

УДК 338.242 : 519.245

## **ОЦЕНКА РИСКА ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (МЕТОД МОНТЕ-КАРЛО)**

**С.В. Кузина<sup>1</sup>, П.К. Кузин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Тверской государственный университет, г. Тверь

<sup>1</sup>Тверской государственный технический университет, г. Тверь

В статье рассмотрено практическое использование метода имитационного моделирования для вероятностной оценки риска инновационного проекта. Риск инновационного проекта рассматривается как вероятность потерь, возникающих при инвестировании в производство инновационных товаров и освоения инновационных технологий. Перечислены основные этапы применения метода имитационного моделирования для вероятностной оценки риска инновационного проекта. Приведен пример вероятностной оценки риска инновационного проекта с использованием возможностей пакета прикладных программ Project Expert.

**Ключевые слова:** *инновационный проект, проектный риск, имитационное моделирование, метод Монте-Карло, вероятностный подход.*

Риск в инновационной деятельности в общем виде можно определить как вероятность потерь, возникающих при вложении организацией средств в производство новых товаров и оказание новых услуг, разработку новой техники и технологий, которые, возможно, не найдут ожидаемого спроса на рынке, а также при вложении средств в разработку управленческих инноваций, которые не принесут ожидаемого эффекта [1, 2].

В данной статье рассматривается применение вероятностного подхода к оценке рисков, поэтому под понятием «инновационный риск» мы будем понимать влияние неопределенности на цели инновационного проекта [5]. При этом наиболее важным является определять не столько вероятность определенного уровня потерь, сколько вероятность того, что потери не превысят некоторого уровня.

Метод Монте-Карло (метод имитационного моделирования) относится к стохастическим методам моделирования. При использовании этого метода значение каждого факторного показателя является случайной величиной, имеющей определенный закон распределения внутри заданного возможного диапазона изменения данного факторного показателя. Метод имитационного моделирования наиболее полно отражает реальную ситуацию при реализации инновационного проекта, так как любой факторный показатель в

процессе реализации инновационного проекта имеет случайный характер, обусловленный наличием воздействия большого количества случайных факторов. Основной задачей использования метода имитационного моделирования является комплексная оценка проектного риска на основе многократной имитации сценариев реализации инновационного проекта при различных наборах случайных значений исходных факторных показателей. Имитационное моделирование основано на использовании математической модели для оценки эффективности инновационного проекта, установлении границ возможных изменений отдельных факторных показателей, определяющих эту эффективность, и многократного компьютерного моделирования вероятностных сценариев реализации инновационного проекта с целью определения параметров распределения случайных значений показателей эффективности проекта.

Как видно из этой общей характеристики метода имитационного моделирования, он имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами оценки инновационного риска, например, такими как метод анализа чувствительности или метод анализа сценариев проекта. Если метод анализа чувствительности проекта исследует влияние каждого из факторных показателей на оценку эффективности проекта по отдельности, то в методе имитационного моделирования при расчете каждого сценария изменяются значения одновременно всех факторных показателей, позволяя исследовать это влияние комплексно. В сравнении с методом анализа сценариев данный метод существенно расширяет возможности исследования вариантов реализации проекта, моделируя не 3-5 возможных сценариев, как это предлагается в методе анализа сценариев проекта, а несколько сотен.

Имитационное моделирование по методу Монте-Карло с целью оценки уровня риска инвестиционного проекта осуществляется по следующим основным этапам:

1. Выбор показателя эффективности проекта [4]. При использовании метода имитационного моделирования возможно для оценки уровня риска проекта использовать любой из показателей его эффективности. Более того, имитационное моделирование по методу Монте-Карло может осуществляться одновременно по всему блоку основных показателей оценки эффективности проекта. Упрощенным практическим методом является тот случай, когда для анализа риска выбирается лишь один или два из показателей оценки эффективности инновационного проекта, как правило, это чистый приведенный доход (NPV) или индекс доходности (PI).

2. Построение математической модели и компьютерной программы для расчета выбранного показателя эффективности проекта при заданных значениях факторных показателей.

3. Выбор диапазонов возможного изменения факторных

показателей в процессе реализации проекта. По каждому факторному показателю устанавливается минимальная и максимальная граница его значений, в диапазоне которых будет случайным образом задаваться значение факторного показателя.

4. Задание типа распределения вероятности и определение параметров распределения отдельных факторных показателей. Данный этап является одним из самых сложных в процессе формирования имитационной модели, так как требует проведения соответствующих экономико-математических исследований с использованием обширной статистической информации по каждому из показателей. При отсутствии базы данных, достаточной для определения типа распределения вероятности факторных показателей, можно использовать для расчетов равномерный или нормальный закон распределения.

