Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА И ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

Минасян В.Б.

Оценка рисков проектов С R&D с помощью меры риска VaR И ES

Москва 2020

Аннотация. Препринт подготовлен по материалам научно-исследовательской работы, выполненной в РАНХиГС при Президенте Российской Федерации в 2019 г.

В данной работе предложена модель по оценке рисков проектов компаний, в которых присутствует R&D (Research & Development) – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), 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. В работе получил развитие метод оценки соответствующих рисков, с помощью модифицированной для данного применения меры VaR.Построенная модель позволяет оценить риски проектов с R&D с помощью меры риска VaR при всевозможных параметрах, присутствующих в модели.

Одновременно в работе приведен анализ уровня влияния проектов с R&D на экономику в целом.

Минасян В.Б. старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории корпоративных стратегий ВШФМ Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ.

Данная работа подготовлена на основе материалов научно-исследовательской работы, выполненной в соответствии с Государственным заданием РАНХиГС при Президенте Российской Федерации на 2019 год.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Компании, реализующие проекты с НИОКР (R & D), сталкиваются с их уникальными особенностями: они требуют больших капитальных вложений, длительного срока их реализации, связаны высоким потенциалом роста и низкой вероятностью успеха, а также с проблемами финансирования. Часть возникающих проблем исследовалась прежде и продолжает исследоваться в настоящее время. В последние годы появились исследования на модельном уровне проблем с финансированием R&D проектов. Проблема рисков, возникающих при реализации проектов R&D, на описательном уровне рассматривалась во многих работах. На модельном уровне, с нашей точки зрения, данная проблема пока недостаточно исследована. Вопросу финансирования компаний, реализующих проекты с R&D, посвящена достаточно обширная литература. Исследования свидетельствовали о дефиците финансирования таких проектов, что создает недостаточное инвестирование в R&D и влечет проблемы для технологических инноваций (см. [1]). В работе [2] было высказано предположение, что этот дефицит финансирования возникает из-за следующих особенностей проектов с R & D:

1 Проекты с R & D является дорогостоящими. (Например, стоимость разработки одного нового препарата в биофармацевтической отрасли оценивается в $ 2,6 млрд., см. [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 (см. [4] и [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 (см. [4], [6]), но высокие выплаты в случае успеха (например, [5], [7]).

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

Из вышесказанного следует, что реализация проектов с R&D связана с большими рисками и это приводит к их недофинансированию, т.к. 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 часто инвесторы могут отказаться от проектов, оцененный риск которых мог оказаться приемлемым, или могут реализовывать проекты, от которых они бы отказались, если бы смогли оценить риск, связанный с ними.

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРОЕКТОВ С R&D С ПОМОЩЬЮ МЕРЫ РИСКА VaR И ES

1 Модели оценки рисков деятельности компаний, реализующих проекты с НИОКР

Большинство моделей, связанных с оценкой рисков проектов R&D и вообще инновационных проектов представляются скоринговыми моделями, в которых различные факторы риска оцениваются баллами и далее по определенной методологии рассчитывается некий результирующий балл, который представляется оценкой риска данного проекта (см, например, [8] или [9]).

Однако, скоринговые модели, получившие большое применение на практике, чаще всего не имеют теоретического обоснования получаемых оценок. Они применимы для практической диагностики рисков, но мера субъективности оценок здесь такова, что назвать эти модели теоретическими сложно. Есть исследования, где предлагается исследовать риски инновационных проектов, применяя методы нечетких множеств (см., например, [10]). Многопериодные модели, с рассмотрением различных сценариев в каждом периоде изучались в руководстве [11]. В нем также исследовались 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], в том числе, рассматривается 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, кроме, быть может, сделать предположение о носителе этого распределения (результат будет где- то между определенным минимальным значением и определенным максимальным значением). Ну и, в лучшем случае, спрогнозировать значение моды (наиболее вероятного значения). Этим всем признаком 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 распределения выбираются экспертно, опираясь на глубокое понимание экспертом конкретной области R&D, к которой относится данный проект, анализ рынка, его глубины, а также оценки возможного интереса 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:

