin{aligned} E[NPV] &= (340,108 + 4 \cdot 1313,995 + 2287,882)/6 = \\ &= 1313,995 \text{ (долл.)}, \end{aligned}$$

$$\delta[NPV] = (2287,882 - 340,108)/6 = 324,629 \text{ (долл.)},$$

$$d = (999,028 - 1313,995)/324,629 = -0,97.$$

Вероятность отказа от проекта (p) можно найти по таблице площади под кривой нормального распределения как $N(d)$ [2]. Тогда

$$N(d) = 0,5 - 0,334 = 0,166 \Rightarrow p = 16,6\%.$$

Для проекта 3

```
>> [X,Y]=meshgrid(0.518867:0.01:0.72893,0.636767:0.01:0.983097);
>> Z=109.288284*X+158.019755*Y-45.013858;
>> surf(X,Y,Z)
>> xlabel('\itC_{отн.\iti}')
>> ylabel('\itQ_{\iti}')
>> zlabel('Put option (\itP)')
>> title('\itP^{(1)} = 112.314 USD; \itP^{(3)} = 189.999 USD; \itP^{(4)} = 140.356 USD')
```

Рис. 8. Текст программы в пакете Matlab для построения плоскости стоимости реальных пут-опционов

$$(1-p)/(1-r_f) = (1-0,166)/(1-1,108) = 0,752708.$$

Тогда стоимость пут-опциона по формуле (1) равна

$$\begin{aligned} P &= 640,87 \cdot 0,166 \cdot 0,752708 + \\ &+ 438,14 \cdot 0,166 \cdot 0,752708^2 + \\ &+ 640,87 \cdot 0,166 \cdot 0,752708^3 + \\ &+ 438,14 \cdot 0,166 \cdot 0,752708^4 = 189,999 \text{ (долл.)}. \end{aligned}$$

Проект 4.

Найдем NPV в методе PERT в 3-х сценариях:

$$\begin{aligned} NPV_{pes} &= -2662,4 - 226,7 \cdot ((1 - 1,108^{-6})/1,108) + \\ &+ 940,8 + 640,87 \cdot ((1 - 1,108^{-6})/0,108) = 40,703, \\ NPV_p &= -2662,4 - 332,8 \cdot ((1 - 1,108^{-6})/1,108) + \\ &+ 940,8 + 940,8 \cdot ((1 - 1,108^{-6})/0,108) = 1690,206, \\ NPV_{opt} &= -2662,4 - 438,9 \cdot ((1 - 1,108^{-6})/1,108) + \\ &+ 940,8 + 1240,73 \cdot ((1 - 1,108^{-6})/0,108) = 1690,206. \end{aligned}$$

По формулам (2)-(4) можем найти ожидаемое значение NPV, его среднее квадратическое отклонение и нормализованное значение, учитывая при этом, что NPV_{min} , ниже которого опускаться нельзя, равен значению NPV проекта 4, который мы рассчитывали в параграфе 2.2, т. е. 561,507 долл.

$$\begin{aligned} E[NPV] &= (40,703 + 4 \cdot 865,455 + 1690,206)/6 = \\ &= 865,455 \text{ (долл.)}, \end{aligned}$$

$$\delta[NPV] = (1690,206 - 40,307)/6 = 274,917 \text{ (долл.)},$$

$$d = (561,507 - 865,455)/274,917 = -1,11.$$

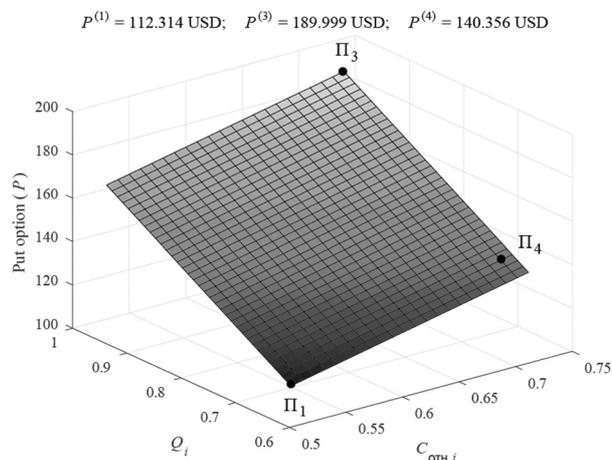


Рис. 9. Трехмерное представление метода ПЗИ оценки проектов

Вероятность отказа от проекта (p) можно найти по таблице площади под кривой нормального распределения как $N(d)$ [2]. Тогда

$$N(d) = 0,5 - 0,3665 = 0,1335 \Rightarrow p = 13,35\%.$$

Для проекта 4

$$(1-p)/(1-r_p) = (1-0,1335)/(1-1,108) = 0,78204.$$

Тогда стоимость пут-опциона по формуле (1) равна

$$P = 414,17 \cdot 0,1335 \cdot 0,78204 + 414,17 \cdot 0,1335 \cdot 0,78204^2 + \\ + 414,17 \cdot 0,1335 \cdot 0,78204^3 + \\ + 414,17 \cdot 0,1335 \cdot 0,78204^4 = 140,356 \text{ (долл.)}.$$

Если умножить стоимости стратегических перспектив, т. е. реальных пут-опционов, на текущую цену 1 долл., равную 62,5 руб., получим для проектов 1, 3, 4:

$$P^{(1)} = 7019,63 \text{ руб.}, P^{(3)} = 11874,94 \text{ руб.}, P^{(4)} = 8772,25 \text{ руб.}$$

Далее, чтобы получить трехмерное представление метода ПЗИ оценки проектов, необходимо сначала вывести уравнение плоскости в пространстве, проходящей через 3 точки А, В, С на рис. 3. Для этого фиксируем координаты точек А, В, С и произвольной точки М в этой же плоскости (рис. 7).

