

## **Оценка интегрированного инновационного риска на основе методологии *Value At Risk***

**И.В. Демкин**

Статья опубликована в журнале «Проблемы анализа риска», т.3, №4, 2006, с. 362-378

### **Аннотация**

Статья посвящена проблемам оценки предельных характеристик инновационного риска промышленного инновационно-активного предприятия на основе имитационного стохастического моделирования. Приводится анализ основных существующих методов оценки рисковой стоимости *VAR* против ущерба от воздействия факторов рыночного риска. Предлагается механизм оценки *VAR* инновационного риска, основанный на представлении бизнес-процессов инновационного проекта стохастическими сетевыми графами с циклами. Предлагается проводить анализ бизнес-процессов средствами имитационного стохастического моделирования. Раскрывается алгоритм количественной оценки *VAR* инновационного интегрированного риска, основанный на декомпозиции основных факторов риска с учетом особенностей их проявления в ходе реализации инновационного проекта. Предлагаемый механизм может быть использован в промышленности в ходе оценки риска и эффективности инновационных проектов.

### ***Ключевые слова***

Рисковый капитал, стохастический граф, опцион, инновационный проект, возмещение ущерба, имитационная модель, волатильность

## **Estimation of Integrated Innovative Risk, Based on Methodology *Value at Risk***

**I.V. Dyomkin**

“MATI” – Russian State Technology University named by K. E. Tsiolkovsky, Moscow

## **Abstract**

Article is devoted to the problems of an estimation of limiting characteristics of innovative risk of the industrial innovative - active enterprise on the basis of imitating stochastic simulation. The analysis of the basic existing methods of valuation of risky cost *VAR* against damage from influence of factors of market risk is resulted. The mechanism of estimation *VAR* of the innovative risk, based on representation of business-processes of the innovative project by stochastic network columns with cycles is offered. It is offered to spend the analysis business-processes by means of imitating stochastic simulation. The algorithm of quantitative estimation of *VAR* innovative integrated risk, based on decomposition of major factors of risk with allowance for features of their display is opened during realization of the innovative project. The offered mechanism can be used in the industry during evaluation of risk and efficiency of innovative projects.

## **Key words**

Risky capital, casual graph, option, innovation project, compensation of damage, simulation model , volatility

## Содержание

### Введение

1. Анализ основных методов оценки *VAR* против ущерба от воздействия рыночного риска
2. Оценка *VAR* начальных этапов инновационного проекта методом имитационного моделирования
3. Оценка ожидаемых потерь, выходящих за пределы *VAR*, на начальных этапах инновационного проекта
4. Оценка требуемого страхового резерва от страхования убытков, превышающих *VAR*

### Заключение

### Литература

## Введение

В настоящее время на промышленных инновационно-активных предприятиях выполняются десятки, а в ряде случаев и сотни, инновационных проектов. Осуществляя такие проекты, предприятия рассчитывают в дальнейшем иметь конкурентные преимущества перед другими участниками рынка. В ряде проектов такие преимущества выражаются в возможности реализации инновационной продукции (технологии) по высоким ценам. В отношении ряда других проектов к конкурентным преимуществам можно отнести возможность выпуска продукции с относительно низкой себестоимостью. Однако на этом инновационном пути у предприятий возникают определенные затруднения. К их числу можно отнести:

- высокую продолжительность этапов освоения производства инновационной продукции. В значительной степени это относится к этапам научно-исследовательских (НИР), опытно-конструкторских работ (ОКР), технологической подготовки производства (ТПП). Например, продолжительность этапа ОКР освоения производства самолета малой авиации занимает не менее трех лет [1];
- несение высоких инвестиционных затрат. Следует отметить нарастание инвестиционных затрат по мере приближения к завершающим этапам освоения. Например, величина инвестиций только в этапы ТПП проектов освоения производства нового лекарственного препарата на фармацевтическом инновационно-активном предприятии оценивается десятками миллионов рублей [2]. Как показывает практика, для успешной деятельности любого промышленного фармацевтического предприятия, необходимо иметь в текущем процессе не менее 20 осваиваемых препаратов, которые должны выйти на рынок уже в ближайшие полтора – два года, что приводит к существенному увеличению общих инвестиционных затрат предприятия;

- высокий уровень рисков на протяжении всего инновационного цикла. Результатом воздействия такого риска является во многих случаях существенная потеря эффекта от инвестиций. В ряде же случаев реализация факторов риска приводит к необходимости прекращения проектов и прямым финансовым потерям.

В этих условиях промышленным предприятиям необходим инструментарий корректной оценки инновационного риска. Применение такого инструментария позволит менеджерам предприятий выбирать и осуществлять эффективные методы управления инновационным риском, что, в свою очередь, позволит существенно сократить негативное влияние факторов риска и добиться получения существенного эффекта от инвестиций.

Одной из основных количественных мер риска является рисковая стоимость (*VAR*), показывающая максимально возможный ущерб, который может возникнуть на предприятии в течение определенного будущего периода времени с заранее задаваемой вероятностью. К настоящему времени разработана и нашла практическое воплощение в управлении финансовым риском методология оценки *VAR* против ущерба от воздействия рыночного и кредитного рисков [3-14]. Имеются также серьезные наработки в отношении оценок *VAR* в инвестиционном проектировании в секторе реальной экономики [15]. Однако, несмотря на впечатляющие результаты применения методологии *VAR* в указанных секторах, вопросы применения данной методологии для оценки величины ущерба от воздействия инновационного риска, на сегодняшний день, не достаточно проработаны в литературе. Для корректного применения созданных методов и моделей в секторе инновационного риска необходимо выполнить их анализ.

### **1. Анализ основных методов оценки *VAR* против ущерба от воздействия рыночного риска**

К настоящему времени нашли применение методы оценки рискового капитала *VAR*, а также оценки ожидаемых потерь, выходящих за пределы *VAR*. Указанные методы взаимодополняют друг друга.

В настоящее время научно проработаны три основных метода оценки предельной характеристики риска *VAR*. К ним относятся следующие методы [14]:

1. Дельта-нормальный метод;
2. Метод исторического моделирования;
3. Метод стохастического имитационного моделирования.

### 1.1. Дельта-нормальный метод расчета VAR

Дельта-нормальный метод оценки *VAR*, называемый также параметрическим, впервые был реализован в системе *RiskMetrics* банком *J.P. Morgan* в 1994 г.[9,12].

Метод предназначен для оценки рыночного риска и ряда других рисков. К рыночному риску относят [14]:

- риск изменения процентной ставки;
- валютный риск;
- ценовые риски рынка акций, товарных рынков;
- риск рынка производных инструментов.

В основе метода лежит предположение о нормальном распределении доходностей отмеченных факторов риска. Из этого следует, что распределение доходностей любых инструментов, являющихся линейными комбинациями факторов риска также оказывается нормальным распределением.

#### *Особенности дельта-нормального метода оценки VAR для одного актива*

Из сделанного предположения следует, что величина доходности актива  $I_t$  за наблюдаемый период  $t$  может быть представлена следующим образом:

$$I_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}} \approx \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \square N(\mu, \sigma^2), \quad (1)$$

где:  $P_t, P_{t-1}$  - цена актива в начале и в конце периода соответственно;

$\mu, \sigma^2$  - математическое ожидание и дисперсия доходности актива соответственно.

Из (1) следует, что наибольший убыток за период  $t$  вследствие падения цены актива с заданной вероятностью  $1-\alpha$  может произойти в том случае, если цена актива в конце периода составит величину, определяемую по формуле:

$$P_t = P_{t-1} e^{\mu - k_{1-\alpha}\sigma}, \quad (2)$$

где:  $k_{1-\alpha}$  - квантиль нормального распределения вероятностей, показывающая на какое число стандартных отклонений относительно среднего, может максимально отклониться значение случайной величины с доверительной вероятностью  $1-\alpha$ .

Откуда можно определить наибольшее изменение цены актива *VAR* за период  $t$  с доверительной вероятностью  $1-\alpha$ :

$$VAR = P_{t-1}(e^{\mu - k_{1-\alpha}\sigma} - 1) \approx P_{t-1}(\mu - k_{1-\alpha}\sigma) \quad (3)$$

Последнее приближение справедливо при малых  $\sigma$ . Таким образом, зная текущую стоимость актива  $P_{t-1}$ , ожидаемую его доходность  $\mu$  и волатильность  $\sigma$  за горизонт расчета  $VAR$ , можно по формуле (3) найти значение рискованной стоимости капитала  $VAR$  с временным горизонтом  $t$  и доверительным интервалом  $1-\alpha$ .

