

УДК 338

Ю.П.ГРИГОРЬЕВ, д-р экон. наук, профессор, ivdenisova@yandex.ru

Е.В.ШЕВЧЕНКО, аспирант, sh\_e.v@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный горный университет

Y.P.GRIGORIEV, Dr. in econ. sc., professor, ivdenisova@yandex.ru

E.V.SHEVCHENKO, post-graduate student, sh\_e.v@mail.ru

Saint Petersburg State Mining University

## ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К АНАЛИЗУ ПРОЕКТА ОСВОЕНИЯ УЧАСТКА «АМФИБОЛИТОВЫЙ» ШАЙДОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КАМНЯ

Рассмотрен подход к вероятностной оценке проектов освоения месторождений строительного камня на основе имитационного моделирования. Выполнено моделирование показателей эффективности и устойчивости Шайдомского месторождения строительного камня методом Монте-Карло. Проведен статистический и корреляционный анализ результатов имитации.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, метод Монте-Карло, Шайдомское месторождение строительного камня.

## THE SIMULATION MODELLING IN DEPOSIT PROJECT DEVELOPMENT ANALYSIS ON THE BASE OF SHAIDOMSKOE BUILDING STONE DEPOSIT, «AMPHIBOLITHOVYI» MINING FIELD

The article covers the approach to the development project probabilistic estimation of building stone deposit. The approach is based on the Monte-Carlo simulation modelling of its efficiency indicators. Also the correlation and statistical analysis of simulation are conducted.

**Key words:** simulation modelling, Monte-Carlo method, Shaidomskoe building stone deposit.

Имитационное моделирование представляет собой серию численных экспериментов, призванных получить эмпирические оценки степени влияния различных факторов на некоторые зависящие от них показатели. Процесс проведения имитационного моделирования можно разделить на следующие этапы:

- определение ключевых параметров модели;
- установление законов распределения ключевых параметров модели;
- имитация значений ключевых параметров модели с помощью ЭВМ;

- расчет основных характеристик распределений исходных и выходных показателей;
- анализ полученных результатов.

В настоящее время для решения задач финансового анализа широкое применение получило моделирование по методу Монте-Карло (стохастическая имитация). Метод Монте-Карло – это численный метод решения математических задач при помощи моделирования случайных величин. Он позволяет моделировать любой процесс, на который влияют случайные факторы, и часто применяется для проведения вероятностной оценки инвестиционных проектов и риска



Схема расчетов по методу Монте-Карло

получения убытков. Схема расчета эффективности инвестиционного проекта и показателей риска убытков представлена на рисунке [1, 4].

Определим риск убытков для проекта освоения участка «Амфиболитовый» Шайдомского месторождения строительного камня.

Шайдомское месторождение расположено в Республике Карелия в 2,5 км от г. Медвежьегорска. Оно состоит из четырех залежей, в составе которых выделено 11 разновидностей строительного камня. На базе месторождения проектируются предприятия по производству щебня для строительных работ и широкого ассортимента натуральных и композиционных сыпучих материалов и наполнителей для полимерных композиционных материалов.

Месторождение разделено на четыре участка: «Амфиболитовый», «Доломитовый», «Кварцитовый» и «Микросланцевый». На базе участка «Амфиболитовый» планируется создание комплекса по производству строительного щебня. В состав комплекса войдет карьер по добыче амфиболитов и гранитов и расположенный рядом с карьером дробиль-

но-сортировочный комплекс (ДСК) в открытом исполнении. Основной товарной продукцией ДСК будет щебень для строительных работ (ГОСТ 8267-93), а также отсевы, получаемые при производстве щебня, и фракционированные пески для строительных работ (ГОСТ 8736-93).

Для вероятностных расчетов приняты следующие допущения: варьируемые параметры независимы; изменение их значений может быть описано по какому-либо из известных законов распределения случайных величин [1].

В качестве независимых переменных для моделирования выступают исходные геологические характеристики объекта, технологические и экономические параметры, определяющие условия его освоения; в качестве зависимых переменных – чистый дисконтированный доход, внутренняя норма доходности или индекс доходности проекта.

Для рассматриваемого комплекса предлагаются следующие независимые переменные: объем выпуска щебня и цена реализации 1 м<sup>3</sup> щебня. В качестве ключевого параметра проекта выделены переменные затраты.