а) равномерное, для случая, когда представления инвестора о законе распределения результата ограничиваются лишь определением его носителя (где то, между двумя значениями), предполагающее одинаковую возможность реализации каждого значения в данном носителе,

б) треугольное распределение с так же 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 моделей, 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 данной работы состоит в предложении модели для оценки рисков проектов с R&D. Вопросы финансирования проектов с R&D мы не рассматриваем, т.к. они хорошо изучены (см. [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, и в случае положительного результата этой проверки принимается решение о величине основной инвестиции в проект. Наша модель будет многопериодной и в каждом периоде возможны различные сценарии, приводящие к различному уровню риска. При этом, действия инвестора будут различаться в зависимости от сценария. На третьем этапе рассматриваются два подсценария (в среднем, «низкого» и «высокого» результата), которые могут приводить к различному уровню риска с точки зрения инвестора.

Хотя мы фокусируемся на проектах с R & D, наш анализ имеет широкое применение в других отраслях, где вероятность успеха невелика, но выплата при условии успеха высока. 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, а также достаточность возможностей у компании финансирования данного проекта. В данной работе мы предполагаем, что все эти возможности у компании существуют и компания проявляет явный интерес к реализации данного 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 ω R 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 проектов с R & D, таких, 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

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

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

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 после налоговая 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 ω R 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, стоит ли дальше реализовывать проект.

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 проектом с R & D. Это связано с важным предположением в нашем анализе: R & D, проведенное компанией, опирается на узкоспециализированные знания и создает эти знания.

На рисунке 1, мы графически суммировали стадии R & D инвестиций в модели.

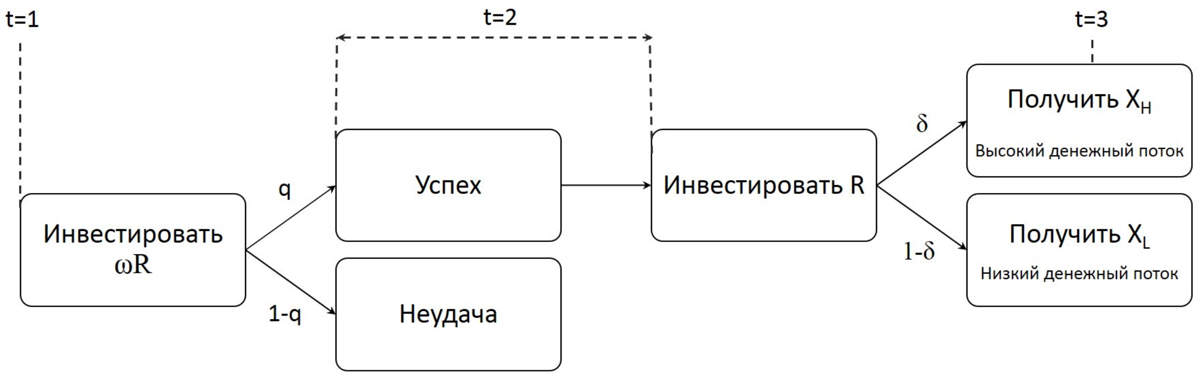

Рисунок 1 - Временной график инвестиций R&D/

Time schedule of investments of R&D

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.

Таблица 1 - Временная линия событий и решений/ Temporary line of events and decisions

t = 0	t =1	t =2	t =3
- выбирается очередной проект с R&D для рассмотрения - выясняется, что нужна сумма ω R для первоначальной R & D инвестиции при t = 1 и сумма R для последующего инвестирования при t = 2.	- компания инвестирует сумму ω R 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 .

2 Мера риска VaR для инвестиций в проекты с R&D

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

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

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

где q = p(G), qδ = p(G)p(H|G), q(1-δ) = p(G)p(L|G).

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 (см. [14], [15]), нашедшей применение для оценки рисков в других областях (см., например, [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 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). Т.е. $VaR_p(X)$ 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 :

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.

Доказательство

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

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

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

$$VaR_p(X \mid G \cdot H) = (1 - \tau) VaR_p(X_H) - R(1 + \omega), \tag{4}$$

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

$$VaR_p(X \mid G \cdot L) = (1 - \tau) VaR_p(X_L) - R(1 + \omega). \tag{5}$$

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

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

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

Т.е.

$$E(VaR_p(X)) = -R(\omega+q) + q(1-\tau)[\delta VaR_p(X_H) + (1-\delta)VaR_p(X_L)]. \quad (6)$$

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.