Координатами на рис. 7 являются значения $C_{\text{отн. } i}$, Q_i и P_i исследуемых проектов. Плоскость можно однозначно построить по любым трем точкам. Точка М с произвольными координатами в этой же плоскости необходима для получения третьего вектора в плоскости. Это даст нам 3 компланарных вектора, однозначно определяющих плоскость в пространстве.

Определим координаты необходимых векторов:

$$\vec{AM} = (x-0,518867; y-0,636767; z-112,314),$$

$$\vec{AB} = (0,210063; 0,34633; 77,685),$$

$$\vec{AC} = (0,204844; 0,035785; 28,042),$$

Используем условие компланарности 3-х векторов

$$\begin{vmatrix} x-0,518867 & y-0,636767 & z-112,314 \\ 0,210063 & 0,34633 & 77,685 \\ 0,204844 & 0,035785 & 28,042 \end{vmatrix} = 0.$$

Данный определитель раскладываем по 1-й строке методом Лапласа [1]. Тогда получаем уравнение

$$(x-0,518867) 6,931828 + (y-0,636767) 10,022719 - \\ - (z-112,314) 0,063427 = 0.$$

Откуда после несложных вычислений получаем уравнение плоскости

$$z = 109,288284x + 158,019755y - 45,013858.$$

Полученную плоскость для стоимости реальных пут-опционов строим в пакете Matlab [3]. Для этого набираем в нем текст программы, представленный на рис. 8.

В результате получается график, представленный на рис. 9, на котором видно, что по критерию перспективности, т. е. стоимости реального пут-опциона, наиболее привлекателен проект 3. Таким образом, лаборатории ООО «Биота» для проведения замеров неионизирующего излучения следует приобрести третью СИ, т. е. ВЕ-метр АТ-004 и 50 Гц. Это означает, что в случае реализации пессимистичного сценария, где изменение общего числа измерений за год снизится на 31,88%, приведенная выгода от выхода из проекта досрочно, т. е. до момента окончания проекта, будет наибольшей для проекта 3 (ВЕ-метр АТ-004 и 50 Гц) и составит 189,999 долл. или 11874,94 руб.

Полученная стоимость пут-опциона для проекта 3 существенно выше стоимости опционов для проектов 1 и 4, что позволяет в случае необходимости проявить более выгодную в деньгах управленческую гибкость по проекту 3. Данный вывод существенно упрощает процедуру окончательного выбора наиболее привлекательного инновационного проекта с учетом коммерческих или технических рисков реализации проектов.

Заключение

В результате проведенного исследования получены следующие выводы:

1. По обобщенному показателю инновационности Q_i наиболее привлекательными для инвестора ООО «Биота» получились 3 проекта: ВЕ-метр АТ-004 и 50 Гц (проект 3), ПЗ-80 Комплект 1 (проект 4) и Циклон-05 (проект 1).
2. Такой же результат получился согласно принципу Парето. Кроме того, принцип Парето утверждает, что для инвестора примерно равнозначны более «инновационный» по показателю Q_i проект 3 и менее затратный по показателю $C_{\text{отн. } i}$ проект 1.
3. По критерию перспективности, т. е. стоимости реального пут-опциона, наиболее привлекателен проект 3. Таким образом, лаборатории ООО «Биота» для проведения замеров неионизирующего излучения следует приобрести третью СИ, т. е. ВЕ-метр АТ-004 и 50 Гц. Это означает, что в случае реализации пессимистичного сценария, где изменение общего числа измерений за год снизится на 31,88%, приведенная выгода от выхода из проекта досрочно, т. е. до момента окончания проекта, будет наибольшей для проекта 3 (ВЕ-метр АТ-004 и 50 Гц) и составит 189,999 долл. или 11 874,94 руб.
4. Полученная стоимость пут-опциона для проекта 3 существенно выше стоимости опционов для

проектов 1 и 4, что позволяет в случае необходимости проявить более выгодную в деньгах управленческую гибкость по проекту 3. Данный вывод существенно упрощает процедуру окончательного выбора наиболее привлекательного инновационного проекта с учетом коммерческих или технических рисков реализации проектов.

Признательность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-010-00932 «Создание модели эволюции инновационной системы промышленных регионов в современных условиях социально-экономического развития».