Объем выпуска щебня дробильно-сортировочным комплексом зависит от производительности принятых в проекте технологических линий, производительности карьера по добыче амфиболитов и гранитов, на которую, в свою очередь, влияют климатические условия, принятая технологии обработки запасов и используемая техника; развитость и надежность инфраструктуры, наличие страховых запасов и т.д. [2].

Ценообразование на рынке щебня имеет выраженный сезонный характер. Большое влияние на уровень цен оказывает состояние строительного рынка и рынка железнодорожных перевозок. Динамика цен на рынке щебня также обусловлена большим количеством посредников и операторов.

Прочие параметры проекта: постоянные затраты, амортизационные отчисления, норма дисконта и первоначальные инвестиции – известны и считаются постоянными в течение срока его реализации.

В качестве вероятных сценариев реализации проекта приняты следующие:

Сценарий Показатели:	Наихудший	Вероятный	Наилучший
годовой объем производства щебня, тыс.м <sup>3</sup> /год	816,9	1000	1213,7
цена 1 м <sup>3</sup> щебня, руб.	400	648	785
переменные издержки, руб./м <sup>3</sup>	167,7	151,15	143,6

Неизменяемые параметры проекта имеют следующие значения:

Постоянные издержки, млн руб.	179,21
Амортизация, млн руб.	61
Налог на прибыль, %	20
Норма дисконта, %	15
Срок проекта, годы	25
Начальные инвестиции, млн руб.	534,79

Критерием эффективности проекта является чистый дисконтированный доход  $NPV$ . Имитационное моделирование проведено в среде MS Excel.

Предположим, что ключевые переменные (объем производства щебня, цена его реализации и переменные издержки) рас-

пределются по нормальному закону. Вид распределения результирующего показателя  $NPV$  заранее определить невозможно. Однако в соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятностей при выполнении определенных условий сумма большого числа случайных величин имеет распределение, приблизительно соответствующее нормальному [3]. В связи с этим можно аппроксимировать неизвестное распределение величины чистого дисконтированного дохода нормальным распределением.

Пример результатов расчетов в среде MS Excel представлен в табл.1. Проведено 500 имитаций значений чистого дисконтированного дохода по проекту.

Определим степень тесноты взаимосвязей между исходными переменными эксперимента (переменными издержками; объемом производства и ценой реализации продукции), вычислив коэффициенты корреляции между ними. Коэффициент корреляции  $R$  принимает значения от  $-1$  до  $+1$  и характеризует линейную прямую или обратную взаимосвязь между сопоставляемыми величинами. Полученная матрица корреляционного анализа имеет вид

$$R = \begin{pmatrix} 1 & & \\ 0,04 & 1 & \\ 0,09 & -0,03 & 1 \end{pmatrix}.$$

Корреляционный анализ подтвердил выдвинутую гипотезу о независимости распределения ключевых параметров. Значения коэффициентов корреляции между этими параметрами достаточно близки к нулю.

Для проверки гипотезы о нормальном распределении  $NPV$  вычислим коэффициенты асимметрии (скоса) и эксцесса распределения его значений. Для нормального распределения эти характеристики должны быть равны нулю. На практике значениями, близкими к нулю, можно пренебречь. Результаты расчета следующие:

Показатель	Расчетная формула	Значение
Эксцесс	$\gamma_1 = \frac{\mu_3(X)}{[\sigma(X)]^3}$	-1,01077
Асимметричность	$\gamma_2 = \frac{\mu_4(X)}{[\sigma(X)]^4} - 3$	-0,02772

Таблица 1

Имитационное моделирование значений  $NPV$ 

Номер строки листа MS Excel	Переменные издержки, руб./ м <sup>3</sup>	Объем производства, тыс.м <sup>3</sup> /год	Цена реализации 1 м <sup>3</sup> щебня, руб	Поступления, млн руб.	$NPV$ , млн руб.
10	158	1008	507	145,43	405,27
32	145	913	580	186,56	671,14
33	167	1069	402	69,80	-83,57
41	166	1170	563	240,42	1019,35
42	152	927	417	653,56	-112,32
43	146	959	520	155,76	472,09
64	164	857	579	153,36	456,53
183	146	861	439	70,65	-78,095

