ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

DOI: 10.26794/2587-5671-2019-23-1-133-146
УДК 336,7(045)
JEL G11, G12, G17, G32

Модели оценки рисков деятельности компаний, реализующих проекты с НИОКР

В.Б. Минасян
Высшая школа финансов и менеджмента РАНХиГС при Президенте РФ,
Москва, Россия
https://orcid.org/0000-0001-6393-145X

АННОТАЦИЯ

Компании, реализующие проекты с НИОКР (R&D), сталкиваются с их уникальными особенностями. Среди них: необходимость больших капитальных вложений, длительный срок реализации, высокий потенциал роста, низкая вероятность успеха, трудности с финансированием. Реализация подобных проектов связана с большими рисками. Это приводит к их недофинансированию, так как неопределенность результатов отпугивает инвесторов. Проблема оценки рисков, возникающих при реализации таких проектов, на уровне математических моделей анализа пока недостаточно исследована. Цель статьи — разработка модели, позволяющей исследовать риски, возникающие при реализации компаниями проектов с НИОКР (R&D). Автором разработана модель для оценки подобных рисков при помощи модифицированной для данного применения меры VaR. Получены формулы для расчета данной меры. Они доведены до простых аналитических выражений в предположениях равномерного распределения денежного потока от проекта, или треугольного распределения. Построенная модель учитывает важнейшие причины возникновения рисков в проектах с R&D. Ее можно использовать на практике при предварительной оценке риска проекта еще до его реализации и принятия решения о реализации с учетом риска. Кроме того, данную методику можно использовать и для стандартизации процесса принятия решения о реализации проектов с R&D с учетом «аппетита к риску» с применением меры риска VaR.

Ключевые слова: R&D проекты; мера риска VaR; денежный поток; равномерное распределение; треугольное распределение; носитель распределения

Для цитирования: Минасян В.Б. Модели оценки рисков деятельности компаний, реализующих проекты с НИОКР. *Финансы: теория и практика.* 2019;23(1):133-146. DOI: 10.26794/2587-5671-2019-23-1-133-146

ORIGINAL PAPER

Risk Assessment Models of the Companies Implementing R&D Projects

V.B. Minasyan
Higher School of Finance and Management
Russian Academy of National Economy and Public Administration,
Moscow, Russia
https://orcid.org/0000-0001-6393-145X

ABSTRACT

Companies implementing R&D projects face their unique features. There is the need for large capital investments, long-term implementation, high growth potential, low probability of success, and difficulties in financing among them. Implementation of such projects is associated with high risks. This leads to underfunding as uncertain results deter investors. The problem of assessing the risks arising from the implementation of such projects has not yet been sufficiently studied at the level of mathematical analysis models. The objective of the article is to develop a model allowing to explore the risks arising from implementing R&D projects. The author has developed a risk assessment model using the VaR measure modified for this application. The formulas have been obtained to calculate this measure. They have been adjusted to simple analytical expressions assuming the balanced distribution of cash flow from the project, or triangular distribution. The model considers the most important causes of risks in R&D projects. It can be used in a real-case scenario if a preliminary risk assessment of a project is done before its implementation and a decision is made on risk-based implementation. Moreover, this methodology can be used to standardize the decision-making process for the R&D projects implementation considering the “risk appetite” using the VaR risk measure.

Keywords: R&D projects; VaR risk measure; cash flow; balanced distribution; triangular distribution; distribution carrier

For citation: Minasyan V.B. Risk assessment models of the companies implementing R&D projects. *Finansy: teoriya i praktika = Finance: Theory and Practice.* 2019;23(1):133-146. (In Russ.). DOI: 10.26794/2587-5671-2019-23-1-133-146

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе мы предлагаем модель по оценке рисков в проектах компаний, в которых присутствуют НИОКР (R&D) — комплекс мероприятий, включающий в себя как научные исследования, так и производство опытных и мелкосерийных образцов продукции, предшествующее запуску нового продукта или системы в промышленное производство. Вопросу финансирования компаний, реализующих проекты с R&D, посвящена достаточно обширная научная литература. Исследования свидетельствуют о дефиците финансирования таких проектов, что создает недостаточное инвестирование в R&D и влечет проблемы для технологических инноваций [1]. В работе R. T. Thakor и A. W. Lo [2] высказано предположение, что дефицит финансирования возникает из-за следующих особенностей проектов с R&D:

1. Проекты с R&D являются дорогостоящими. (Например, стоимость разработки одного нового препарата в биофармацевтической отрасли оценивается в 2,6 млрд долл. [3]).

2. Проекты с R&D часто имеют длительные периоды реализации, состоящие из нескольких этапов двоичных исходов. Кроме того, инвестиции в R&D включают последовательность возрастающих ресурсных обязательств и требуют существенных специальных знаний [4, 5]. В отличие от других типов проектов, проекты с R&D имеют более длительный инвестиционный процесс, непрерывный по времени и по фондированию.

3. R&D инвестиции, как правило, имеют низкие вероятности успеха [4, 6], но высокие выплаты в случае успеха [7, 5].

4. Большие расходы проектов с R&D зависят от внешнего финансирования [1].

Из вышесказанного следует, что реализация проектов с R&D связана с большими рисками, что приводит к их недофинансированию, так как неопределенность результатов отпугивает инвесторов. Проблема усугубляется тем, что практически нет научно обоснованных моделей, позволяющих оценить риски таких проектов. А неоцененная неопределенность всегда страшит больше, чем оцененный риск. В результате инвесторы могут отказаться от проектов, оцененный риск которых мог бы оказаться приемлемым. Или они могут взяться за реализацию проектов, от которых отказались бы, если бы смогли оценить риск, связанный с ними.

Большинство моделей, связанных с оценкой рисков проектов R&D и вообще инновационных проектов, являются скоринговыми. В них оцениваются различные факторы риска баллами. Далее по определенной методологии рассчитывается некий результирующий балл. Он и представляется оценкой риска данного проекта [8, 9].

Однако скоринговые модели, получившие большое применение на практике, чаще всего не имеют теоретического обоснования смысла и верности получаемых оценок. Они применимы для практической диагностики рисков. Но мера субъективности оценок здесь такова, что назвать эти модели теоретическими сложно. Есть исследования, где предлагается применять методы нечетких множеств [10]. Многопериодные модели с рассмотрением различных сценариев в каждом периоде изучались P. Namee и J. Celona [11]. Они также исследовали различные законы распределения результата в общей постановке принятия решения в ситуации неопределенности. Методы, описанные в руководстве [11], широко используются в практике риск-аналитики в различных компаниях. В работе [12] рассматривается, в том числе, вопрос о возможном законе распределения для результативного параметра инвестиционного проекта. В качестве разумного распределения рассматривается треугольное распределение. Это вполне оправданное предположение, учитывая уникальность проектов R&D. Предварительно о законе распределения результата таких проектов сложно что-либо сказать. Можно сделать предположение о носителе этого распределения (результат будет где-то между определенным минимальным и максимальным значениями). В лучшем случае можно спрогнозировать значение моды (наиболее вероятное). Всем этим признакам удовлетворяет треугольное распределение. Но при этом, естественно, даже параметры данного распределения (максимальное и минимальное значения, а также мода) нельзя оценить из-за принципиального отсутствия статистики по аналогичным проектам. Поэтому закон распределения выбирается эвристически, а параметры — экспертно. Они опираются на глубокое понимание эксперта конкретной области R&D, к которой относится данный проект. Учитываются анализ рынка, его глубины, а также возможный интерес к продукту проекта. Однако кроме обсуждения закона распределения результата в работе [12] не предложены методы оценки рисков инновационных проектов.