### ***Оценка VAR с произвольным временным горизонтом***

Предположим, что необходимо оценить  $VAR$  для горизонта расчетов, отличного от известного горизонта  $t$ . Если допустить предположение об эффективности рынка активов, состоящего в том, что текущая цена актива учитывает всю необходимую информацию об активе в конкретный момент времени и в дальнейшем меняется под воздействием новостей, которые не были заранее спрогнозированы. В этом случае межвременная корреляция между ценами актива окажется равной нулю и, следовательно, согласно положениям теории вероятности [16] ожидаемая доходность актива окажется пропорциональной временному горизонту  $T$ , а волатильность пропорциональна квадратному корню от  $T$ :

$$VAR = P_{t-1} \left( \mu \frac{T}{t} - k_{1-\alpha} \sigma \sqrt{\frac{T}{t}} \right) \quad (4)$$

### ***Определение временного горизонта***

На практике временной горизонт  $T$  выбирается на основе ликвидности, т.е. минимального реального срока, на протяжении которого можно реализовать на рынке данный актив без существенного убытка для предприятия. На практике используют однодневные, недельные и месячные или годовые временные горизонты. В связи с повышенным риском начальных этапов инновационного цикла можно рекомендовать здесь расчеты  $VAR$  с однодневным временным горизонтом. На заключительных этапах цикла в зависимости от целей исследования можно определять временной горизонт на основе ожидаемого горизонта инновационного проекта, периода погашения кредита, срока жизни оборудования, периода до даты истечения договоров и т.п. Из формулы (4) следует, что на долгосрочных горизонтах планирования ( $T \gg t$ ) на величину рискованного капитала оказывает большее влияние ожидаемое значение доходности, а на краткосрочных временных горизонтах ( $T \leq t$ ) - волатильность. Вследствие этого, рассчитывая величину рискованного капитала с горизонтом в один день, для простоты можно приближенно положить:  $\mu = 0$ . В связи с последним замечанием рискованной капитал, рассчитанный по формуле (4), называют абсолютным  $VAR$  [14]. Абсолютный рискованной капитал показывает

чистый убыток, рассчитанный с учетом ожидаемой доходности актива. Относительный рискованный капитал определяется как чистый убыток, вычисленный без учета ожидаемой доходности актива (в условиях нулевой доходности актива). Вследствие этого относительный VAR можно определить по упрощенной формуле:

$$VAR = P_{t-1} k_{1-\alpha} \sigma \sqrt{\frac{T}{t}} \quad (5)$$

### ***Определение доверительной вероятности***

Уровень доверительной вероятности должен быть выбран в зависимости от отношения инвестора к риску, а также в соответствие с регламентирующими документами надзорных органов. Например, органы по банковскому надзору ориентируются на решения Базельского комитета, который рекомендует применять уровень доверительной вероятности, равный 0,99 (99%).

### ***Оценка ожидаемой доходности и волатильности активов***

Оценка ожидаемой доходности активов может быть получена на основе анализа ретроспективных данных.

Для оценки волатильности активов используют два основных подхода:

1. Подход, основанный на анализе ретроспективных данных;
2. Подход, основанный на модели ценообразования опционов.

### ***Подход, основанный на анализе ретроспективных данных***

Согласно данному подходу распределение доходности актива оценивается по ретроспективным данным в предположении, что наблюдения (доходности актива) за  $i$ -ый период  $I_i$  имеют одинаковое распределение и межвременная корреляция между ценами равна нулю. При указанных предположениях ожидаемое значение доходности актива  $\mu$  определяется по формуле:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}, \quad (6)$$

где:  $n$  - число наблюдений доходности актива за прошлые периоды.

Волатильность актива  $\sigma$  можно оценить по формуле оценки стандартного отклонения, измеряющего степень разброса значений случайной величины относительно ожидаемого значения [16]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \mu)^2}{n-1}} \quad (7)$$

При этом предполагается постоянная во времени волатильность  $\sigma$ . Такой метод оценки волатильности называют методом скользящего среднего. Для простоты в формуле (7) полагают  $\mu = 0$ .

Применяют и более сложные модели, учитывающие изменчивость волатильности во времени. В качестве примера использования такой модели в *RISK METRICS* [12] можно привести модель экспоненциального сглаживания. Волатильность, определяемую с учетом ее изменчивости во времени, называют экспоненциально взвешенной волатильностью  $\sigma_{эв}$ . В *RISK METRICS* экспоненциально взвешенная волатильность определяется следующим образом:

$$\sigma_{эв} = \sqrt{\lambda\sigma^2 + (1-\lambda)I_1^2}, \quad (8)$$

где:  $\lambda$  – параметр сглаживания, определяемый из условия  $0 < \lambda < 1$  ;

$I_1$  -наблюдаемая доходность за последний период наблюдения (ближайший к сегодняшней дате расчета VAR).

Как показано в [14] экспоненциально взвешенная волатильность быстрее реагирует на шоковые изменения доходности активов.

### ***Подход, основанный на модели ценообразования опционов***

Сущность данного подхода заключается в использовании фактически сложившихся цен опционов на активы и модели Блека-Шоулса [17] ценообразования опционов для вычисления **предполагаемой волатильности**, отражающей не прошлую динамику цен, а сегодняшние ожидания участников финансовых рынков.

Данный подход имеет следующие основные недостатки:

- поскольку для вычисления предполагаемой волатильности актива используется модель Блека-Шоулса, то ограничения самой модели будут также ограничениями рассматриваемого подхода;
- на финансовых рынках одновременно может существовать множество опционов на один и тот же базовый актив или вообще не оказаться опционов. В первом случае,



рассчитанные предполагаемые волатильности актива по различным опционам могут отличаться. В этом случае необходимо применять процедуры усреднения предполагаемых волатильностей;

- использование данного подхода предполагает наличие эффективного рынка, т.е. рынка, способного быстро и адекватно отражать разнообразную информацию в ценах активов.

Оценим предполагаемую волатильность, используя опцион покупателя со следующими параметрами:

- текущая цена опциона на покупку равна 160 123 у.е.;
- текущая стоимость актива, лежащего в основе опциона, равна 1 827 000 у.е.
- цена исполнения опциона равна 2 100 000 у.е.;
- период до даты истечения опциона составил 254 дня;
- безрисковая процентная ставка непрерывной капитализации равна 9,53% годовых.

Тогда, используя модель Блека-Шоулса и реализованный в пакете EXCEL приближенный метод решения уравнений Ньютона-Рафлсона, значение предполагаемой волатильности доходности актива составит 35,39%.

### ***Особенности дельта-нормального метода оценки VAR для портфеля активов***

Во многих случаях необходимо выполнить расчет рискованного капитала для портфеля активов. В частности, на стоимость инструментов портфеля могут оказывать совместное влияние множество **факторов риска**. Применительно к портфелям финансовых активов к таким факторам риска относят процентные ставки, валютные курсы и др. Оценить совместное влияние факторов риска на стоимость портфеля бывает непросто.

Поэтому **первым шагом** данного метода оценки является процедура декомпозиции портфеля инструментов по факторам риска. Стоимость каждого такого инструмента представляется в виде аналитической зависимости от некоторого выделяемого набора факторов рыночного риска. При этом предполагается, что доходности факторов риска подчинены совместному нормальному распределению вероятностей. Выделение множества факторов риска, влияющих на стоимость инструментов портфеля и при этом отражающих основные источники риска, представляет собой серьезную проблему. При этом выделенные факторы риска, например процентная ставка, могут оказывать различное влияние одновременно на несколько инструментов портфеля. В этой связи на практике выделяют так называемые

**стандартизованные позиции.** Стоимость активов портфеля представляется в виде алгебраической суммы таких позиций. Каждая из стандартизованных позиций должна представлять собой функцию лишь только одного фактора риска и иметь такую же дельта-чувствительность к факторам риска, как и портфель активов. Под дельта-чувствительностью понимают величину изменения стоимости инструмента (актива, портфеля активов, стандартизованной позиции) при бесконечно малом изменении фактора риска. При таком выборе стандартизованных позиций дельта-чувствительности портфеля активов и портфеля стандартизованных позиций к каждому из факторов риска оказываются равными.

Введем следующие обозначения:  $r_1, r_2, \dots, r_n$  - выделенные факторы риска;  $S_1, S_2, \dots, S_n$  - выделенные стандартизованные позиции;  $V = S_1 + S_2 + \dots + S_n$  - стоимость портфеля активов.

Используя правило выделения стандартизованных позиций, а также разложение функции  $V$  в ряд Тейлора в окрестности ее текущего значения, можно записать следующие соотношения:

$$\Delta V \approx \sum_{i=1}^n \frac{\partial V(r_1, \dots, r_n)}{\partial r_i} \Delta r_i = \sum_{i=1}^n \frac{\partial S_i(r_i)}{\partial r_i} \Delta r_i, \quad (9)$$

где:  $\Delta V, \Delta r_i$  - приращения стоимости портфеля и  $i$ -ого фактора риска соответственно.

Рассмотрим особенности выделения основных факторов риска и соответствующих стандартизованных позиций на двух примерах.

В качестве первого примера рассмотрим валютный своповый контракт на поставку через один год партии долларов США. Объем поставки составляет  $A$  долларов США в обмен на получение  $B$  единиц российских рублей. На момент заключения контракта спотовый обменный курс составил  $C$  рублей за один доллар. Годовые процентные ставки по депозитам продолжительностью один год на момент подписания контракта составляют:

- по рублевым депозитам -  $I_p$  процентов годовых;
- по долларовым депозитам -  $I_s$  процентов годовых.

Нетрудно выделить три основные фактора риска, влияющие на стоимость контракта:

1. Процентная ставка по рублевым депозитам, т.е.  $r_1 = I_p$ ;
2. Процентная ставка по долларовым депозитам, т.е.  $r_2 = I_s$ ;
3. Обменный курс  $r_3$ .

Текущая рыночная стоимость свопового контракта может быть оценена по формуле[14]:

$$V_{\text{контракта}} = C \cdot \frac{A}{1+I_s} - \frac{B}{1+I_p} \quad (10)$$

Используя рассмотренные правила выделения стандартизованных позиций, на основе (10) нетрудно определить следующие три стандартизованные позиции:

1.  $S_1 = r_3 \frac{A}{1+I_s}$ ;
2.  $S_2 = C \frac{A}{1+r_2}$ ;
3.  $S_3 = -\frac{B}{1+r_1}$ .

В качестве второго примера рассмотрим денежный поток по инновационному проекту в году  $t$  его реализации (начало серийного производства и продаж инновационной продукции). При отсутствии финансового рычага модель денежного потока для года  $t$  проекта может быть записана в следующей укрупненной форме [18-19]:

$$CF_t = P_t \cdot Q_t - I_t - \Delta D_t - AVC_t \cdot Q_t - TFC_t + \Delta K_t - TAXES_t, \quad (11)$$

где:  $CF_t$  - денежный поток в году  $t$  реализации проекта;

$P_t, Q_t, I_t, \Delta D_t$  - соответственно цена единицы продукции, объем продаж в натуральных единицах, инвестиционные затраты и изменение дебиторской задолженности в период  $t$ ;

$AVC_t, TFC_t, \Delta K_t, TAXES_t$  - соответственно переменные затраты на единицу инновационной продукции, постоянные затраты, изменение кредиторской задолженности перед поставщиками, налоги выплаченные в период  $t$ .