5. Многократно повторяющиеся расчеты значения выбранного показателя эффективности при различных случайных выборках значений исходных факторных показателей. Этап является собственно процессом имитационного моделирования. Каждая случайная выборка (набор) значений факторных показателей рассматривается как один из возможных сценариев реализации инновационного проекта, которому соответствует некоторое (вообще говоря случайное) значение выбранного показателя эффективности. Таких сценариев в процессе имитационного моделирования может формироваться нескольких сотен (рекомендуется не менее 100).

6. Определение по результатам имитационного моделирования вида функции распределения плотности вероятности выбранного показателя эффективности проекта и расчет показателей функции распределения.

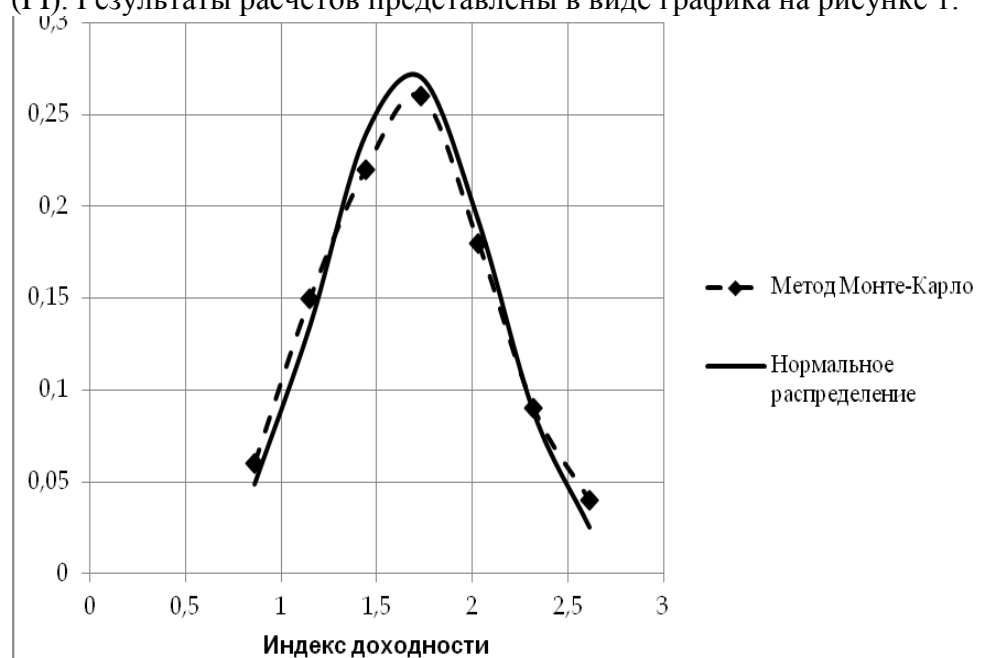
7. Статистический анализ полученной стохастической модели для определения уровня проектного риска. В процессе этого анализа определяются среднее значение показателя оценки эффективности инновационного проекта, среднее квадратическое (стандартное) отклонение, коэффициент вариации и другие показатели, характеризующие уровень проектного риска.

В качестве примера рассмотрим анализ чувствительности инновационного проекта «Организация производства стекол для автомобилей с использованием инновационной технологии». Расчеты произведены с использованием математической модели инновационного проекта, реализованной в ППП Project Expert-6. В качестве показателя эффективности выбран индекс доходности (PI), рассчитанный за весь период реализации инновационного проекта. Горизонт планирования инновационного проекта – три года.

Математическая модель анализируемого проекта реализована в пакете прикладных программ (ППП) Project Expert, поэтому для имитационного моделирования воспользуемся возможностями этого

программного продукта. В ППП Project Expert имеется блок анализа проекта методом Монте-Карло. Для проведения имитационного моделирования с помощью блока анализа Project Expert необходимо выбрать факторные показатели, задать возможные диапазоны изменения каждого факторного показателя и число сценариев для расчета показателей эффективности проекта.

Для проведения расчетов в качестве факторных показателей были выбраны объем продаж, цена продаж, издержки переменные, издержки постоянные и процентная ставка по банковскому кредиту. Диапазоны возможных изменений факторных показателей были выбраны одинаковыми для всех показателей и равными  $[-10\%; +10\%]$ . При имитационном моделировании в Project Expert используется равномерный закон распределения случайных величин. Количество сценариев при имитационном моделировании равнялось 500. Анализ рисков проводился по показателю эффективности индекс доходности (PI). Результаты расчетов представлены в виде графика на рисунке 1.