В данной работе рассматриваются два типа распределения результата инвестиционного проекта R&D:

a) *равномерное* — для случая, когда представления инвестора о законе распределения результата ограничиваются лишь определением его носителя (где-то, между двумя значениями), предполагающего одинаковую возможность реализации каждого значения в данном носителе;

b) *треугольное* — с также определяемым носителем и экспертно-определенным значением моды. В этом случае эксперт как бы говорит, что, по его мнению, возможны все значения на данном носителе распределения, но наиболее вероятное, с его точки зрения, такое-то (мода). А вероятности реализации других значений из носителя равномерно падают при удалении от моды.

Вопросы калибровки модели (оценки параметров) всегда относятся к практическому применению, а не к вопросу, связанному с теоретическим построением моделей.

Естественно, вопросы оценки параметров данных распределений в контексте их применения в проектах R&D решаются экспертно и не рассматриваются в данной работе. Цель статьи состоит в предложении модели для оценки рисков проектов с R&D. Вопросы финансирования проектов с R&D мы не рассматриваем, так как они хорошо изучены [2].

Мы будем предполагать, что компания принимает следующие последовательные решения: какой очередной проект с R&D выбрать для рассмотрения с точки зрения интереса и возможности реализации; какую сумму инвестировать в самом начале инвестиционного периода для проверки возможной результативности инвестиций в данный проект. В случае положительного результата этой проверки принимается решение о величине основной инвестиции в проект.

Наша модель будет многопериодной, и в каждом периоде возможны сценарии, приводящие к различного уровня рискам. При этом действия инвестора будут различаться в зависимости от сценария. На третьем этапе рассматриваются два подсценария (в среднем, «низкого» и «высокого» результата). Они, с точки зрения инвестора, могут привести к различного уровня рискам. Идея работы состоит в том, чтобы предложить возможность применения такой меры риска, хорошо зарекомендовавшей себя с точки зрения и теории, и практики, как VaR [13].

Хотя мы фокусируемся на проектах с R&D, наш анализ может иметь широкое применение и в других отраслях, где вероятность успеха невелика, но выплата при условии успеха высока, а также в проектах, предусматривающих значительную техническую экспертизу. Одним из таких примеров является киноиндустрия.

МОДЕЛЬ

Мы строим многопериодную модель реализации проекта с R&D.

На начальную дату $t = 0$ в компанию поступает проект с R&D для рассмотрения на возможность реализации. В этот момент определяется интерес к его реализации с точки зрения технологической новизны, восприятия ее рынком и глубины соответствующего рынка. Выясняется наличие в компании возможностей экспертизы и технологической реализации данного проекта. Уточняется достаточность возможностей у компании финансирования данного проекта. В данной работе мы предполагаем, что все эти возможности у компании существуют, и она проявляет явный интерес к реализации поступившего проекта. Предполагается, что все рассматриваемые денежные потоки уже дисконтированы к моменту оценки (т.е. вопросы выбора ставки дисконтирования в данной работе не рассматриваются). В этом случае мы предполагаем, что компания нуждается в капитале ωR, чтобы при $t = 1$ сделать первоначальные инвестиции в R&D для разработки новой идеи, проведения клинических испытаний и т.д., где $\omega \in (0,1)$ и $R > 0$. Если эти испытания и другие поисковые исследования, которые финансируются за счет первоначальных инвестиций ωR, дадут хорошие результаты, то компания сделает большую последующую инвестицию R в R&D при $t = 2$. В противном случае она прекратит дальнейшие инвестиции. Первоначальные инвестиции ωR не производят каких-либо денежных потоков. Их ценность заключается только в том, чтобы показать перспективы выплат от увеличенных инвестиций при $t = 2$. Это модельное описание представляет стадии R&D инвестиций, которые типичны для таких проектов, которые, например, реализуют биофармацевтические фирмы, проводящие несколько этапов разработки лекарственных средств, каждый — с предъявлением обязательств по выделению ресурсов. Ставка корпоративного налога $\tau \in (0,1)$.

Пусть $q \in (0,1)$ оценка вероятности при $t = 0$ того, что начальная R&D инвестиция даст хорошие прогнозы (G) для реализации основной инвестиции при $t = 2$, и $1 - q$ вероятность того, что она даст плохие результаты (B) для реализации основной инвестиции при $t = 2$. Если инвестиции R&D при $t = 1$ дают хорошие результаты, то инвестирование R при t = 2 с вероятностью $\delta \in (0,1)$ будет генерировать достижения на дату t = 3 денежного потока X_H с высоким законом распределения. То есть терминальный (на дату t = 3) денежный поток X_H будет иметь функцию распределения H с носителем $[x_L, x_H]$ (мы это будем записывать так: supp $X_H = [x_L, x_H]$), причем $x_L > R(1+\omega)$. При хороших результатах исследования (при t = 1) существует вероятность 1 – δ достижения денежного потока X_L с низким законом распределения, который имеет функцию распределения L с носителем $[0, x_L]$ (supp $X_L = [0, x_L]$).

Предполагается, что

$$\int_{x_L}^{x_H} x(1-\tau)dH > R(1+\omega), \quad (1)$$

и

$$\int_{0}^{x_L} x(1-\tau)dL = R(1+\omega)+\varepsilon, \quad (2)$$

где $\varepsilon > 0$ — произвольное достаточно малое число. Идея заключается в том, что при хорошем результате на первом этапе и высоком законе распределения на третьем этапе ожидаемая посленалоговая выплата больше инвестиции на втором этапе. И что при хорошем результате на первом этапе и низком законе распределения на третьем этапе ожидаемая посленалоговая выплата равна инвестиции на втором этапе плюс достаточно малая сумма. Если тестирование R&D при t = 1 дает плохие результаты (отказ), то любые инвестиции при t = 2 приводят к нулевому денежному потоку почти наверняка при t = 3, и поэтому в момент t = 2 основная инвестиция не производится. Но, только инвестировав ωR при t = 1, компания будет иметь возможность узнать, являются ли итоги начального R&D хорошими или плохими при t = 2. Другими словами, первоначальные инвестиции в R&D являются необходимым и достаточным условием для принятия решения при t = 2 о целесообразности дальнейшей реализации проекта.