Тогда интегральный показатель эффективности проекта (чистый дисконтированный доход)  $NPV$  может быть представлен в виде:

$$NPV = \sum_{t=0}^T CF_t^{\circ} = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+I)^t}, \quad (12)$$

где:  $T$  - число шагов расчета в рамках срока реализации инновационного проекта;

$CF_t^{\circ}$  - дисконтированный денежный поток для шага  $t$  проекта;

$I$  - применяемая норма дисконта, определяемая, например, методом WACC.

Выделим в модели (12) следующие четыре основных фактора риска, характерные для инновационных проектов России: ставка дисконтирования ( $r_1$ ), цена единицы продукции ( $r_2$ ), объем продаж ( $r_3$ ), изменение дебиторской задолженности ( $r_4$ ). Положим, для простоты, что

остальные величины не носят случайный характер. Допустим также, что каждый отдельный фактор риска не коррелирует между собой во времени.

Теперь выделим 4-е стандартизованные позиции для представления дисконтированного денежного потока для шага  $t$  проекта:

$$1. S_1 = \frac{P_t \cdot Q_t - I_t - \Delta D_t - AVC_t \cdot Q_t - TFC_t + \Delta K_t - TAXES_t}{(1+r_1)^t};$$

$$2. S_2 = \frac{r_2 \cdot Q_t - I_t - \Delta D_t - AVC_t \cdot Q_t - TFC_t + \Delta K_t - TAXES_t}{(1+I)^t};$$

$$3. S_3 = \frac{(P_t - AVC_t) \cdot r_3 - I_t - \Delta D_t - TFC_t + \Delta K_t - TAXES_t}{(1+I)^t};$$

$$4. S_4 = \frac{(P_t - AVC_t) \cdot Q_t - I_t - r_4 - TFC_t + \Delta K_t - TAXES_t}{(1+I)^t}.$$

Все параметры в правой части формул, за исключением факторов риска и параметра времени, представляют собой ожидаемые прогнозные величины.

Вычислив на последующих шагах метода волатильность дисконтированного денежного потока на каждом из шагов проекта  $\sigma_t$ , нетрудно оценить волатильность чистого дисконтированного дохода  $\sigma_{NPV}$  по формуле:

$$\sigma_{NPV} = \sqrt{\sum_{t=1}^n \sigma_t^2} \quad (13)$$

Если предположить, что  $\sigma_1 = \sigma_2 = \dots = \sigma_n = \sigma$ , тогда из (13) следует:

$$\sigma_{NPV} = \sigma \sqrt{n} \quad (14)$$

Последняя формула является подтверждением известного факта, заключающегося в том, что волатильность портфеля некоррелируемых активов уменьшается с ростом числа активов в сравнении с волатильностью портфеля с положительно коррелируемыми активами.

На **втором шаге** дельта-нормального метода оцениваются коэффициенты корреляции между факторами риска. Также здесь оценивается волатильность факторов риска одним из рассмотренных методов.

На **третьем шаге** оцениваются волатильности стандартизованных позиций и определяются коэффициенты корреляции между ними.

Корреляции между доходностями стандартизованных позиций совпадают по абсолютной величине с корреляциями между доходностями факторов риска. Если значения фактора риска и соответствующие значения стандартизованной позиции меняются в разных направлениях, тогда

значения коэффициентов корреляции между стандартизованными позициями необходимо умножить на минус единицу. Например, если  $\frac{\partial S_i(r_i)}{\partial r_i} \cdot \frac{\partial S_j(r_j)}{\partial r_j} < 0$ , тогда корреляция между доходностями стандартизованных позиций противоположна по знаку корреляции между доходностями соответствующих рыночных факторов  $r_i, r_j$ .

Волатильности стандартизованных позиций  $\sigma_{S_i}$  могут быть оценены по следующей приближенной формуле [14]:

$$\sigma_{S_i} \approx \left| \frac{\partial S_i}{\partial r_i} \cdot \frac{1}{S_i} \cdot r_i \cdot \sigma_{r_i} \right| = \left| D_i^{mod} \cdot r_i \cdot \sigma_{r_i} \right| \quad (15)$$

где:  $| \cdot |$  - функция определения абсолютной величины;

$\sigma_{r_i}$  - волатильность  $i$ -ого фактора риска;

$D_i^{mod}$  - модифицированная дюрация стандартизованной позиции по  $i$ -ому фактору риска.

На последнем **четвертом шаге** дельта-нормального метода окончательно вычисляется волатильность портфеля активов, совпадающая с волатильностью портфеля стандартизованных позиций:

$$\sigma_{портфеля} = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2 \sigma_{S_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1(j \neq i)}^n S_i S_j k_{ij} \sigma_{S_i}^2 \sigma_{S_j}^2} \quad (16)$$

где:  $k_{ij}$  - коэффициенты корреляции между доходностями стандартизованных позиций  $i, j$  соответственно.

Теперь, используя выражение (16), нетрудно вычислить величину относительного VAR портфеля активов с временным горизонтом  $T$ :

$$VAR_{портфеля} = k_{1-\alpha} \sigma_{портфеля} \sqrt{\frac{T}{t}} \quad (17)$$

Недостатки дельта-нормального метода оценки рискового капитала:

1. Сложность выделения стандартизованных позиций и определения функциональных зависимостей таких позиций от основных факторов риска. Кроме того, такие функциональные зависимости должны быть представлены в виде непрерывно дифференцируемых функций;
2. На практике в распределениях доходностей многих активов наблюдаются существенные отклонения от нормального (предполагаемого методом) распределения. Особенно это относится к краям распределений. Эта проблема получила название

«толстых хвостов». Вследствие этого, оценки рискового капитала, вычисленные на основе дельта-нормального метода, оказываются искаженными;

3. Вероятности редких негативных событий, например событий дефолта, могут быть вообще не учтены данным методом, поскольку информация о реализации таких событий может не быть представлена в исторических данных. Именно на основе исторических данных чаще всего и оцениваются значения коэффициентов корреляции и волатильности факторов риска, оказывающих прямое влияние на величину рискового капитала;
4. Значения некоторых факторов риска для инновационных проектов могут оказаться ненаблюдаемыми. Например, могут отсутствовать данные об объемах продаж инновационной продукции и ценах. В этом случае для оценки коэффициентов корреляции между факторами риска можно воспользоваться данными по проектам аналогам;
5. Низкая точность оценки риска опционов. Данный метод позволяет оценить чувствительность стоимости опциона к факторам риска только посредством коэффициента «Дельта». Вместе с тем для опционов характерна чувствительность их стоимости к изменению волатильности базисного актива и др. факторам риска.

Указанные недостатки не позволяют рекомендовать использовать дельта-нормальный метод в качестве основного метода оценки рискового капитала в инновационных проектах.

### ***Оценка корреляции между факторами риска***

Для оценки корреляции между факторами риска или активами портфеля используют методы анализа ретроспективных данных, применяемые для оценки волатильности. К ним можно отнести:

- метод скользящего среднего;
- метод экспоненциально взвешенного среднего.

Например, используя метод скользящего среднего, прогнозируемая ковариация между доходностями двух факторов риска  $i$  и  $j$   $\text{cov}_{ij}$  в предположении, что их ожидаемые значения доходностей равны нулю, вычисляется по следующей формуле [16]:

$$\text{cov}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n I_k^i I_k^j}{n-1} \quad (18)$$

где  $n$  - число наблюдений доходности актива (фактора риска) за прошлые периоды;

$I_i$  - наблюдаемая доходность актива (фактора риска) за  $i$ -ый период

Экспоненциально взвешенная ковариация  $\text{cov}_{ij}^{\text{эв}}$ , чутко реагирующая на шоковые изменения доходностей активов (факторов риска), в *RISK METRICS* определяется следующим образом:

$$\text{cov}_{ij}^{\text{эв}} = \lambda \cdot \text{cov}_{ij} + (1 - \lambda) I_1^i I_1^j \quad (19)$$

$I_1^i$  -наблюдаемая доходность  $i$ -ого актива (фактора риска) за последний период наблюдения (ближайший к сегодняшней дате расчета *VAR*);

$\lambda$  – параметр сглаживания, определяемый из условия  $0 < \lambda < 1$ .

Окончательные прогнозные значения коэффициентов корреляции между доходностями активов (факторов риска) могут быть получены по формуле [16]:

$$k_{ij} = \frac{\text{cov}_{ij}}{\sigma_i \sigma_j} \quad (20)$$

где:  $\sigma_i, \text{cov}_{ij}$  - соответственно прогнозная волатильность  $i$ -ого актива (фактора риска) и прогнозная ковариация доходностей между  $i$ -ым и  $j$ -ым активом (фактором риска), оцененные тем или иным методом.

## 1.2. Оценка VAR методом исторического моделирования

Метод исторического моделирования основан на неизменности исторического совместного распределения факторов риска и доходности портфеля активов в течение ближайшего будущего периода. При оценке рискового капитала используется историческое распределение доходности активов (факторов риска). Вычисление *VAR* предполагает прохождение следующих этапов.

На **первом этапе** определяются основные факторы риска, влияющие на рыночную стоимость актива (портфеля активов). Содержание данного этапа, в сущности, отличается от первого этапа дельта-нормального метода тем, что здесь не требуется выделение стандартизованных позиций.