3 VaR проекта с R&D при равномерном распределении выплаты

Мы воспользуемся справедливостью следующего простого утверждения.

Предложение 2

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

$$VaR_p(X) = pa + (1-p)b. \quad (7)$$

Доказательство

Пусть $VaR_p(X) = x_0$, тогда из рисунка 2 видно, что

$\frac{b-x_0}{b-a} = p$, т.е.

$x_0 = pa + (1-p)b,$ а значит

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

Из формулы (6) с помощью предложения 2 получаем:

$$E(VaR_p(X)) = -R(\omega+q) + q(1-\tau)[\delta(px_L + (1-p)x_H) + (1-\delta)(1-p)x_L] \quad (8)$$

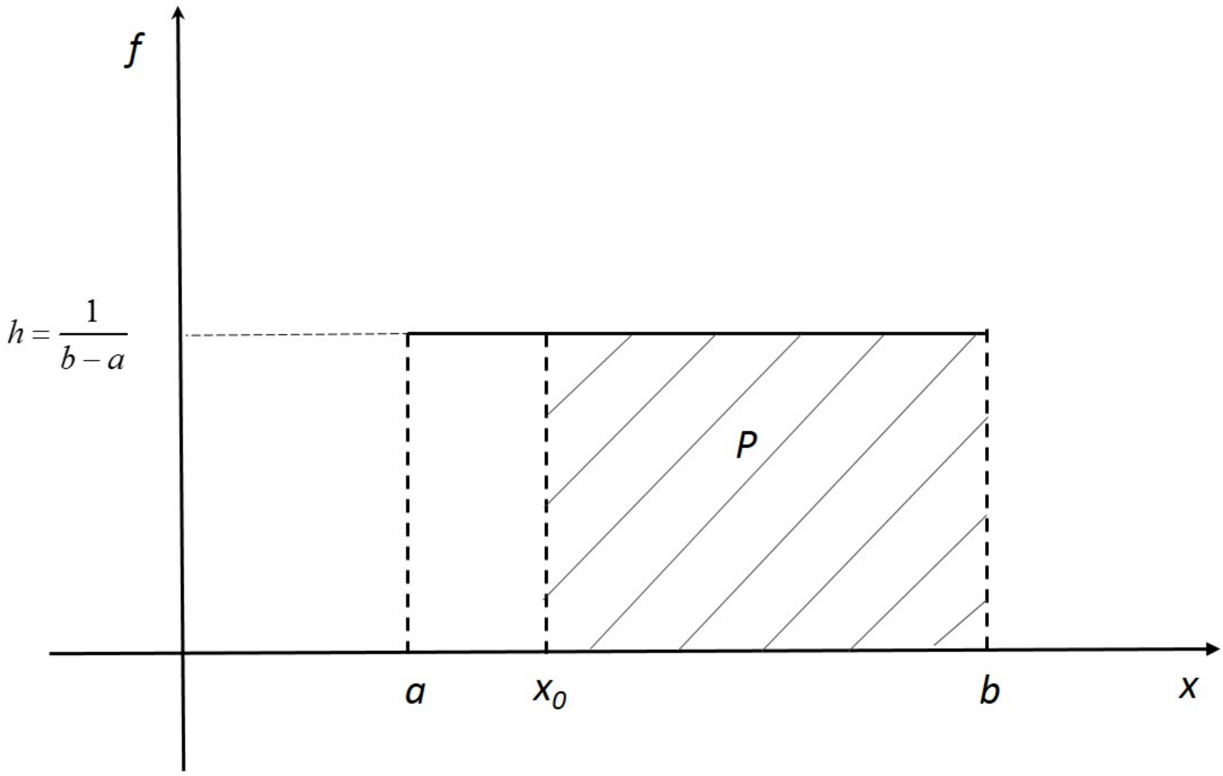

Рисунок 2 - Плотность равномерного распределения/

Density of uniform distribution

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 $x_H = 2x_L = 200 ед.$ т.е. 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:

а) q = 0.4 и $\delta = 0.2$

Т.е. 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.