Эта последовательность принятия решений кажется естественной. Владельцы компании (Совет директоров) принимают важные стратегические решения о принятии к рассмотрению данного проекта с R&D и привлечении финансирования. Но детали R&D носят технический характер и, таким образом, делегированы менеджменту, который обладает необходимыми знаниями, чтобы оценить, была ли первая стадия R&D успешной и нужно ли связывать больше ресурсов с этим проектом. Это позволяет сделать важное предположение: R&D, проведенное компанией, опирается на узкоспециализированные знания и создает эти знания.

На *рисунке* мы графически суммировали стадии R&D инвестиций в модели.

ХРОНОЛОГИЯ СОБЫТИЙ

Таблица 1 обобщает хронологию событий и разъясняет действия игроков. Обратите внимание, что формально это игра. Мы кратко суммируем здесь роль, которую элементы играют в модели.

МЕРА РИСКА VAR ДЛЯ ИНВЕСТИЦИЙ В ПРОЕКТЫ С R&D

Обозначим результирующий показатель проекта с учетом величины наших инвестиций и случайных терминальных выплат по проекту и налогообложению через X (NPV проекта).

Очевидно, что при наших модельных предположениях эта величина является случайной и ее можно описать следующим образом:

$$X = \begin{cases} -R\omega, \textit{с вероятнотью}: 1-q \\ X_H(1-\tau) - R(1+\omega), \textit{с вероятнотью}: q\delta \\ X_L(1-\tau) - R(1+\omega), \textit{с вероятнотью}: q(1-\delta) \end{cases}, \quad (3)$$

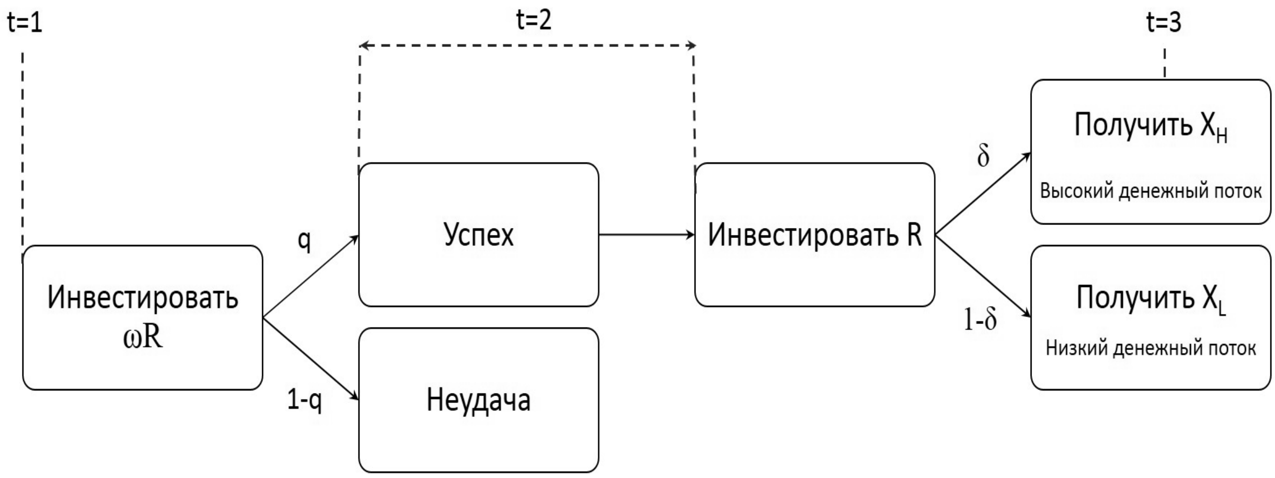
где $q = p(G)$, $q\,\delta = p(G)\text{p}(\text{H}|\text{G})$, $q(1-\delta) = p(G)p(L|G)$.

В нашем тексте через H и L мы обозначаем как случайные события, получения в момент t = 3 высоких или низких доходностей, так и соответствующие законы распределения. Через $p(.)$ и $p(.|.)$ обозначены вероятности и условные вероятности соответствующих событий.

Теперь введем меру риска VaR для оценки рисков проектов с R&D в нашей модели по аналогии с существующей в риск-менеджменте мерой [14, 15], нашедшей применение для оценки рисков в других областях [16, 17].

Ценностью под риском с доверительной вероятностью p назовем величину, обозначаемую $VaR_p(X)$, при которой вероятность того, что соответствующая результирующая случайная величина X (NPV) окажется больше этой величины, равна p, т.е. это худшее значение результирующей величины (NPV), которое может встретиться с вероятностью p: $P\{X > VaR_p(X)\} = p$.

Из нашего модельного определения результирующей величины очевидно, что полезным



Временной график инвестиций R&D / R&D investment timeline

Источник / Source: рисунок автора / the figure made by the author.

Таблица 1 / Table 1

Временная линия событий и решений / Timeline of events and decisions

t = 0	*t* = 1	*t* = 2	*t* = 3
– Выбирается очередной проект с R&D для рассмотрения; – выясняется, что нужна сумма ωR для первоначальной R&D инвестиции при *t* = 1 и сумма *R* для последующего инвестирования при *t* = 2	– Компания инвестирует сумму ωR для проведения R&D по проекту, если принято решение о его проведении	– Если фирма инвестировала при *t* = 1, то с вероятностью q инвестиция дает *G* (хорошие результаты) и с вероятностью 1 – *q* дает *B* (плохие результаты); – менеджер приватно наблюдает результаты; – если *G*, то компания инвестирует *R* при *t* = 2. При *B* компания прекращает дальнейшие инвестиции	– Наблюдается заключительная выплата по проекту с R&D *X*; – если фирма инвестирует R при *t* = 2, то $X = X_H$ с вероятностью δ и $X = X_L$ с вероятностью 1 – δ

Источник / Source: описание автора / the author's description.

могло оказаться вычисление VaR результирующей величины в зависимости от того, какое из взаимоисключающих событий, составляющих полную группу событий: *B*, $G \cdot H$ или $G \cdot L$ произойдет (здесь и далее, через $X \cdot Y$ обозначено произведение случайных событий *X* и *Y*). То есть $VaR_p(X)$ в нашем случае — это случайная величина, которая, например, при условии, что произойдет событие *B*, т.е. с вероятностью 1 – *q* принимает, очевидно, значение $VaR_p(X \mid B) = -R\omega$.

Сейчас перейдем к определению значения $VaR_p(X)$ при условии, что произойдут события $G \cdot H$ или $G \cdot L$.

Для этого нам понадобятся следующие простые свойства меры риска VaR (доказательства см. в *Приложении 1*).

Предложение 1

1. $VaR_p(\alpha X) = \alpha\, VaR_p(X)$, где α — любое положительное число.

2. $VaR_p(X + C) = VaR_p(X) + C$, где C — любое число.