На **втором этапе** сначала выбирается глубина ретроспективы или исторический период (например,  $N$  рабочих дней), а затем фиксируются реальные наблюдаемые значения факторов риска и их изменения в течение каждого рабочего дня (другого единичного периода) на протяжении всего исторического периода.

На **третьем этапе** метода на основе наблюдаемых изменений факторов риска за каждый единичный период времени прогнозируются гипотетические (возможные) значения таких факторов и на этой основе вычисляются гипотетические изменения стоимости актива (портфеля активов). Пример прохождения 2-ого и 3-его этапа представлен в таблице 1. Здесь приведены наблюдаемые и гипотетические данные по рассмотренному ранее своповому контракту, предусматривающему обмен 1000\$ США на 28 000 руб к концу года.

Таблица 1

## Пример оценки VAR методом исторического моделирования

	Факторы риска			Стоимость свопового контракта, руб
	Процентная ставка по долларovým депозитам, %	Процентная ставка по рублевым депозитам, %	Обменный курс	
Реальные значения на текущий день	5,5	9,5	28,0	969,5
Наблюдаемые значения на 0-ой день	5,45	9,4	28,05	
Наблюдаемые значения на 1-ый день	5,45	9,4	27,95	
Процентные изменения между 0-ым и 1-ым днями, %	0	0	-0,36	
Гипотетические значения на день 1	5,5	9,5	27,899	873,77
Гипотетические изменения стоимости свопового контракта за один день (день 1), гипотетическая дневная прибыль или убыток				-95,73



На данном шаге сначала определяются темпы изменения значений факторов риска (процентные изменения между нулевым и первым днями, между вторым и третьим днями и т.д.). Далее определяется индекс роста значений факторов риска путем прибавления единицы к значениям полученных темпов. Путем умножения значений найденных индексов роста на реальные значения соответствующих факторов риска на текущий день определяются их гипотетические (предполагаемые) дневные значения. И, наконец, на основе реальных значений на текущий день и вычисленных гипотетических значений факторов риска на основе (10) вычисляются гипотетическое значение стоимости свопового контракта и его реальное значение на текущий день. По разности гипотетического и реального значений определяется гипотетическая дневная прибыль (убыток).

Рассмотренные вычисления повторяются  $N$  раз для каждого дня во временном ряду. При этом используются реальные значения факторов риска на текущий день (день вычисления  $VAR$ ) и процентные их изменения на каждый день во временном ряду.

На **последнем шаге** метода, полученные  $N$  значений гипотетических изменений стоимости портфеля активов ранжируются в порядке убывания значений (от наибольшего прироста до наименьшего убытка). Поскольку инвестора, прежде всего, интересуют возможные убытки, то любые положительные значения прироста стоимости портфеля в выборке размерностью  $N$  могут быть заменены нулевыми значениями. На основе последней выборки нетрудно оценить величину рискованного капитала. Предположим, что  $N = 100$ , тогда величина рискованного капитала с уровнем доверительной вероятности  $1 - \alpha$ , равным 95% совпадает со значением 5-ого элемента с конца полученной выборки.

При произвольном значении доверительной вероятности  $1 - \alpha$ , а также произвольном значении исторического периода  $N$ , определить номер необходимого элемента с начала полученной выборки  $k$  можно по следующей формуле:

$$k = \left\lceil \frac{(1 - \alpha) \cdot N}{100} \right\rceil \quad (21)$$

где:  $\lceil \cdot \rceil$  - операция округления до целого в большую сторону.

При применении метода исторического моделирования часто используют длинные временные ряды (до пяти лет). Это позволяет, в какой то мере, снизить вероятность ошибок результата вследствие недостаточности исторических данных. Однако при этом уменьшается удельный вес недавних наблюдений и, как следствие, снижается точность оценивания величины  $VAR$ . Частичное решение данной проблемы возможно при использовании так

называемого гибридного метода [12]. Его сущность состоит в придании большего веса недавним наблюдениям, чем тем, которые сделаны давно. Величина веса наблюдения периода  $t - j$ , где  $j = 1, \dots, k$  во временном ряду, который состоит из  $K$  наблюдений, определяется по формуле:

$$w_{t-j} = \frac{(1-\lambda)\lambda^j}{1-\lambda^K} \quad (22)$$

где рекомендованное значение параметра  $\lambda$  равно 0,98.

При использовании гибридного метода к построенному эмпирическому ряду прибыльностей применяют убывающие веса  $w_{t-j}$ . Вес, который придан наблюдению периода  $t - j$ , приравнивается вероятности наблюдения значения случайной переменной прибыльности.

Для нахождения необходимого значения *VAR* суммируются веса  $w_{t-j}$  в соответствие с отсортированными значениями прибыльности до тех пор, пока не будет достигнуто требуемое значение доверительной вероятности  $1 - \alpha$ .

К достоинствам метода исторического моделирования относят [14]:

- отсутствие предположений, о каком либо виде распределений доходности активов портфеля, кроме предположения неизменности исторического совместного распределения факторов риска и доходности портфеля активов в течение ближайшего будущего периода. Это устраняет проблему «толстых хвостов»;
- простота полной переоценки стоимости портфеля, которая осуществляется по историческим сценариям;
- учет всех основных факторов риска и их корреляционных взаимосвязей в динамике цен активов;
- приемлемая во многих случаях точность оценки нелинейных инструментов.

Однако у данного метода есть следующие основные недостатки:

- высокая вероятность ошибок при малой глубине ретроспективы, с одной стороны, «устаревание» информации при слишком большой глубине ретроспективы, с другой стороны. Использование «устаревшей» информации снижает точность оценивания *VAR*. Найти такую глубину ретроспективы, при которой достигается компромисс между высокой вероятностью ошибок и снижением точностью оценивания сложно;
- недостаточно информации о наблюдаемых значениях некоторых из факторов инновационного риска. Например, при отсутствии информации о проектах-аналогах у оценщика может не оказаться необходимого массива данных о ценах и объемах продаж продукции, дебиторской задолженности и пр.;

- наблюдаемые значения факторов риска в прошлом не всегда могут быть использованы для прогноза будущего развития событий.

Отмеченные недостатки также не позволяют рекомендовать использовать метод исторического моделирования в качестве основного метода оценки рисков капитала в инновационных проектах.

### 1.3. Оценка VAR методом имитационного моделирования

Метод имитационного моделирования основан на исследовании случайных процессов<sup>1</sup> с известными характеристиками [14]. При использовании метода стохастического имитационного моделирования изменения основных факторов риска генерируются с использованием ЭВМ на основе датчика псевдослучайных чисел в соответствии с задаваемыми параметрами распределения. В результате имитируемого распределения вероятностей образуются множества реализаций случайных процессов или сценариев его будущего развития (под процессом вполне можно понимать инновационный проект).

#### *Особенности имитационного моделирования оценки VAR для одного актива*

Рассмотрим особенности использования метода имитационного моделирования оценки VAR одного актива или воздействия одного фактора **рыночного** риска.

На первом шаге метода с целью моделирования динамики цены актива задается вид случайного процесса. Определение вида случайного процесса представляет собой важную задачу. Ошибки, допущенные на данной стадии, выражаются в модельном риске или риске неадекватности модели. В настоящее время для моделирования динамики цен активов и процентных ставок применяются несколько разновидностей случайных процессов [14]:

- модель геометрического броуновского движения;
- модель Орнштейна-Уленбека;
- модель Васичека;
- модель Кокса-Ингерсолла-Росса;
- модель Хо-Ли;
- модель Халла-Уайта и др.

---

<sup>1</sup> Случайным процессом называют множество случайных величин, определенных на дискретном или непрерывном множестве времени. Детерминированная функция времени, получаемая на основе случайного процесса путем фиксации значений его каждого случайного события, называется реализацией случайного процесса (сценарием будущего развития или траекторией процесса).

Часть этих моделей (например, модели геометрического броуновского движения, Орнштейна-Уленбека и др.) применяется в основном для описания динамики цен активов. Другая часть моделей (например, модели Васичека, Халла-Уайта и др.) используется в основном для описания динамики цен процентных ставок.

После определения вида случайного процесса определяются его параметры. Как правило, параметры процесса оцениваются на основе метода регрессионного анализа. Линейное регрессионное уравнение для оценки параметров процесса может быть представлено в следующем виде:

$$S_t - S_{t-1} = c + b \cdot S_{t-1} + e_t \quad (23)$$

где:  $S_t$  - стоимость актива к моменту  $t$ ;

$b, c$  - коэффициенты регрессии модели;

$t$  - наблюдаемые моменты времени;

$e_t$  - отклонения изменений наблюдаемых цен от изменений расчетных величин.

Например, модель геометрического броуновского движения может быть представлена в следующем виде:

$$S_t - S_{t-1} = S_{t-1}(\mu \cdot \Delta t + \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t}) \quad (24)$$

где:  $\Delta t$  - продолжительность интервала между соседними наблюдениями цены актива;

$\varepsilon$  - случайный шок, представленный в виде нормированной нормально распределенной случайной величины;

$\mu, \sigma$  - параметры случайного процесса (математическое ожидание и волатильность), оцениваемые методом регрессионного анализа.

Модель Орнштейна-Уленбека предусматривает возвращение цен актива к некоторому среднему уровню, называемому уровнем долгосрочного равновесия (параметр  $\mu$  модели). Скорость возвращения к уровню долгосрочного равновесия определяется другим параметром  $\alpha$  модели. Свойство возвращения цен к среднему используется для моделирования циклически повторяющихся экономических процессов. Модель Орнштейна-Уленбека может быть записана следующим образом:

$$S_t - S_{t-1} = \alpha(\mu - S_{t-1})\Delta t + \sigma \varepsilon \sqrt{\Delta t} \quad (25)$$

Процесс Орнштейна-Уленбека является предельным случаем авторегрессивного случайного процесса первого порядка [14] и может быть представлен в следующем дискретном виде:

$$S_t = e^{-\alpha} S_{t-1} + \mu(1 - e^{-\alpha}) + \varepsilon_t \quad (26)$$

где:  $\varepsilon_t$  - случайная величина, имеющая нормальное распределение с математическим ожиданием, равным нулю и стандартным отклонением  $\sigma$ .