Р и с . 1. График функции распределения плотности вероятности индекса доходности, полученный по результатам имитационного моделирования.

Полученные в результате расчетов статистические данные сгруппированы в семь интервалов. Полученное в результате имитационного моделирования статистическое распределение показано на рисунке 1 пунктиром.

Параметры распределения, рассчитанные по результатам расчета  $n = 500$  сценариев:

- среднее значение индекса доходности  $PI_{cp} = 1,81$ ;
- среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 0,43$ ;

– коэффициент вариации  $V = 24\%$ .

Сплошной линией на рисунке 1 показан график теоретической нормальной функции распределения (нормальная кривая), построенный при тех же значениях параметров распределения. Сравнение двух графиков показывает их достаточно хорошее совпадение, что позволяет выдвинуть гипотезу о нормальном законе распределения случайной величины индекса доходности ( $PI$ ) инновационного проекта.

Проверку гипотезы о нормальном распределении случайной величины  $PI$  проведем с использованием критерия согласия Пирсона [3].

В таблице 1 приведены значения эмпирических частот, полученные в результате имитационного моделирования, и значения теоретических частот для каждого из семи интервалов, рассчитанные с использованием функции Лапласа

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (1)$$

где  $x = \frac{(PI - PI_{cp})}{\sigma}$ .

Таблица 1

Номер интервала	1	2	3	4	5	6	7	Сумма частот
Эмпирические частоты	30	75	110	130	90	45	20	500
Теоретические частоты	32,169	66,419	114,883	133,393	93,041	43,713	16,383	500

В соответствии с критерием согласия Пирсона, гипотеза о нормальном законе распределения принимается, если наблюдаемое значение критерия

$$\chi_{набл}^2 = \sum_i \frac{(n_{i эм} - n_{i теор})^2}{n_{i теор}},$$

где  $n_{i эм}$  и  $n_{i теор}$  - соответственно эмпирическая и теоретическая частота для  $i$ -го интервала,

меньше критического значения критерия  $\chi_{кр}^2(\alpha, k)$ , определяемого по таблице значений критерия  $\chi^2$  при заданных значениях уровня значимости  $\alpha$  и числе степеней свободы  $k$ .

Рассчитанное по данным, приведенным в таблице 1, наблюдаемое значение критерия равно  $\chi_{набл}^2 = 2,48$ . Определенное по таблице, приведенной в [3], критическое значение критерия при уровне

значимости  $\alpha = 0,05$  (надежность оценки равна 95%) и числе степеней свободы  $k = 4$  (для проверки гипотезы о нормальном распределении число степеней свободы  $k$  равно  $(m - 3)$ , где  $m$  – число интервалов) равно  $\chi_{кр}^2(0,05; 4) = 9,5$ .

Таким образом, по результатам имитационного моделирования мы получили, что  $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2(0,05; 4)$ . Следовательно, в соответствии с критерием согласия Пирсона, с надежностью 95% гипотеза о нормальном распределении случайной величины индекса доходности PI принимается.

Принятие гипотезы о нормальном распределении индекса доходности позволяет использовать для оценки проектного риска вероятностный подход с использованием для расчетов функции Лапласа (1).

В качестве интегральной оценки риска анализируемого инновационного проекта можно использовать вероятность того, что индекс доходности в результате реализации инновационного проекта окажется меньше единицы ( $PI < 1$ ), то есть вероятность того, что инновационный проект окажется неэффективным.

Вероятность того, что инновационный проект окажется неэффективным, т.е.  $PI < 1$ , равна:  $P(PI < 1) = \Phi\left(\frac{1 - PI_{cp}}{\sigma}\right) = 0,031$ .

Таким образом, по критерию эффективности  $PI > 1$  риск анализируемого инновационного проекта оценивается в 3,1%.

Однако инвестор может определить в качестве минимально допустимой при принятии решения об инвестировании величину индекса доходности  $PI_{min} > 1$ . В этом случае рискованность инновационного проекта повышается.

Если в качестве минимальной величины индекса доходности инновационного проекта принять  $PI = 1,5$ , определенную инвестором инновационного проекта в качестве минимально допустимой при реализации проекта, то рискованность проекта повысится.

Вероятность того, что инновационный проект окажется неэффективным с точки зрения инвестора, т.е. вероятность того, что  $PI < 1,5$ , равна:

$$P(PI < 1,5) = \Phi\left(\frac{1,5 - PI_{cp}}{\sigma}\right) = 0,24.$$

Таким образом, по критерию эффективности  $PI > 1,5$  риск анализируемого инновационного проекта оценивается в 24%.