Из формулы (3) и *Предложения 1* следует, что случайная величина $VaR_p(X)$ с вероятностью $q\delta$ принимает значение

$$VaR_p(X \mid G \cdot H) = (1-\tau)VaR_p(X_H) - R(1+\omega),$$

а также что случайная величина $VaR_p(X)$ с вероятностью $q(1 - \delta)$ принимает значение

$$VaR_p(X \mid G \cdot L) = (1-\tau)VaR_p(X_L) - R(1+\omega).$$

Тогда, определяя ожидаемое значение для $VaR_p(X)$, мы получаем:

$$E(VaR_p(X)) = -(1-q)R\omega + q\delta[(1-\tau)VaR_p(X_H) - R(1+\omega)] + q(1-\delta)[(1-\tau)VaR_p(X_L) - R(1+\omega)] =$$
$$= -(1-q)R\omega + q\delta(1-\tau)VaR_p(X_H) + q(1-\delta)(1-\tau VaR_p(X_L) - qR(1+\omega).$$

То есть

$$E(VaR_p(X)) = -R(\omega+q) + q(1-\tau)[\delta VaR_p(X_H) + (1-\delta)VaR_p(X_L)]. \tag{4}$$

Мы хотим получить простые аналитические выражения для меры риска VaR проекта с R&D в двух предположениях: равномерного и треугольного распределения терминальной выплаты по проекту.

VAR ПРОЕКТА С R&D ПРИ РАВНОМЕРНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВЫПЛАТЫ

Воспользуемся справедливостью следующего простого утверждения (доказательство см. в *Приложении 2*).

Предложение 2

Если случайная величина X равномерно распределена в интервале (a, b), то

$$VaR_p(X) = pa + (1-p)b.$$

Из формулы (4) с помощью *Предложения 2* получаем:

$$\mathrm{E}(VaR_p(X)) = -R(\omega+q) + q(1-\tau)[\delta(px_L + (1-p)x_H) + (1-\delta)(1-p)x_L]. \tag{5}$$

Рассмотрим иллюстративный численный пример, проявляющий разумные и естественные зависимости модельной оценки риска проекта с R&D от важнейших параметров модели.

В нашем примере мы зафиксируем значения следующих параметров модели:

$R = 50$ ед., $\omega = 0{,}1$, $\tau = 0{,}2$, p = 0,95 и $x_L = 100$ ед.

Мы будем рассматривать два возможных значения для верхней границы носителя высокого распределения денежного потока терминальной выплаты по проекту.

1) $x_H = 2x_L = 200$ ед. То есть максимально возможно большой размер денежного потока при его высоком распределении в два раза превышает максимально возможно большой размер денежного потока при его низком распределении.

При этом мы будем изменять значения двух вероятностей в модели: q и δ.

С позиции этих параметров мы будем рассматривать четыре возможных сценария:

a) $q = 0{,}4$ и $\delta = 0{,}2$.

То есть наши шансы на удачу первого этапа инвестиционного процесса при $t = 1$ немного ниже средних, и очень мало шансов на достижение высокого распределения выплат при $t = 3$ в случае удачи первого этапа инвестиционного процесса;

b) $q = 0{,}6$ и $\delta = 0{,}2$.

То есть наши шансы на удачу первого этапа инвестиционного процесса при $t = 1$ немного выше средних, и очень мало шансов на достижение высокого распределения выплат при $t = 3$ в случае удачи первого этапа инвестиционного процесса;

c) q = 0,4 и $\delta = 0,6$.

То есть наши шансы на удачу первого этапа инвестиционного процесса при $t = 1$ немного ниже средних и немного выше средних шансов на достижение высокого распределения выплат при $t = 3$ в случае удачи первого этапа инвестиционного процесса;

d) $q = 0,6$ и $\delta = 0,6$.

То есть наши шансы на удачу первого этапа инвестиционного процесса при $t = 1$ немного выше средних и немного выше средних шансов на достижение высокого распределения выплат при $t = 3$ в случае удачи первого этапа инвестиционного процесса.

Результаты расчетов $\mathrm{E}(VaR_p(X))$ в этих четырех сценариях по формуле (5) для равномерного распределения выплат приведены в *табл. 2*.

Таблица 2 / Table 2

Значения $E(VaR_p(X))$ в четырех сценариях при $x_H = 2x_L = 200$ ед. / $E(VaR_p(X))$ values in four scenarios at $x_H = 2x_L = 200$ *unit*.

	***q* = 0,4**	***q* = 0,6**
$\delta = 0,2$	a) −17	b) −23
$\delta = 0,6$	c) −4,2	d) −3,8

Источник / Source: расчеты автора / the author's calculations.

Эти результаты вполне согласуются с естественной логикой и ожиданиями.

2) $x_H = 5x_L = 500$ ед. То есть максимально возможно большой размер денежного потока при его высоком распределении в пять раз превышает максимально возможно большой размер денежного потока при его низком распределении.

При этом мы будем изменять значения двух вероятностей в модели: q и δ и рассматривать те же четыре сценария: a), b), c) и d).

Результаты расчетов $E(VaR_p(X))$ в этих четырех сценариях по формуле (5) для равномерного распределения выплат приведены в *табл. 3*.

Таблица 3 / Table 3

Значения $E(VaR_p(X))$ в четырех сценариях при $x_H = 5x_L = 500$ ед. / $E(VaR_p(X))$ values in four scenarios at $x_H = 5x_L = 500$ *unit*.

	***q* = 0,4**	***q* = 0,6**
$\delta = 0,2$	−16,04	−21,56
$\delta = 0,6$	−1,32	−0,44

Источник / Source: расчеты автора / the author's calculations.

Эти результаты также вполне согласуются с естественной логикой и ожиданиями.

При этом мы замечаем, что при увеличении максимально возможно большого размера денежного потока при его высоком распределении, по сравнению с максимально возможно большим размером денежного потока при его низком распределении, риски проекта с R&D падают.

VAR ПРОЕКТА С R&D ПРИ ТРЕУГОЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВЫПЛАТЫ

Мы воспользуемся справедливостью следующего утверждения (доказательство см. в *Приложении 3*).

Предложение 3

Если случайная величина *X* подчинена треугольному распределению с носителем, совпадающим с интервалом (*a, b*), и вершиной, проекция которой на носитель представляется точкой $v \in (a,b)$, тогда:

1. Если $v \le pa + (1-p)b$, то

$$VaR_p(X) = b - \sqrt{p(b-a)(b-v)}.$$

2. Если $v \ge pa + (1-p)b$, то

$$VaR_p(X) = a + \sqrt{(1-p)(b-a)(v-a)}.$$

Сначала рассмотрим значение $VaR_p(X_H)$.

Тогда из *Предложения 3* следует, что:

1. Если $v_H \le px_L + (1-p)x_H$, то

$$VaR_p(X_H) = x_H - \sqrt{p(x_H - x_L)(x_H - v_H)}],$$

где v_H является проекцией вершины *C* распределения *H* на носитель распределения.

2. Если $v_H \ge px_L + (1-p)x_H$, то

$$VaR_p(X_H) = x_L + \sqrt{(1-p)(x_H - x_L)(v_H - x_L)}.$$

Аналогично, рассмотрим значение $VaR_p(X_L)$.