На следующем втором шаге метода задается число шагов  $N$ , необходимых для вычисления одного любого сценария будущего развития процесса (траектории). На каждом таком шаге  $t$  на основе выбранной модели динамики цен имитируется изменение стоимости актива. Например, модель геометрического броуновского движения (24) может быть записана в эквивалентной форме:

$$\begin{cases} S_0 = S \\ S_t = S_{t-1}(1 + \mu \cdot \Delta t + \sigma \cdot \varepsilon_t \sqrt{\Delta t}), t = 1, 2, \dots, N \end{cases} \quad (27)$$

где:  $\varepsilon_t$  - множество независимых нормированных нормально распределенных случайных величин;

$$\Delta t = \frac{1}{N};$$

$S$  - текущая наблюдаемая стоимость актива.

На основе (27) или другой принятой модели вычисляются моделируемые цены  $S_1, S_2, \dots, S_N$ , и окончательно определяется прибыльность (убыток), соответствующий одному текущему сценарию развитию событий, по формуле:

$$\Delta S = S_N - S \quad (28)$$

Найденные значения прибыльности (убытка) сохраняются в числовом массиве. Размерность такого массива должна совпадать с числом имитационных экспериментов  $K$ . Для обеспечения приемлемой точности вычислений, такое число должно быть достаточно большим и определяться точностью исходных данных, сложностью оцениваемых активов.

Независимые нормированные нормально распределенные случайные числа могут быть получены методами моделирования псевдослучайных чисел [20-23] с помощью компьютерных программ ЭВМ. Выборочные значения случайных величин называют также псевдослучайными числами. Например, 2-а независимых нормированных нормально распределенных псевдослучайных числа  $a, b$  могут быть получены по следующим формулам [22]:

$$a = \sqrt{-2 \ln(x)} \cdot \cos(2\pi y) \quad (29)$$

$$b = \sqrt{-2 \ln(x)} \cdot \sin(2\pi y) \quad (30)$$

где:  $x, y$  - пара независимых равномерно распределенных на отрезке  $0,1$  псевдослучайных числа.

На третьем шаге метода осуществляется повторение всех вычислений 2-ого шага  $K$  раз.

На заключительном четвертом шаге метода все вычисления повторяют расчеты последнего шага метода исторического моделирования с построенным массивом прибыльностей (убытков).

### ***Особенности имитационного моделирования оценки VAR для портфеля активов***

Моделирование изменения стоимости портфеля активов на основе изменений стоимостей его активов (факторов риска) осуществляется на основе выбранных моделей динамики цен отдельных факторов  $j$ . Предположим, что на стоимость портфеля активов оказывают влияние  $r$  случайных коррелируемых между собой факторов. Для простоты также положим, что модель динамики цены каждого фактора риска представлена геометрическим броуновским движением:

$$\begin{cases} S_0^j = S^j, j = 1, \dots, r \\ S_t^j - S_{t-1}^j = S_{t-1}^j (\mu_j \cdot \Delta t + \sigma_j \varepsilon_j \sqrt{\Delta t}), t = 1, \dots, N \end{cases} \quad (31)$$

где:  $S_t^j$  - стоимость  $j$ -ого актива (фактора риска) в момент времени  $t$ ;

$S^j$  - наблюдаемая текущая стоимость  $j$ -ого актива (фактора риска);

$\mu_j, \sigma_j$  - математические ожидания и волатильности  $j$ -ого фактора риска;

$\varepsilon_j$  - коррелируемые нормированные нормально распределенные случайные величины.

### ***Моделирование коррелируемых случайных величин***

Предположим, что оцененные коэффициенты корреляции рассматриваемых случайных величин представлены корреляционной матрицей  $\|k_{ij}\|$ . Тогда имитационное моделирование коррелируемых случайных величин проводят на основе разложения Холецкого [14] по следующему алгоритму.

На первом шаге алгоритма получают  $r$  выборочных значений нормированных независимых нормально распределенных случайных величин. Пусть такие значения представлены следующим вектором выборочных значений:  $\tilde{\eta}_1, \tilde{\eta}_2, \dots, \tilde{\eta}_r$ .

На втором заключительном шаге алгоритма получения коррелируемых псевдослучайных величин  $\tilde{\varepsilon}_j, j = 1, \dots, r$  для каждой пары  $i, j$  таких величин определяют их выборочные значения путем перемножения множителя Холецкого на вектор независимых псевдослучайных величин:

$$\begin{bmatrix} \tilde{\varepsilon}_i \\ \tilde{\varepsilon}_j \end{bmatrix} = X \cdot \begin{bmatrix} \tilde{\eta}_i \\ \tilde{\eta}_j \end{bmatrix} \quad (32)$$

Множитель Холецкого представлен следующей квадратной матрицей:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & \dots & \dots & 0 \\ k_{ij} & \dots & \dots & \sqrt{1 - k_{ij}^2} \end{bmatrix} \quad (33)$$

где:  $k_{ij}$  -коэффициенты корреляции между случайными величинами  $\varepsilon_i$  и  $\varepsilon_j$ .

Таким образом, на основе разложения Холецкого (32)-(33) коррелируемые псевдослучайные числа могут быть получены по следующим формулам:

$$\begin{cases} \tilde{\varepsilon}_i = \tilde{\eta}_i \\ \tilde{\varepsilon}_j = k_{ij}\tilde{\eta}_i + \tilde{\eta}_j\sqrt{1 - k_{ij}^2} \end{cases} \quad (34)$$

#### ***Алгоритм имитационного моделирования оценки VAR портфеля активов***

Вычислив на основе (31),(34) стоимости активов (факторов риска) на шагах  $1, 2, \dots, N$  текущего сценария будущего развития процесса, нетрудно вычислить стоимости портфеля активов данного сценария  $S_1, \dots, S_N$ . При этом на каждом шаге используется либо простое алгебраическое суммирование стоимостей активов либо выражение типа (10), определяющее зависимость стоимости портфеля от рассматриваемых факторов риска. На основе выражения (28) возможно нахождение прибыльности (убытка) портфеля  $\Delta S$ , соответствующего текущему сценарию развитию событий. Значения прибыльности (убытка) портфеля должны сохраняться в массиве. Далее все вычисления совпадают с вычислениями рассмотренного метода имитационного моделирования оценки VAR одного актива, начиная с третьего шага.

Рассмотренный метод имитационного моделирования оценки VAR считается наиболее точным и универсальным [14]. Он обеспечивает достаточно высокую точность к нелинейным инструментам, например опционам. На основе данного метода можно моделировать практически любые вероятностные распределения, в том числе скачки цен, возвращение цен к среднему значению и т.п.

Однако у метода имитационного моделирования имеются следующие недостатки:

- высокая сложность построения математических моделей динамики цен активов (факторов риска) и, как следствие, высокий модельный риск или риск неадекватности модели;
- недостаточность наблюдаемых значений стоимостей активов (факторов риска), необходимых для корректной оценки их волатильности и коэффициентов корреляции. Например, если включать в состав портфеля активов инновационного проекта опцион на досрочное прекращение проекта, то стоимость такого реального опциона будет не наблюдаема;
- в виду необходимости проведения достаточно большого числа имитационных экспериментов в ходе расчетов значений *VAR* возникает необходимость составления и отладки дорогостоящих компьютерных программ автоматизации таких расчетов.

## **2. Оценка *VAR* начальных этапов инновационного проекта методом имитационного моделирования**

### **2.1. Алгоритм оценки *VAR* начальных этапов инновационного проекта**

В работах [24-26] рассматриваются основные факторы инновационного риска. Следствием воздействия таких факторов является:

1. Досрочное прекращение проекта. В этом случае, величина ущерба определяется разностью между фактически понесенными затратами с момента начала работ по проекту до его прекращения и полученной ликвидационной стоимостью;
2. Превышение ожидаемых проектных затрат. Величина ущерба здесь определяется разностью между фактическими и запланированными ожидаемыми (установленными) затратами;
3. Превышение ожидаемых сроков окончания проекта (этапа). Величина ущерба в этом случае определяется предусмотренными штрафными санкциями в течение периода фактического превышения ожидаемого (установленного) срока завершения проекта (этапа).

В каждом из перечисленных случаев величина ущерба представляет собой случайную величину, определяемую случайным процессом. Зная модель такого процесса, можно оценить величины рискованного капитала от воздействия факторов риска в каждом из трех рассматриваемых случаев  $VAR_i$ . На наш взгляд, наиболее приемлемой моделью такого случайного процесса, учитывающей влияние рассмотренного многообразия инновационных



факторов, является модель бизнес-процесса, построенная на основе стохастических графов с циклами[1]. Рассмотренный в работах [1-2] метод анализа стохастических графов с циклами, основанный на имитационном стохастическом моделировании, позволяет:

- оценить ожидаемые издержки и сроки окончания инновационного проекта (этапа проекта);
- оценить показатели риска проекта (этапа проекта): стандартное отклонение, коэффициент вариации, вероятность досрочного прекращения проекта;
- определить выборочные значения функций плотности и распределения вероятностей издержек и сроков проекта (этапов проекта) и на этой основе построить гистограммы профиля риска и кумулятивного профиля риска издержек и сроков проекта (этапа проекта).

Для оценки *VAR* можно воспользоваться данным алгоритмом, модифицируя его с учетом особенностей вычисления *VAR*. Такой модифицированный алгоритм включает следующие основные шаги.