б) q = 0.6 и $\delta = 0.2$

Т.е. 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.

в) q = 0.4 и $\delta = 0.6$

Т.е. 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.

г) q = 0.6 и $\delta = 0.6$

Т.е. 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 $E(VaR_p(X))$ в этих четырех сценариях по формуле (8) для равномерного распределения выплат приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Значения $E(VaR_p(X))$ в четырех сценариях при $x_H = 2x_L = 200 ed.$

	q = 0.4	q = 0.6
$\delta = 0.2$	a) - 17	b) - 23
$\delta = 0.6$	c) - 4.2	d) - 3.8

Эти результаты вполне согласуются с естественной логикой и ожиданиями.

2 $x_H = 5x_L = 500ед.$ Т.е. 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 (8) для равномерного распределения выплат приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Значения $E(VaR_p(X))$ в четырех сценариях при $x_H = 5x_L = 500ед.$

	q = 0.4	q = 0.6
$\delta = 0.2$	- 16.04	- 21.56
$\delta = 0.6$	- 1.32	- 0.44

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.

4 VaR проекта с R&D при треугольном распределении выплаты

Мы воспользуемся справедливостью следующего утверждения.

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

Доказательство

1 Предположим, что площадь треугольника Cbv не меньше p. (см рисунок 3) т.е.

$\frac{(b-v)\cdot 2}{2(b-a)} \geq p$, а значит $v \leq pa+(1-p)b$.