Из *Предложения 3* следует, что:

3. Если $v_L \le (1-p)x_L$, то

$$VaR_p(X_L) = x_L - \sqrt{px_L(x_L - v_L)},$$

где v_L является проекцией вершины *C* распределения *L* на носитель распределения.

4. Если $v_L \ge (1-p)x_L$, то

$$VaR_p(X_L) = \sqrt{(1-p)x_L v_L}.$$

Теперь, переходя к получению вычислительных формул для ожидаемого значения, используя формулу (4), мы видим, что в зависимости от реализации четырех случаев должны быть четыре разных выражения для этой величины:

I) если $v_H \le px_L + (1-p)x_H$ и $v_L \le (1-p)x_L$, то

$$E(VaR_p(X)) = -R(\omega + q) + q(1-\tau)(\delta[x_H - \sqrt{p(x_H - x_L)(x_H - v_H)}] + (1-\delta)[x_L - \sqrt{px_L(x_L - v_L)}]);$$

II) если $v_H \le px_L + (1-p)x_H$ и $v_L \ge (1-p)x_L$, то

$$E(VaR_p(X)) = -R(\omega + q) + q(1-\tau)(\delta[x_H - \sqrt{p(x_H - x_L)(x_H - v_H)}] + (1-\delta)\sqrt{(1-p)x_L v_L});$$

III) если $v_H \ge px_L + (1-p)x_H$ и $v_L \le (1-p)x_L$, то

$$E(VaR_p(X)) = R(\omega + q) + q(1-\tau)(\delta[x_L + \sqrt{(1-p)(x_H - x_L)(v_H - x_L)}] + (1-\delta)[x_L - \sqrt{px_L(x_L - v_L)}]);$$

IV) если $v_H \ge px_L + (1-p)x_H$ и $v_L \ge (1-p)x_L$, то

$$E(VaR_p(X)) = R(\omega + q) + q(1-\tau)(\delta[x_L + \sqrt{(1-p)(x_H - x_L)(v_H - x_L)}] + (1-\delta)\sqrt{(1-p)x_L v_L}).$$

Рассмотрим иллюстративный численный пример, проявляющий разумные и естественные зависимости модельной оценки риска проекта с R&D от важнейших параметров модели.

В нашем примере мы зафиксируем значения следующих параметров модели:

R = 50 ед., $\omega = 0{,}1$, $\tau = 0{,}2$, p = 0,95, $x_L = 100$ ед. и $x_H = 2x_L = 200$ ед.

Результаты расчетов $E(VaR_p(X))$ в тех же четырех сценариях по формулам I, II, III и IV для треугольного распределения выплат приведены в соответствующих таблицах ниже.

В треугольном распределении существенным является мода этого распределения. Поэтому в наших сценариях мы будем рассматривать еще соответствующие 4 подсценария, связанные со значениями мод высоких и низких распределений выплат.

I) $v_H = 50$ ед., $v_L = 3$ ед.

То есть и для высокого, и для низкого распределения выплат мода (наиболее вероятное значение) достаточно низка.

При этих значениях, очевидно, выполняются неравенства $v_H \le px_L + (1-p)x_H$ и $v_L \le (1-p)x_L$ и поэтому при вычислении $E(VaR_p(X))$, применяя формулы I, получаем результаты, приведенные в *табл. 4*.

Таблица 4 / Table 4

Значения $E(VaR_p(X))$ в четырех сценариях при $v_H = 50$ ед., $v_L = 3$ ед. / $E(VaR_p(X))$ values in four scenarios at $\nu_H = 50\ unit, \nu_L = 3\ unit$.

	***q* = 0,4**	***q* = 0,6**
$\delta = 0{,}2$	a) –18,82	b) –25,72
$\delta = 0{,}6$	c) –9	d) –11

Источник / Source: расчеты автора / the author's calculations.

Эти результаты вполне согласуются с естественной логикой и ожиданиями. Заметим, что по сравнению с равномерным распределением оценка риска во всех сценариях выше, что естественно, так как моды сильно отклонены влево.

II) $v_H = 50$ ед., $v_L = 80$ ед.

То есть для высокого распределения выплат мода (наиболее вероятное значение) достаточно низка, а для низкого распределения — достаточно велика.

При этих значениях, очевидно, выполняются неравенства $v_H \le px_L + (1-p)x_H$ и $v_L \ge (1-p)x_L$ и поэтому при вычислении $E(VaR_p(X))$, применяя формулы II, получаем результаты, приведенные в *табл. 5*.

Таблица 5 / Table 5

Значения $E(VaR_p(X))$ в четырех сценариях при $v_H = 50$ ед., $v_L = 80$ ед. / $E(VaR_p(X))$ values in four scenarios at $\nu_H = 50\ unit, \nu_L = 80\ unit$.

	***q* = 0,4**	***q* = 0,6**
$\delta = 0{,}2$	a) –14,72	b) –19,58
$\delta = 0{,}6$	c) –6,96	d) –7,94

Источник / Source: расчеты автора / the author's calculations.

Эти результаты вполне согласуются с естественной логикой и ожиданиями. Заметим, что по сравнению с равномерным распределением оценка риска во всех сценариях все еще выше, что естественно, так как мода высокого распределения сильно отклонена влево. Но по сравнению со случаем I оценка рисков во всех четырех сценариях немного ниже.

III) $v_H = 150$ ед., $v_L = 3$ ед.

То есть для высокого распределения выплат мода (наиболее вероятное значение) достаточно велика, а для низкого распределения — низка.

При этих значениях, очевидно, выполняются неравенства $v_H \geq px_L + (1-p)x_H$ и $v_L \leq (1-p)x_L$ и поэтому при вычислении $E(VaR_p(X))$, применяя формулы III, получаем результаты, приведенные в *табл. 6*.

Таблица 6 / Table 6

Значения $E(VaR_p(X))$ в четырех сценариях при $v_H = 150$ ед., $v_L = 3$ ед. / $E(VaR_p(X))$ values in four scenarios at $\nu_H = 150\ unit, \nu_L = 3\ unit$.

	***q* = 0,4**	***q* = 0,6**
$\delta = 0,2$	a) –16,56	b) –22,37
$\delta = 0,6$	c) –2,25	d) –0,88

Источник / Source: расчеты автора / the author's calculations.

Эти результаты вполне согласуются с естественной логикой и ожиданиями. Заметим, что по сравнению с равномерным распределением оценка риска почти во всех сценариях ниже, что естественно, так как мода высокого распределения сильно отклонена вправо. Но по сравнению со случаем I оценка рисков во всех четырех сценариях ниже (в некоторых, намного).

IV) $v_H = 150$ ед., $v_L = 80$ ед.

То есть и для высокого, и для низкого распределения выплат мода (наиболее вероятное значение) достаточно велика.

При этих значениях, очевидно, выполняются неравенства $v_H \geq px_L + (1-p)x_H$ и $v_L \geq (1-p)x_L$ и поэтому при вычислении $E(VaR_p(X))$, применяя формулы IV, получаем результаты, приведенные в *табл. 7*.