На первом шаге алгоритма проектировщиком задается временной горизонт расчета рискового капитала  $T$  и составляется стохастический граф (СГ) работ инновационного проекта (этапа проекта). Например, если этап проведения предварительных исследований завершен и принято решение о начале освоения нового фармацевтического препарата, то составляется стохастический граф работ последующего этапа (этапов) «Разработка документации, проведение испытаний и регистрация препарата».

На втором шаге алгоритма осуществляется генерация сценариев будущего развития инновационного проекта на основе метода имитационного моделирования, изложенного в работе [1]. Однако, при этом в п.13,14 данного алгоритма требуется внести следующие изменения, учитывающие особенность вычисления *VAR* за период  $T$ :

- п.13 алгоритма должен быть записан в следующем виде: «Срок окончания проекта принять равным наименьшему (более раннему) из следующих сроков:
  1. Ранний срок события завершения проекта;
  2. Временной горизонт расчета  $T$  »;
- в п.14 необходимо записать: «Срок окончания проекта принять равным более раннему из следующих сроков:
  1. Ранний срок свершения события отказа от проекта;
  2. Временной горизонт расчета  $T$  ».

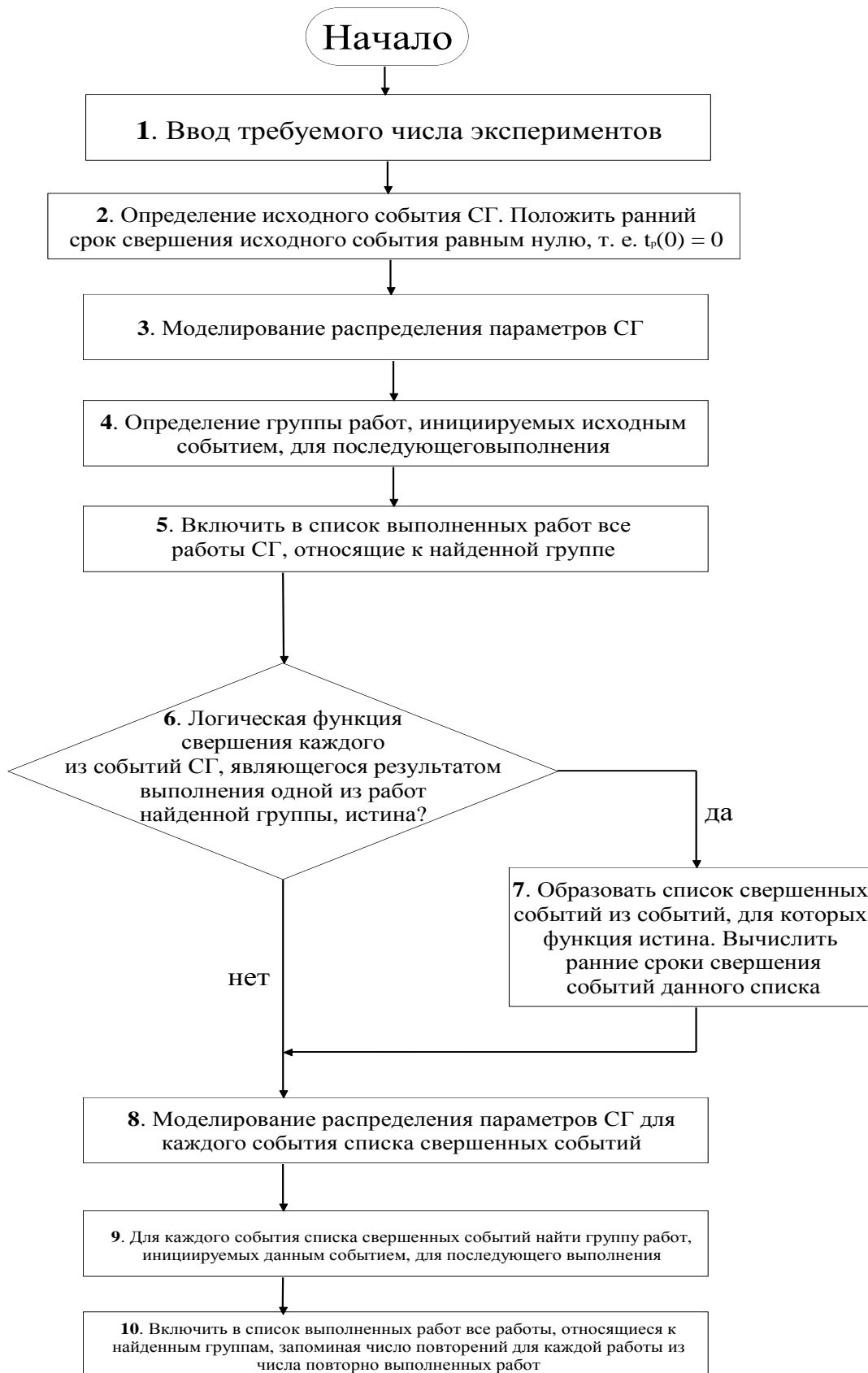
В результате выполнения алгоритма построено  $N$  сценариев будущего развития проекта за период  $T$  ( $N$  - число имитационных экспериментов). Часть таких сценариев будут заканчиваться досрочным прекращением проекта. Вероятность досрочного прекращения проекта  $P_n$  определяется по формуле:

$$P_n = \frac{m}{N} \quad (35)$$

Где:  $m$  - число сценариев, которые заканчиваются досрочным прекращением проекта.

Другая же часть сценариев, реализованных с вероятностью  $1 - P_n$ , заканчивается успешным завершением проекта (этапа проекта) или окончанием временного горизонта.

Поэтому на последнем шаге алгоритма необходимо вычислить величину  $VAR$  от воздействия факторов инновационного риска для каждого из рассматриваемых случаев. Укрупненный алгоритм оценки  $VAR$  начальных этапов инновационного проекта представлен на рис. 1.



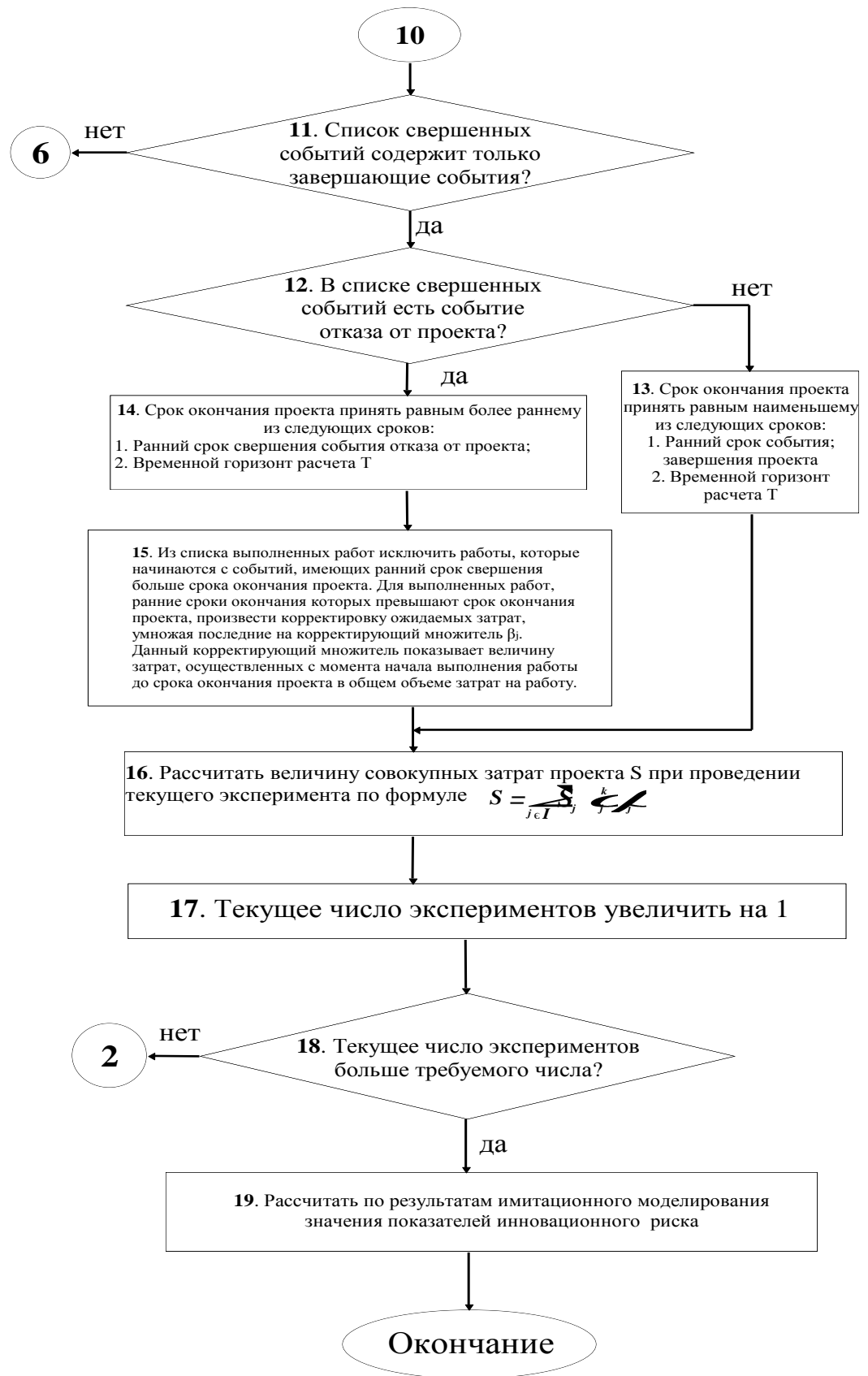


Рис. 1 Алгоритм оценки VAR начальных этапов инновационного проекта

Рассмотрим методические особенности оценки рискового капитала от воздействия факторов риска в каждом из трех рассматриваемых случаев.