Таблица 2

## Результаты статистического анализа

Показатель	Переменные издержки, руб./м <sup>3</sup>	Объем производства, тыс.м <sup>3</sup> /год	Цена реализации 1 м <sup>3</sup> щебня, руб.	Поступления, млн руб.	$NPV$ , млн руб.
Среднее значение	156,35	985,58	528,49	162,30	514,36
Минимум	144	934	401	47,24	-229,44
Максимум	167	1032	648	277,59	1259,59
Стандартное отклонение $\sigma$	7,08	27,56	71,67	57,69	372,98
Коэффициент вариации	0,04	0,03	0,14	0,36	0,73

Полученные значения коэффициентов асимметрии и эксцесса достаточно близки к нулю. Отрицательное значение обоих коэффициентов говорит о левосторонней асимметрии кривой распределения. Отрицательный эксцесс указывает также более низкую и плоскую вершину рассматриваемого распределения по сравнению с нормальной кривой [3].

Статистический анализ имитационного моделирования представлен в табл.2.

По результатам проведенного имитационного эксперимента величина ожидаемого чистого дисконтированного дохода  $NPV = 514,362$  млн руб. при стандартном отклонении 372,977. Значение коэффициента вариации (0,73) указывает на высокую колеблемость результирующего показателя. Вероятность получения отрицательной величины  $NPV$  не превышает 8,4 %. Общее число отрицательных значений в выборке составляет 54 из 500. Таким образом, с вероятностью 91,6 % чистый дисконтированный доход по проекту будет больше нуля. При этом вероятность того, что  $NPV$  окажется больше, чем  $M(NPV) + \sigma$ , равна 14 %. Здесь  $M$  – матема-

тическое ожидание случайной величины. Вероятность попадания значения  $NPV$  в интервал  $[M(NPV) - \sigma; M(NPV)]$  равна 34 %.

Согласно правилу трех сигм, вероятность попадания значений чистого дисконтированного дохода в интервал  $[M(NPV) - 3\sigma; M(NPV) + 3\sigma]$  близка к единице. Тогда вероятность того, что значения  $NPV$  принадлежат интервалу от 141,3 до 887,3 млн руб. составляет 68 %. Вероятность получения  $NPV$  в интервале от -231,6 до 1260,3 млн руб. равна 96 %. Соответственно вероятность попадания значений  $NPV$  проекта в интервал от -604,6 до 1633,3 млн руб. близка к единице. Следовательно, величина возможных потерь (цена риска), характеризующих данный проект, составляет  $3\sigma$ , или 1118,931 млн руб. Вероятность получения такого убытка равна 8,4 %.

Таким образом, предварительные расчеты показывают, что с вероятностью 91,6 % чистый дисконтированный доход по проекту будет положительным. Однако высокий коэффициент вариации этого показателя свидетельствует о наличии риска недополучения планируемых доходов. Следова-

тельно, при принятой в проекте технологии отработки месторождения, сложившейся рыночной конъюнктуре, величине и качестве запасов полезного ископаемых, планируемых к отработке, реализация данного проекта не обеспечит устойчивого развития предприятия в будущем. В новых экономических условиях требуется внести в проект существенные корректировки, которые позволили бы снизить уровень проектного риска за счет обеспечения своевременного и гибкого реагирования на изменения условий внешней среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ампилов Ю.П. Экономическая геология / Ю.П.Ампилов, А.А.Герт. М., 2006. 409 с.

2. Астахов А.С. Экономика для геологов и горняков / А.С.Астахов, Е.Л.Гольдман. М., 2007. 328 с.

3. Вадзинский Р. Статистические вычисления в среде Excel. СПб, 2008. 608 с.

4. Мамий Е.А. Подходы к совершенствованию методики анализа рисков / Е.А.Мамий, М.А.Байбуртян. <http://www.cfin.ru/finanalysis/risk/innovative.shtml>

5. Соболь И.М. Метод Монте-Карло. М., 1978. 64 с.

#### REFERENCES

1. Ampilov Y.P., Gert A.A. Economic geology. Moscow, 2006. 409 p.

2. Astahov A.S., Goldman E.L. Economics for geologists and economists. Moscow, 2007. 328 p.

3. Vadzinsky R. Statistical computation in MS Excel. Saint Petersburg, 2008. 608 p.

4. Mamiy E.A., Baiburtian M.A. Approach to the development of risk analysis method. <http://www.cfin.ru/finanalysis/risk/innovative.shtml>

5. Sobol I.M. Monte-Carlo method. Moscow, 1978. 64 p.