Таблица 7 / Table 7

Значения $E(VaR_p(X))$ в четырех сценариях при $v_H = 150$ ед., $v_L = 80$ ед. / $E(VaR_p(X))$ values in four scenarios at $\nu_H = 150\ unit, \nu_L = 80\ unit$.

	***q* = 0,4**	***q* = 0,6**
$\delta = 0,2$	a) –12	b) –16,2
$\delta = 0,6$	c) –0,2	d) 2,19

Источник / Source: расчеты автора / the author's calculations.

Эти результаты вполне согласуются с естественной логикой и ожиданиями. Заметим, что по сравнению с равномерным распределением оценка риска во всех сценариях ниже, что естественно, так как мода и высокого, и низкого распределения сильно отклонена вправо. Но по сравнению со случаем I оценка рисков во всех четырех сценариях намного ниже. Кроме того, в данном случае, в сценарии *d*, с вероятностью 0,95 не предполагается никаких рисков. То есть с вероятностью 95%, в худшем случае окончательный результат (*NPV*) проекта с R&D 2,19 ед.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа посвящена малоисследованной области: количественным финансовым моделям оценки рисков в проектах с НИОКР (R&D). Потенциальное недофинансирование таких проектов связано как с высокой вероятностью отказа от их реализации после погружения в них и проведения первичной экспертизы, так и с подозрением слишком низкой вероятности высоких выплат. Наша модель учитывает эти важнейшие причины возникновения рисков в проектах с R&D, которые инвесторы интуитивно ощущают. Она позволяет оценить риски проектов с R&D при помощи меры риска VaR по различным параметрам. Данную модель можно использовать на практике для предварительной оценки риска проекта с R&D еще до принятия решения о его реализации. Также разработанную модель можно применять для стандартизации процесса принятия решения о реализации проектов с R&D со стандартизированным учетом «аппетита к риску» с применением меры риска VaR.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hall B.H., Lerner J. The financing of R&D and innovation. NBER Working Paper. 2009;(15325). URL: https://www.nber.org/papers/w15325.pdf (дата обращения: 05.12.2018).
2. Thakor R.T., Lo A.W. Optimal financing for R&D-intensive firms. NBER Working Paper. 2017;(23831). URL: https://www.nber.org/papers/w23831.pdf (дата обращения: 05.12.2018).
3. DiMasi J.A., Grabowski H.G., Hansen R.W. Innovation in the pharmaceutical industry: New estimates of R&D costs. *Journal of Health Economics*. 2016;47(C):20–33. DOI: 10.1016/j.jhealeco.2016.01.012
4. DiMasi J.A., Hansen R.W., Grabowski H.G., Lasagna L. Cost of innovation in the pharmaceutical industry. *Journal of Health Economics*. 1991;10(2):107–142. DOI: 10.1016/0167–6296(91)90001–4
5. Kerr W.R., Nanda R. Financing innovation. *Annual Review of Financial Economics*. 2015;7:445–462. DOI: 10.1146/annurev-financial-111914–041825
6. DiMasi J.A., Reichert J.M., Feldman L., Malins A. Clinical success rates for investigational cancer drugs. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*. 2013;94(3):329–335. DOI: 10.1038/clpt.2013.117
7. Grabowski H., Vernon J., DiMasi J.A. Returns on research and development for 1990s new drug introductions. *Pharmacoeconomics*. 2002;20(Suppl.3):11–29. DOI: 10.2165/00019053–200220003–00002
8. Keizer J.A., Halman J.I.M., Song M. From experience: Applying the risk diagnosing methodology. *Journal of Product Innovation Management*. 2002;19(3):213–232. DOI: 10.1016/S 0737–6782(02)00138–8
9. Mastroianni S.A. Risk management among Research and Development projects. Lehigh University. Theses and Dissertations. Paper. 2011;(1299). URL: https://preserve.lehigh.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2299&context=etd (дата обращения: 05.12.2018).
10. Choi H., Ahn J. Risk analysis models and risk degree determination in new product development: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management*. 2010;27(1–2):110–124. DOI: 10.1016/j.jengtecman.2010.03.006
11. McNamee P., Celona J. Decision analysis for the professional. San Jose, CA: SmartOrg, Inc.; 2008. 339 p.
12. Wang J., Lin W., Huang Y.-H. A performance- oriented risk management framework for innovative R&D projects. *Technovation*. 2010;30(11–12):601–611. DOI: 10.1016/j.technovation.2010.07.003
13. Jorion P. Value at risk: The new benchmark for managing financial risk. New York: McGraw-Hill Education; 2007. 624 p.
14. Круи М., Галай Д., Марк Р. Основы риск-менеджмента. Пер. с англ. М.: Юрайт; 2017. 390 с.
15. Hull J.C. Risk management and financial institutions. New York: Pearson Education Int.; 2007. 576 p.
16. Лимитовский М.А., Минасян В.Б. Анализ рисков инвестиционного проекта. *Управление финансовыми рисками*. 2011;(2):132–150.
17. Минасян В.Б. Стимулы и моральные риски во взаимоотношениях между принципалом и агентом. *Управление финансовыми рисками*. 2015;(3):172–184.

REFERENCES

1. Hall B.H., Lerner J. The financing of R&D and innovation. NBER Working Paper. 2009;(15325). URL: https://www.nber.org/papers/w15325.pdf (accessed 05.12.2018).
2. Thakor R.T., Lo A.W. Optimal financing for R&D-intensive firms. NBER Working Paper. 2017;(23831). URL: https://www.nber.org/papers/w23831.pdf (accessed on 05.12.2018).
3. DiMasi J.A., Grabowski H.G., Hansen R.W. Innovation in the pharmaceutical industry: New estimates of R&D costs. *Journal of Health Economics*. 2016;47(C):20–33. DOI: 10.1016/j.jhealeco.2016.01.012
4. DiMasi J.A., Hansen R.W., Grabowski H.G., Lasagna L. Cost of innovation in the pharmaceutical industry. *Journal of Health Economics*. 1991;10(2):107–142. DOI: 10.1016/0167–6296(91)90001–4
5. Kerr W.R., Nanda R. Financing innovation. *Annual Review of Financial Economics*. 2015;7:445–462. DOI: 10.1146/annurev-financial-111914–041825
6. DiMasi J.A., Reichert J.M., Feldman L., Malins A. Clinical success rates for investigational cancer drugs. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*. 2013;94(3):329–335. DOI: 10.1038/clpt.2013.117
7. Grabowski H., Vernon J., DiMasi J.A. Returns on research and development for 1990s new drug introductions. *Pharmacoeconomics*. 2002;20(Suppl.3):11–29. DOI: 10.2165/00019053–200220003–00002
8. Keizer J.A., Halman J.I.M., Song M. From experience: Applying the risk diagnosing methodology. *Journal of Product Innovation Management*. 2002;19(3):213–232. DOI: 10.1016/S 0737–6782(02)00138–8
9. Mastroianni S.A. Risk management among Research and Development projects. Lehigh University. Theses and Dissertations. Paper. 2011;(1299). URL: https://preserve.lehigh.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2299&context=etd (accessed on 05.12.2018).