## **2.2. Методические особенности оценки рискового капитала**

### ***Оценка VAR от воздействия факторов риска, приводящих к досрочному прекращению проекта***

Поскольку здесь осуществляется оценка VAR от воздействия лишь тех факторов риска, которые приводят к досрочному прекращению проекта, в выборке из  $N$  сценариев возможного ущерба не предвидится в  $N-m$  случаях. Таким образом, совокупная выборка значений убыточности будет включать  $m$  элементов убытка вследствие прекращения проекта (вычисленные совокупные издержки сценария за вычетом ликвидационной стоимости<sup>2</sup>) и  $N-m$  нулевых элементов. Вычисления окончательной оценки VAR на основе полученной выборки повторяют расчеты последнего шага метода исторического моделирования.

### ***Оценка VAR от воздействия факторов риска, приводящих к превышению ожидаемых (установленных) проектных затрат***

Предположим, что проект не может быть остановлен вследствие того, что фактически произведенные затраты окажутся больше ожидаемых величин. В противном случае, необходимо произвести перестроение стохастического графа с учетом таких условий.

Сначала необходимо исключить из полученной выборки  $m$  сценариев, приводящих к досрочному прекращению проекта.

Затраты по проекту могут быть директивно установлены руководством или определяться на основе оценки ожидаемых затрат методом имитационного моделирования. Для простоты рассмотрим второй случай. Используя алгоритм оценки инновационного риска [1], можно оценить величину ожидаемых затрат  $S_{ож}$  для тех сценариев будущего развития проекта, которые заканчиваются успешным завершением или окончанием временного горизонта, по следующей формуле:

$$S_{ож} = \frac{1}{(N-m)} \sum_{i=1}^{N-m} S_i \quad (36)$$

Где:  $S_i$  - совокупные затраты  $i$ -ого сценария будущего развития проекта, который заканчивается его успешным завершением или окончанием временного горизонта.

---

<sup>2</sup> Совокупные издержки должны определяться нарастающим итогом с момента начала реализации проекта

Ущерб от воздействия данных факторов риска не предвидится в  $m$  случаях. Таким образом, совокупная выборка значений убыточности будет включать  $N - m$  элементов убытка (прибыльности) вследствие превышения (занижения) ожидаемых затрат (вычисленные совокупные издержки сценария за вычетом величины ожидаемых затрат) и  $m$  нулевых элементов. Вычисления окончательной оценки  $VAR$  на основе полученной выборки повторяют расчеты последнего шага метода исторического моделирования.

***Оценка VAR от воздействия факторов риска, приводящих к превышению ожидаемых (установленных) сроков окончания этапов проекта***

Сроки окончания проекта (этапа проекта) могут быть директивно установлены руководством, нормативными документами или определяться на основе оценки ожидаемых сроков окончания методом имитационного моделирования. Для простоты рассмотрим последний случай. Используя алгоритм оценки инновационного риска, можно оценить величину ожидаемого срока окончания проекта  $T_{о.ж.}$  для тех сценариев будущего развития, которые заканчиваются успешным завершением, по следующей формуле:

$$T_{о.ж.} = \frac{1}{(N - m)} \sum_{i=1}^{N-m} T_i \quad (37)$$

Где:  $T_i$  - срок окончания  $i$ -ого сценария будущего развития проекта (этапа проекта), который заканчивается его успешным завершением.

Ущерб от воздействия данных факторов риска не предвидится в  $m$  случаях. Таким образом, совокупная выборка значений убыточности будет включать  $N - m$  элементов убытка (прибыльности) вследствие превышения (занижения) ожидаемых сроков и  $m$  нулевых элементов. Значения убытка  $Y$  в этом случае могут быть вычислены по формуле:

$$Y = (T_i - T_{о.ж.}) \cdot \varphi \quad (38)$$

Где  $\varphi$  - штраф за задержку окончания проекта (этапа проекта), приходящийся на единицу времени.

Вычисления окончательной оценки  $VAR$  на основе полученной выборки повторяют расчеты последнего шага метода исторического моделирования.

**2.3. Оценка VAR от воздействия интегрированного инновационного риска**

Величина **максимального** совокупного ущерба вследствие реализации всевозможных факторов риска  $VAR_c$  в виду несовпадения сценариев развития проекта, приводящих к

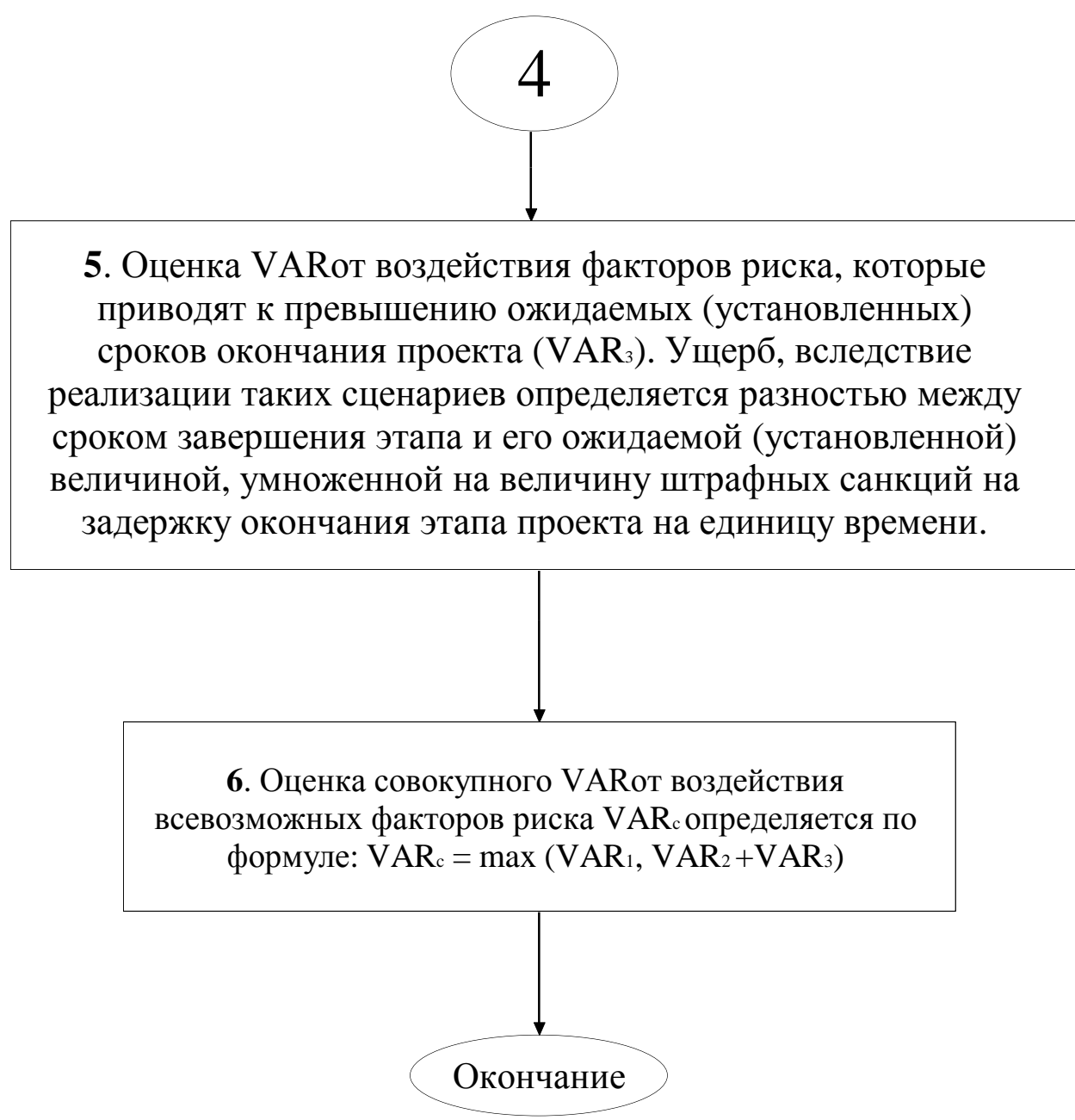
досрочному завершению, со сценариями, которые приводят к успешному окончанию проекта, может быть оценена по следующей приближенной формуле:

$$VAR_c = \max(VAR_1, VAR_2 + VAR_3) \quad (39)$$

Алгоритм оценки  $VAR$  от воздействия интегрированного инновационного риска представлен на рис. 2.







**Рис. 2** Алгоритм оценки *VAR* от воздействия интегрированного инновационного риска

Для получения более точных оценок величины  $VAR$  необходимо выделить четыре группы сценариев будущего развития проекта. Как и ранее, в первую группу войдут те сценарии будущего развития, которые заканчиваются досрочным прекращением проекта. Во вторую группу должны войти те сценарии, которые приводят к превышению ожидаемых сроков окончания проекта (этапа), но при этом совокупные издержки проекта (этапа) не превысят ожидаемых величин. В третью группу необходимо отнести сценарии, которые приведут к превышению совокупных издержек, но при этом сроки окончания проекта (этапа) окажутся в пределах ожидаемых величин. И, наконец, в последнюю четвертую группу войдут сценарии будущего развития, которые приводят и к превышению совокупных издержек и к превышению сроков окончания.

Для каждой из четырех групп сценариев будущего развития проекта необходимо определить выборочные значения убытка (прибыльности) и на этой основе, используя рассмотренный метод, вычислить оценки рискового капитала  $VAR_i, i = 1, \dots, 4$ .

Поскольку сценарии каждой из выделенных четырех групп не совпадают друг с другом, величина совокупного  $VAR_c$  может быть вычислена по следующей формуле:

$$VAR_c = \max_i VAR_i \quad (40)$$

### **3. Оценка ожидаемых потерь, выходящих за пределы $VAR$ , на начальных этапах инновационного проекта**

Расчет ожидаемых потерь, выходящих за пределы  $VAR$ , может быть произведен одновременно с оценкой  $VAR$  по следующей простой методике.