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

$$y_0=\frac{2(b-x_0)}{(b-a)(b-v)}.$$

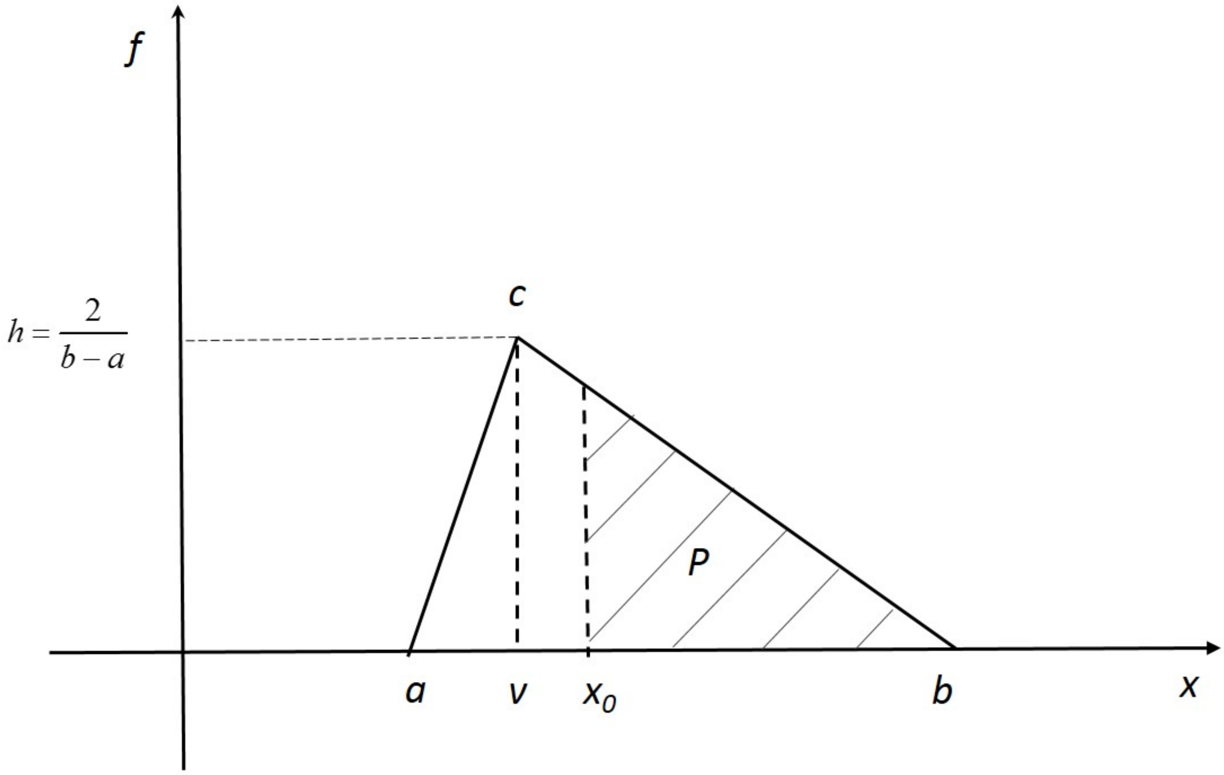

Рисунок 3 - Плотность треугольного распределения. Случай: $v \leq pa+(1-p)b$.

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

$$VaR_p(X)=b-\sqrt{p(b-a)(b-v)}. \quad (9)$$

2 Предположим, что площадь треугольника Cbv не больше p (см рисунок 4) т.е.

$\frac{(b-v)\cdot 2}{2(b-a)} \le p$, а значит $v \ge pa + (1-p)b$.

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

Уравнение прямой aC очевидно имеет вид:

$$y = \frac{2(x-a)}{(b-a)(v-a)}.$$

Тогда ордината точки x_0 на этой прямой равна

$$y_0 = \frac{2(x_0-a)}{(b-a)(v-a)}.$$

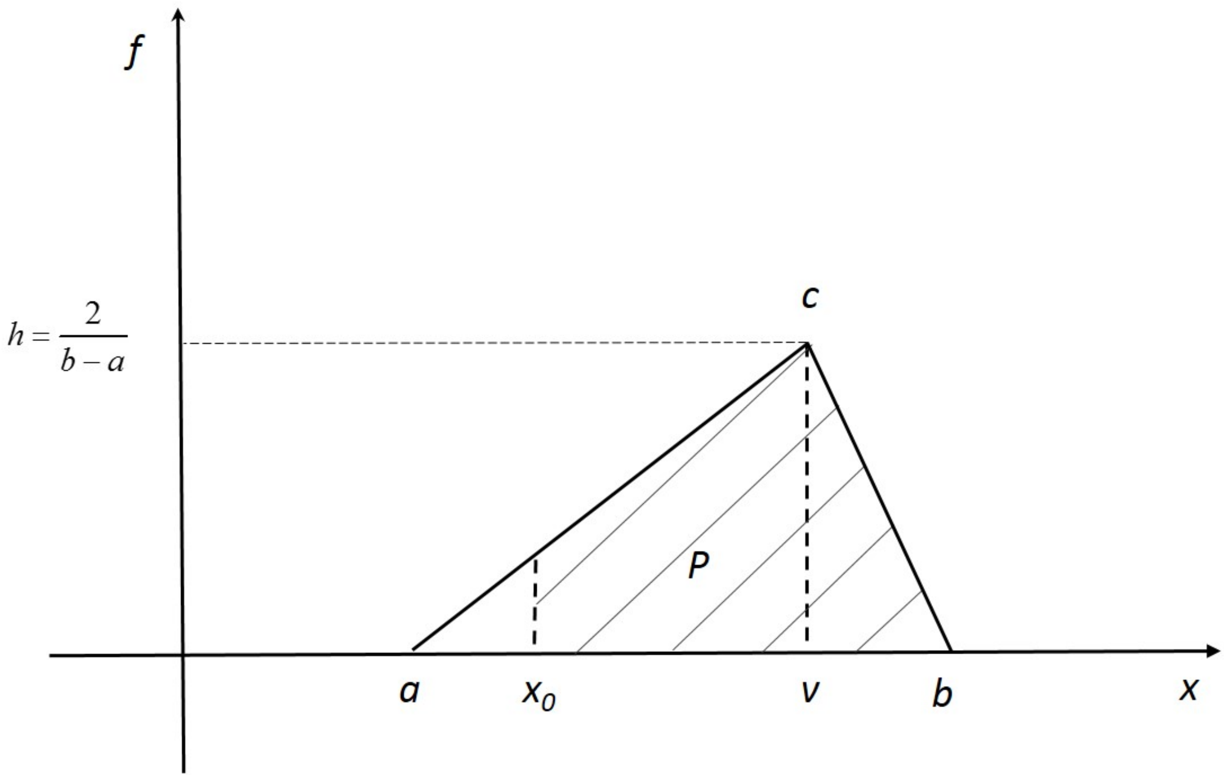

Рисунок 4 - Плотность треугольного распределения. Случай: $v \ge pa + (1-p)b$

Из определения и смысла VaR, тогда получаем

$\frac{(x_0-a)y_0}{2} = 1-p$ 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

$$VaR_p(X) = a + \sqrt{(1-p)(b-a)(v-a)}. \qquad (10)$$

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».