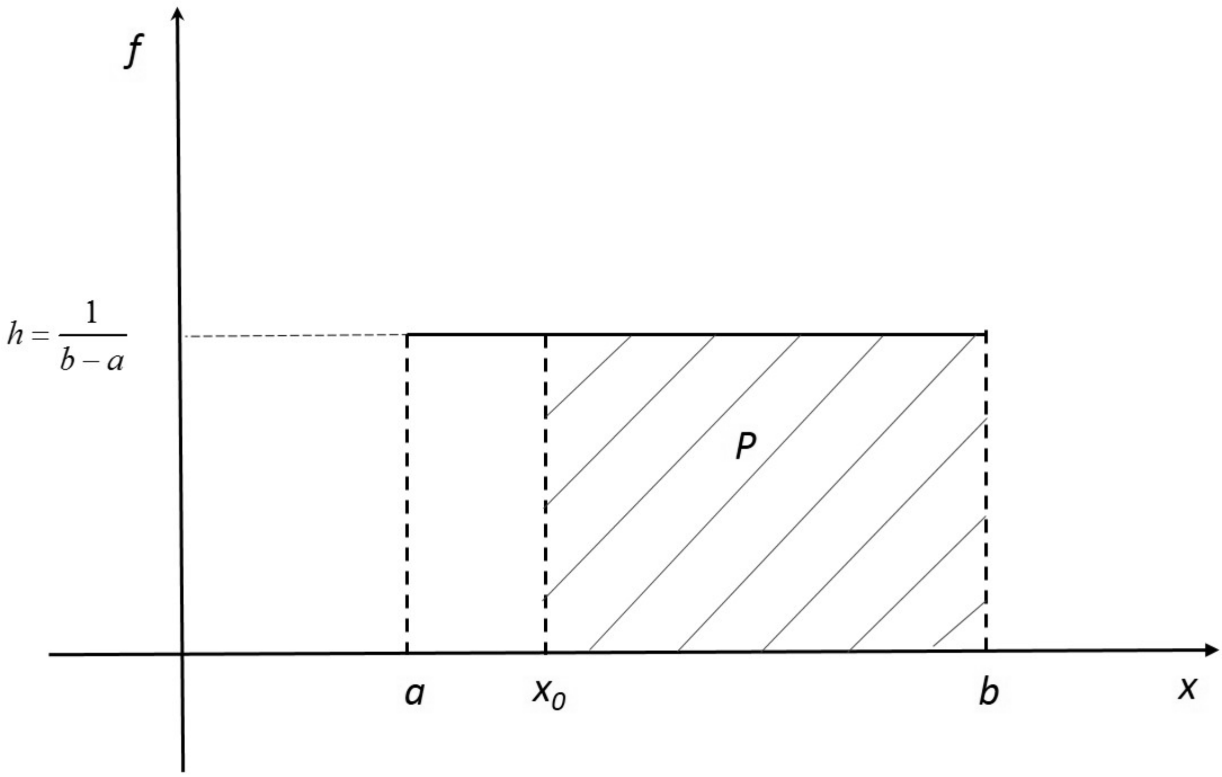
10. Choi H., Ahn J. Risk analysis models and risk degree determination in new product development: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management*. 2010;27(1–2):110–124. DOI: 10.1016/j.jengtecman.2010.03.006
11. McNamee P., Celona J. Decision analysis for the professional. San Jose, CA: SmartOrg, Inc.; 2008. 339 p.
12. Wang J., Lin W., Huang Y.-H. A performance- oriented risk management framework for innovative R&D projects. *Technovation*. 2010;30(11–12):601–611. DOI: 10.1016/j.technovation.2010.07.003
13. Jorion P. Value at risk: The new benchmark for managing financial risk. New York: McGraw-Hill Education; 2007. 624 p.
14. Crouhy M., Galai D., Mark R. The essentials of risk maqnagement. Transl. from Eng. Moscow: Urait; 2017. 390 p. (In Russ.).
15. Hull J.C. Risk management and financial institutions. New York: Pearson Education Int.; 2007. 576 p.
16. Limitovskii M.A., Minasyan V.B. Investment project risks analysis. *Upravlenie finansovymi riskami*. 2011;(2):132–150. (In Russ.).
17. Minasyan V.B. Incentives and moral risks in the relationship of a principal and an agent. *Upravlenie finansovymi riskami*. 2015;(3):172–184. (In Russ.).

Приложение 1

1. Пусть $VaR_p(X) = x_0 \Rightarrow P\{X > x_0\} = p \Leftrightarrow P\{\alpha X > \alpha x_0\} = p \Rightarrow VaR_p(\alpha X) = \alpha VaR_p(X)$.

2. Пусть $VaR_p(X) = x_0 \Rightarrow P\{X > x_0\} = p \Leftrightarrow P\{X + C > x_0 + C\} = p \Rightarrow VaR_p(X + C) = VaR_p(X) + C$.