Список использованных источников

1. Е. В. Кошелев, С. Н. Яшин. Математика. Практикум: учеб. пособие. Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. П. Е. Алексеева, 2013. 191 с.
2. М. А. Лимитовский. Инвестиционные проекты и реальные опционы на развивающихся рынках: учеб.-практич. пособие. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2008. 464 с.
3. А. М. Половко, П. Н. Бутусов. Matlab для студента. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 320 с.
4. Е. М. Четыркин. Финансовая математика: учебник. 4-е изд. М.: Дело, 2004. 400 с.
5. С. Н. Яшин, Ю. В. Трифонов, Е. В. Кошелев. Формирование механизма управления инновационным развитием промышленного региона: монография. Н. Новгород: ООО «Печатная Мастерская Радонеж», 2017. 276 с.
6. E. F. Brigham, L. C. Gapenski. Intermediate financial management. Orlando, FL: The Dryden Press, 4th edn., 1993. 1122 p.
7. D. M. Chance. Introduction to derivatives and risk management, 6th edition. Fort Worth, TX, Harcourt College Publishers, 2001. 640 p.
8. T. Copeland, V. Antikarov. Real options: a practitioner's guide. Texere, 2001. 384 p.
9. A. Damodaran. Investment valuation: tools and techniques for determining the value of any asset. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2002. 993 p.
10. P. Kodukula, Ch. Papudesu. Project valuation using real options: a practitioner's guide. USA, Florida, Fort Lauderdale, J. Ross Publishing, Inc., 2006. 234 p.
11. J. Mun. Real options analysis: tools and techniques for valuing strategic investments and decisions. USA, New Jersey, John Wiley & Sons, 2002. 386 p.
12. T. Ogier, J. Rugman, L. Spicer. The real cost of capital: a business field guide to better financial decisions. London, Prentice Hall, 2004. 291 p.
13. J. Roche. The value of nothing: Mastering business valuations. London, Lessons (publishing) Limited, 2005. 236 p.
14. H. T. J. Smit, L. Trigeorgis. Strategic investment: real options and games. Princeton and Oxford: Princeton University Press, 2004. 459 p.
15. L. Trigeorgis. Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation. MIT Press, 1996. 427 p.
16. S. N. Yashin, E. V. Koshelev, D. A. Sukhanov. Three-dimensional method of assessing R&D projects using real put options//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 497, conference 1, 2019. P. 1-7.

References

1. E. V. Koshelev, S. N. Yashin. Matematika. Praktikum: uchebnoye posobiye [Mathematics. Workshop: teaching and practical aid]. Nizhniy Novgorod: Nizhniy Novgorod State Technical University, 2013. 191 p.
2. M. A. Limitovskiy. Investitsionnye proekty i realnye opsiyny na razvivayuschikhsya rynkakh: Uchebno-prakticheskoye posobiye [Investment projects and real options in developing markets: teaching and practical aid] (4th ed.). Moscow: Urait Publishing House, 2008. 464 p.
3. A. M. Polovko, P. N. Butusov. Matlab dlya studenta [Matlab for the student]. St.-Petersburg: BHV-Petersburg, 2005. 320 p.
4. E. M. Chetyrkin. Finansovaya matematika: uchebnik [Financial mathematics: textbook] (4th ed.). Moscow: Delo, 2004. 400 p.
5. S. N. Yashin, Yu. V. Trifonov, E. V. Koshelev. Formirovaniye mekhanizma upravleniya innovatsionnym razvitiyem promyshlennogo regiona: monografiya [Formation of a mechanism for managing the innovative development of the industrial region: monograph]. Nizhniy Novgorod: LLC Radonezh Publishing House, 2017. 276 p.
6. E. F. Brigham, L. C. Gapenski. Intermediate financial management. Orlando, FL: The Dryden Press, 4th edn., 1993. 1122 p.
7. D. M. Chance. Introduction to derivatives and risk management, 6th edition. Fort Worth, TX, Harcourt College Publishers, 2001. 640 p.
8. T. Copeland, V. Antikarov. Real options: a practitioner's guide. Texere, 2001. 384 p.
9. A. Damodaran. Investment valuation: tools and techniques for determining the value of any asset. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2002. 993 p.
10. P. Kodukula, Ch. Papudesu. Project valuation using real options: a practitioner's guide. USA, Florida, Fort Lauderdale, J. Ross Publishing, Inc., 2006. 234 p.
11. J. Mun. Real options analysis: tools and techniques for valuing strategic investments and decisions. USA, New Jersey, John Wiley & Sons, 2002. 386 p.
12. T. Ogier, J. Rugman, L. Spicer. The real cost of capital: a business field guide to better financial decisions. London, Prentice Hall, 2004. 291 p.
13. J. Roche. The value of nothing: Mastering business valuations. London, Lessons (publishing) Limited, 2005. 236 p.
14. H. T. J. Smit, L. Trigeorgis. Strategic investment: real options and games. Princeton and Oxford: Princeton University Press, 2004. 459 p.
15. L. Trigeorgis. Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation. MIT Press, 1996. 427 p.
16. S. N. Yashin, E. V. Koshelev, D. A. Sukhanov. Three-dimensional method of assessing R&D projects using real put options//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 497, conference 1, 2019. P. 1-7.