На основе имитационного моделирования вычисляем массивы убытков (прибыльности) для каждой из четырех рассмотренных групп сценариев будущего развития проекта.

Используя последний шаг алгоритма исторического моделирования, находим элемент выборки  $j$ , соответствующий, задаваемой доверительной вероятности  $1 - \alpha$ . Удаляем из полученной выборки все начальные элементы вплоть до  $j$ -ого элемента. Далее производим окончательную оценку ожидаемых потерь, выходящих за пределы рисковой стоимости, для каждой из групп сценариев будущего развития проекта  $C_{>VAR}^i$ :

$$C_{>var}^i = E(X | X > VAR) \quad (41)$$

Где:  $X$  -убыток (прибыльность);

$E$  - знак математического ожидания случайной величины.

Обобщенная оценка ожидаемых потерь, выходящих за пределы рисковой стоимости  $C_{>var}$ , может быть получена по следующей формуле:

$$C_{>var} = \max_i C_{>var}^i \quad (42)$$

#### 4. Оценка требуемого страхового резерва от страхования убытков, превышающих VAR

Окончательный расчет требуемого страхового резерва, достаточного для страхования от убытков, превышающих величину рискового капитала, может быть произведен по формуле:

$$C_{cp} = E(\max(0, X - VAR)) = E(\max(X, VAR)) - VAR = \alpha(C_{>var} - VAR) \quad (43)$$

$\alpha$  - задаваемая вероятность наступления убытка, превышающего величину VAR.

#### Заключение

В настоящее время нашли практическое применение три основных метода оценки рискового капитала VAR. К ним относятся следующие методы:

- дельта-нормальный метод;
- метод исторического моделирования;
- метод стохастического имитационного моделирования.

В основе дельта-нормального метода оценки лежит предположение о нормальном распределении доходностей любых факторов риска. Из этого следует, что распределение доходностей инструментов, являющихся линейными комбинациями факторов риска также оказывается нормальным распределением. Однако, как показывают проведенные исследования [1], положение о нормальности закона распределения для инновационных факторов риска не соблюдается. Кроме того, при использовании дельта-нормального метода могут возникнуть следующие сложности:

- значения некоторых факторов риска для инновационных проектов могут оказаться ненаблюдаемыми. Например, могут отсутствовать данные об объемах продаж инновационной продукции и ценах;
- сложность выделения стандартизованных позиций и определения функциональных зависимостей таких позиций от основных факторов риска. Кроме того, такие функциональные зависимости должны быть представлены в виде непрерывно дифференцируемых функций.

Метод исторического моделирования основан на неизменности исторического совместного распределения факторов риска и доходности портфеля активов (инновационного проекта) в течение ближайшего будущего периода. При оценке рискового капитала используется историческое распределение доходности факторов риска. Несмотря на относительную простоту расчетов, данный метод имеет следующие недостатки:

- высокая вероятность ошибок при малой глубине ретроспективы, с одной стороны, «устаревание» информации при слишком большой глубине ретроспективы, с другой стороны. Использование «устаревшей» информации снижает точность оценивания *VAR*. Найти такую глубину ретроспективы, при которой достигается компромисс между высокой вероятностью ошибок и снижением точностью оценивания сложно;
- недостаточно информации о наблюдаемых значениях некоторых из факторов инновационного риска. Например, при отсутствии информации о проектах-аналогах у оценщика может не оказаться необходимого массива данных о ценах и объемах продаж продукции, дебиторской задолженности и пр.;
- наблюдаемые значения факторов риска в прошлом не всегда могут быть использованы для прогноза будущего развития событий.

При использовании метода стохастического имитационного моделирования изменения основных факторов риска генерируются с использованием ЭВМ на основе датчика псевдослучайных чисел в соответствии с задаваемыми параметрами распределения. В результате имитируемого распределения вероятностей образуются множества реализаций случайных процессов или сценариев его будущего развития. Корреляция факторов риска при этом может быть учтена в моделях случайных процессов с помощью разложения Холецкого.

К основным недостаткам метода имитационного моделирования относятся:

- высокая сложность построения математических моделей динамики цен активов (факторов риска) и, как следствие, высокий модельный риск или риск неадекватности модели;
- недостаточность наблюдаемых значений стоимостей активов (факторов риска), необходимых для корректной оценки их волатильности и коэффициентов корреляции;
- в виду необходимости проведения достаточно большого числа имитационных экспериментов в ходе расчетов значений *VAR* возникает необходимость составления и отладки дорогостоящих компьютерных программ автоматизации таких расчетов.

Предложен основанный на имитационном моделировании метод оценки рискового капитала начальных этапов инновационного проекта. Данный метод позволяет учесть все основные факторы инновационного риска, а также произвести оценку ожидаемых потерь, выходящих за пределы *VAR*. Методологический инструментарий расчетов рискового капитала включает следующие оценочные методики:

- методику оценки *VAR* от воздействия факторов риска, приводящих к досрочному прекращению проекта;
- методику оценки *VAR* от воздействия факторов риска, приводящих к превышению ожидаемых (установленных) проектных затрат;
- методику оценки *VAR* от воздействия факторов риска, приводящих к превышению ожидаемых (установленных) сроков окончания этапов проекта;
- методику оценки *VAR* против ущерба от воздействия интегрированного инновационного риска;
- методику оценки ожидаемых потерь, выходящих за пределы *VAR*;
- методику оценки требуемого страхового резерва от страхования убытков, превышающих *VAR*.

## Литература

1. Демкин И.В. Управление инновационным риском на основе имитационного моделирования. Часть 1. Основные подходы к оценке инновационного риска//Проблемы анализа риска, 2005, Том 2, № 3: 249-273.
2. Демкин И.В., Стрельцов А.В., Галетов И.Д. Оценка риска инвестиционных проектов фармацевтического предприятия. // Управление риском. 2004, № 4:16-27.
3. Eisele W.,Knobloch A.P. (2000). Value at Risk: Tool for managing trading risks // In: Frenkel M., Hommel U., Rudolf M. (eds.). Risk management: Challenge and opportunity.-Berlin: Springer Verlag. P. 155-179.
4. Engel J. , Gizicki M. (1999). Conservatism, accuracy and efficiency: Comparing Value at Risk methods. Discussion paper 2. Australian Prudential Regulation Authority, Reserve Bank of Australia, March.
5. Gibson R. (ed.) (2000). Model Risk: Concepts, calibration and pricing.- L.:Risk Publications.
6. Jorion P. (1997). Value at Risk: The New Benchmark for Controlling Market Risk. NY.: McGraw-Hill.

7. Jorion P. (2001). Value at Risk: The new benchmark for managing financial risk. 2nd. ed.- McGraw-Hill.
8. Lam J. C. (1997). Firmwide risk management: An integrated approach to risk management and control// In: Schwartz R.J. , Smith C.W. , Jr. (eds.) Derivatives Handbook: Risk management and control.- N.Y. : John Wiley & Sons, p. 407- 429.
9. Longerstaey J. , Spenser M. (1996). RiskMetrics<sup>tm</sup> technical document. 4th ed. – J.P. Morgan/Reuters.
10. Madden B.J. (2002). CFROI valuation: A total system approach to valuing the firm.- Oxford: Butterworth-Heinemann.
11. Pearson N.D. (2002). Risk budgeting: Portfolio problem-solving with value at risk.- John Wiley & Sons, Ltd..
12. Phelan M. (1995). Probability and statistics applied to the practice of financial risk management: The case of J.P. Morgan's RiskMetrics<sup>TM</sup>. Working paper 95-19. Wharton School. University of Pennsylvania.
13. Бартон Т.Л., Шенкир У., Уокер П. Комплексный подход к риск-менеджменту: стоит ли этим заниматься.- М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
14. Энциклопедия финансового риск-менеджмента / Под ред. А. А. Лобанова, А. В. Чугунова. — 2-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2006.
15. Stein J., Usher S., LaGatutta D., Youngen J. (2001). A comparables approach to measuring Cashflow-at-Risk for non-financial firms. Journal of Applied Corporate Finance, Vol.13, (4), pp.100-109.
16. Ширяев А.Н. Вероятность.-М. :Наука, 1989.- 640 с.
17. Black F., Scholes M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities// Journal of Political Economy, V. 81, No 3, p. 637-659.
18. Грачева М.В. Риск-анализ инвестиционного проекта. -М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2001.
19. Виленский П.Л., Лившиц В.Н, Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. М.: Издательство «Дело» 2004.
20. Голенко Д.И. Моделирование псевдослучайных чисел на ЭВМ.- М.: Наука, 1982.
21. Шеннон К. Имитационное моделирование.-М.: Наука, 1989.
22. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы.- М.: Наука, 1981
23. Мыльник В.В., Титаренко Б.П., Волочиенко В.А. Исследование систем управления.-М.: Академический проект; Екатеринбург: Деловая книга, 2003, с.190-210.

24. Галетов И.Д., Демкина Т.Ю. Основные факторы инновационного риска. В сб. «Эффективность инновационно-инвестиционных процессов».- М.: Экономика и финансы, 2006, с.420-429.
25. Валдайцев С.В. Риски в экономике и методы их страхования.-СПб.: СПбДНТП, 1992, с. 4-26.
26. Валдайцев С.В. Оценка бизнеса. Управление стоимостью предприятия.-М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001, с. 459-479
27. Гунин В.Н., Баранчев В.П., Устинов В.А. Управление инновациями: 17-модульная программа для менеджеров «Управление развитием организации». Модуль 7.-М: Инфра-М, 2000, с.219-248.
28. Boudokh J, Richardson M., Whitelaw R. (1998). The best of both worlds, Risk, May.