Приложение 2

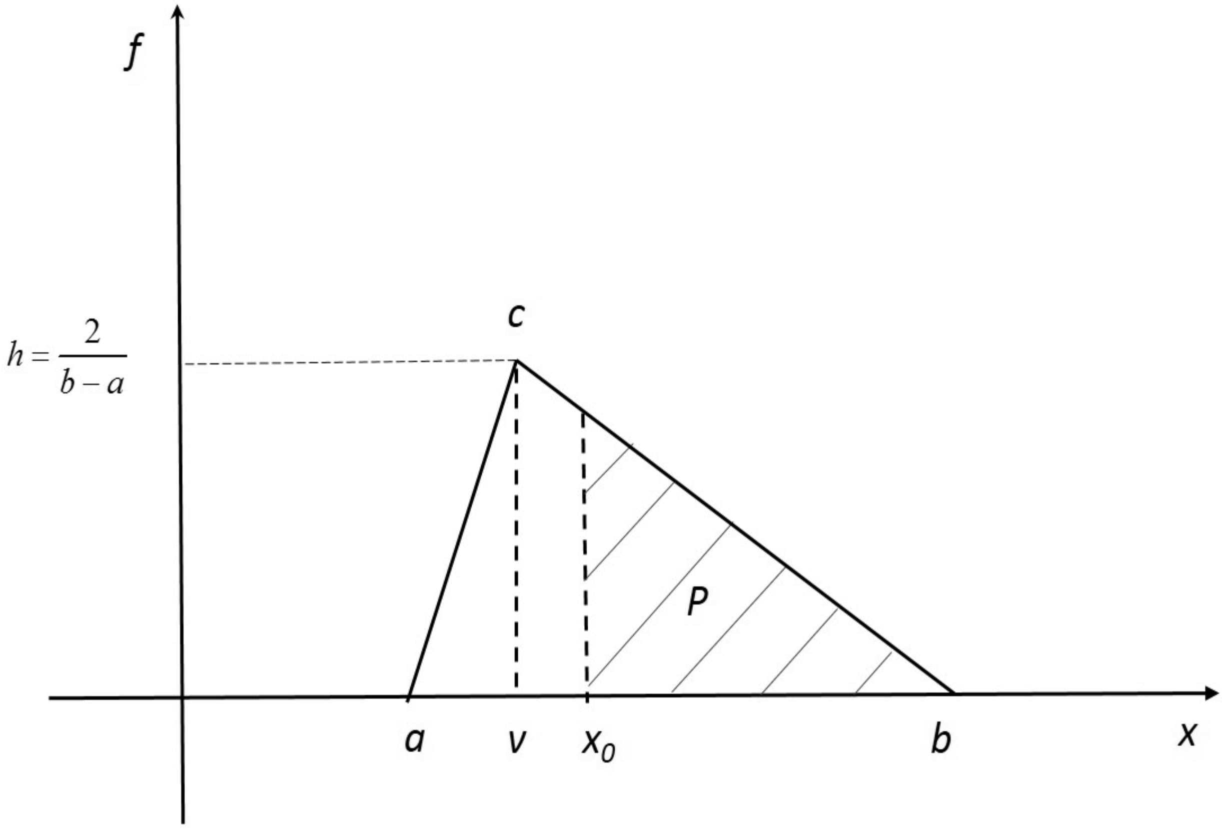


Плотность равномерного распределения / Uniform density

Источник / Source: рисунок автора / the figure made by the author.

Пусть $VaR_p(X) = x_0$, тогда из рисунка видно, что $\frac{b - x_0}{b - a} = p$, т.е. $x_0 = pa + (1 - p)b,$ а значит, $VaR_p(X) = pa + (1 - p)b.$

Приложение 3



Плотность треугольного распределения. Случай: $v \le pa + (1 - p)b$ **/ Triangular density. Case:** $v \le pa + (1 - p)b$

Источник / Source: рисунок автора / the figure made by the author.

Предположим, что площадь треугольника *Cbv* не меньше *p*. То есть $\frac{(b - v) \cdot 2}{2(b - a)} \ge p$, а значит, $v \le pa + (1 - p)b.$

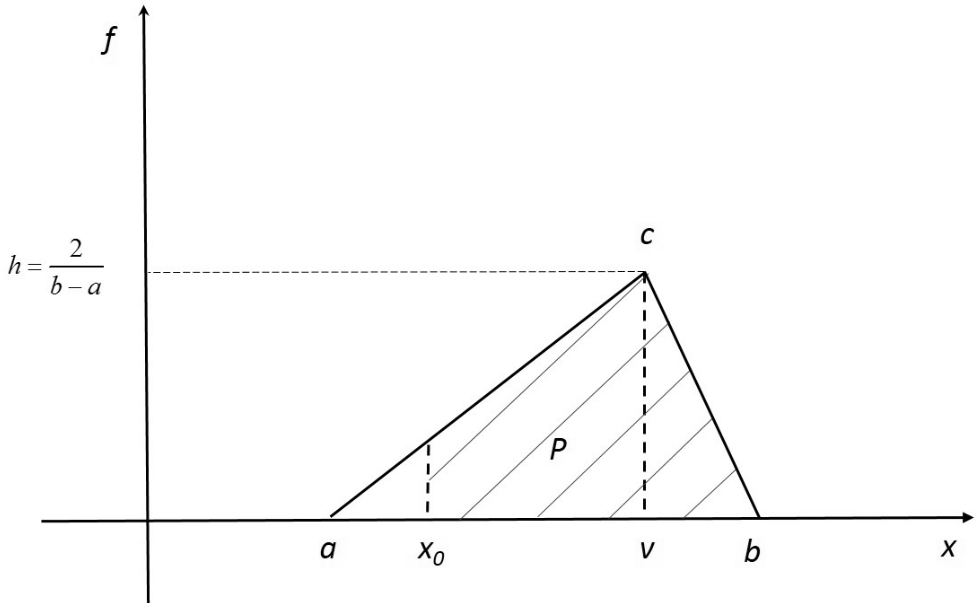
Если $VaR_p(X) = x_0$, то очевидно, что $x_0 \in [v, b).$

Уравнение прямой *bC* очевидно имеет вид: $y = \frac{2(b - x)}{(b - a)(b - v)}.$

Тогда ордината точки x_0 на этой прямой равна $y_0 = \frac{2(b - x_0)}{(b - a)(b - v)}.$

Из определения и смысла VaR, тогда получаем $\frac{(b - x_0)y_0}{2} = p$ и, значит, $\frac{(b - x_0)^2}{(b - a)(b - v)} = p$.

Отсюда следует, что $x_0 = b - \sqrt{p(b - a)(b - v)}$, а значит, $VaR_p(X) = b - \sqrt{p(b - a)(b - v)}.$



Плотность треугольного распределения. Случай: $v \geq pa+(1-p)b$ **/ Triangular density. Case:** $v \geq pa+(1-p)b$

Источник / Source: рисунок автора / the figure made by the author.

Предположим, что площадь треугольника *Cbv* не больше *p*. То есть $\dfrac{(b-v)\cdot 2}{2(b-a)} \leq p$, а значит, $v \geq pa+(1-p)b$. Если $VaR_p(X)=x_0$, то очевидно, что $x_0 \in (a,v]$.

Уравнение прямой *aC*, очевидно, имеет вид: $y=\dfrac{2(x-a)}{(b-a)(v-a)}$. Тогда ордината точки x_0 на этой прямой равна $y_0=\dfrac{2(x_0-a)}{(b-a)(v-a)}$. Из определения и смысла VaR тогда получаем $\dfrac{(x_0-a)y_0}{2}=1-p$ и, значит,

$$\frac{(x_0-a)^2}{(b-a)(v-a)}=1-p\,.$$

Отсюда следует, что $x_0=a+\sqrt{(1-p)(b-a)(v-a)}$, а значит, $VaR_p(X)=a+\sqrt{(1-p)(b-a)(v-a)}$.

Заметим, что пороговой точкой, при переходе через которую меняется аналитическое выражение для VaR, для треугольного распределения оказалось значение VaR при равномерном распределении прибыли. Наблюдается своего рода «фазовый переход».

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Виген Бабкенович Минасян **—** кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой корпоративных финансов, инвестиционного проектирования и оценки им. М.А. Лимитовского, Высшая школа финансов и менеджмента РАНХ и ГС при Президенте РФ, Москва, Россия
minasyanvb@ranepa.ru, minasyanvb@yandex.ru

ABOUT THE AUTHOR

Vigen B. Minasyan **—** Cand. Sci. (Phis.-Math.), Associate professor, Head of the Corporate Finance, Investment Decisions and Valuation Chair named after M. Limitovsky, Higher School of Finance and Management, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia
minasyanvb@ranepa.ru, minasyanvb@yandex.ru

Статья поступила 05.10.2018; принята к публикации 05.12.2018.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.
The article was received on 05.10.2018; accepted for publication on 05.12.2018.
The author read and approved the final version of the manuscript.