Чем выше требования инвестора к ожидаемой доходности инновационного проекта, тем более рискованным становится для него проект.

Характеризуя метод имитационного моделирования, следует

отметить его основное преимущество - он позволяет имитировать реализацию проекта в условиях неопределенности, то есть в условиях, максимально приближенных к реальным условиям реализации проекта, при которых факторные показатели могут случайным образом изменяться под действием различных случайных внешних и внутренних факторов. Применение метода Монте-Карло позволяет также получать вероятностные оценки проектных рисков по любым показателям эффективности инновационного проекта.

Однако широкое практическое использование этого метода сдерживает ряд обстоятельств. Одним из них является необходимость использования специального программного обеспечения, требующей определенной индивидуализации с учетом особенностей проекта. Примерами таких типовых программных продуктов являются пакеты прикладных программ Project Expert, используемый для разработки бизнес-планов, и Risk Master, используемый в практике управления проектами. Кроме того, серьезной проблемой является установление типа распределения вероятности, задаваемой по отдельным первичным факторным показателям.

#### **Список литературы**

1. Бабаскин С. Я. Инновационный проект: методы отбора и инструменты анализа рисков: учеб. пособие. – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС. - 2012. – 240 с.
2. Кейт Р., Стюарт Х. Управление финансовыми рисками: Пер. с англ.. - М.: ИНФРА -М, 2000. - 932 с.
3. Гмурман В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. 9-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2003. - 479 с.
4. Кузина С.В. Прогнозирование и планирование в условиях рынка. Методика разработки бизнес-плана: Учебное пособие. – Тверь: ТвГУ – 77 с.
5. Абдуллаев А.Р. Риски в инновационных проектах: причины появления, интегральные риски, экспертиза проектов с учетом рисков// Экономический анализ: теория и практика. – 2012. - № 40. - С. 40-48

#### **RISK ASSESSMENT OF INNOVATIVE PROJECTS BASED ON THE METHOD OF IMITATION MODELING (MONTE-CARLO SIMULATION)**

**S.V. Kuzina<sup>1</sup>, P.K. Kuzin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Tver State University, Tver

<sup>2</sup> Tver State Technical University, Tver

The article analyses practical application of imitation modeling method for the probable risk assessment of innovative projects. The risk of innovative projects is considered as a possibility of losses which appear while investing in innovative production. The author describes main stages of applying imitation modeling for the possible risk assessment. The sample probable risk assessment of innovative projects is done on the basis of applied program package Project Expert.

**Keywords:** *innovative project, project risk, imitation modeling, Monte-Carlo simulation, probable approach.*

*Об авторах:*

КУЗИНА Светлана Викторовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры финансов Тверского государственного университета, e-mail: [sv\\_kuzina@mail.ru](mailto:sv_kuzina@mail.ru)

КУЗИН Павел Константинович – доцент кафедры автоматизации технологических процессов Тверского государственного технического университета, e-mail: [sv\\_kuzina@mail.ru](mailto:sv_kuzina@mail.ru)

*About the authors:*

KUZINA Svetlana Viktorovna – Philosophy Doctor in Economics, Associate Professor, Department of Finance, Tver State University, Tver, e-mail: [sv\\_kuzina@mail.ru](mailto:sv_kuzina@mail.ru)

KUZIN Pavel Konstantinovich – Associate Professor, Department of Automated Technological Processes, Tver State Technical University, Tver, e-mail: [sv\\_kuzina@mail.ru](mailto:sv_kuzina@mail.ru)

### References

1. Babaskin S. Ja. Innovacionnyj proekt: metody otbora i instrumenty analiza riskov: ucheb.posobie. – M.: Izdatel'skij dom «Delo» RANHiGS. - 2012. – 240 s.
2. Kejt R., Stjuart X. Upravlenie finansovymi riskami: Per. s angl.. - M.: INFRA - M, 2000. - 932 s.
3. Gmurman V.S. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika. 9-e izd., ster. - M.: Vysshaja shkola, 2003. - 479 s.
4. Kuzina S.V. Prognozirovanie i planirovanie v uslovijah rynka. Metodika razrabotki biznes-plana: Uchebnoe posobie. – Tver': TvGU – 77 s.
5. Abdullaev A.R. Riski v innovacionnyh proektah: prichiny pojavlenija, integral'nye riski, jekspertiza proektov s uchetom riskov// Jekonomicheskij analiz: teorija i praktika. – 2012. - № 40. - S. 40-48
- 6.