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 (6) мы видим, что в зависимости от реализации четырех случаев, должны быть четыре разных выражения для этой величины:

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

$$E(VaR_p(X)) = -R(\omega + q) + q(1-\tau)(\delta[x_H - \sqrt{p(x_H - x_L)(x_H - v_H)}] +$$
$$+ (1-\delta)[x_L - \sqrt{px_L(x_L - v_L)}]). \qquad (11)$$

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

$$E(VaR_p(X)) = -R(\omega + q) + q(1-\tau)(\delta[x_H - \sqrt{p(x_H - x_L)(x_H - v_H)}] +$$
$$+ (1-\delta)\sqrt{(1-p)x_L v_L}). \qquad (12)$$

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

$$E(VaR_p(X)) = R(\omega + q) + q(1-\tau)(\delta[x_L + \sqrt{(1-p)(x_H - x_L)(v_H - x_L)}] +$$
$$+ (1-\delta)[x_L - \sqrt{px_L(x_L - v_L)}]). \qquad (13)$$

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

$$E(VaR_p(X)) = R(\omega + q) + q(1-\tau)(\delta[x_L + \sqrt{(1-p)(x_H - x_L)(v_H - x_L)}] +$$
$$+ (1-\delta)\sqrt{(1-p)x_L v_L}). \qquad (14)$$

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 (11), (12), (13) и (14) 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.

1 $v_H = 50 ед., v_L = 3 ед.$

Т.е. 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 (11), получаем результаты, приведенные в таблице 4.

Таблица 4 - Значения $E(VaR_p(X))$ в четырех сценариях при $v_H = 50ед., v_L = 3ед.$

	q = 0.4	q = 0.6
$\delta = 0.2$	a) – 18.82	b) – 25.72
$\delta = 0.6$	c) - 9	d) - 11

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

2 $v_H = 50ед., v_L = 80ед.$

Т.е. 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 (12), получаем результаты, приведенные в таблице 5.

Таблица 5 - Значения $E(VaR_p(X))$ в четырех сценариях при $v_H = 50ед., v_L = 80ед.$

	q = 0.4	q = 0.6
$\delta = 0.2$	a) – 14.72	b) – 19.58
$\delta = 0.6$	c) – 6.96	d) – 7.94

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, т.к. мода высокого распределения сильно отклонена влево. Но по сравнению со случаем (11) оценка рисков во всех четырех сценариях немного ниже.

3 $v_H = 150ед., v_L = 3ед.$

Т.е. 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 (13) получаем результаты, приведенные в таблице 6.

Таблица 6 - Значения $E(VaR_p(X))$ в четырех сценариях при $v_H = 150ед., v_L = 3ед.$

	q = 0.4	q = 0.6
$\delta = 0.2$	a) – 16.56	b) – 22.37
$\delta = 0.6$	c) – 2.25	d) – 0.88

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, т.к. мода высокого распределения сильно отклонена вправо. Но по сравнению со случаем (11) оценка рисков во всех четырех сценариях ниже (в некоторых, намного).

4 $v_H = 150ед., v_L = 80ед.$

Т.е. 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 (14), получаем результаты, приведенные в таблице 7.

Таблица 7 - Значения $E(VaR_p(X))$ в четырех сценариях при $v_H = 150ед., v_L = 80ед.$

	q = 0.4	q = 0.6
$\delta = 0.2$	a) – 12	b) – 16.2
$\delta = 0.6$	c) – 0.2	d) 2.19

Эти результаты вполне согласуются с естественной логикой и ожиданиями. Заметим, что по сравнению с равномерным распределением оценка риска во всех сценариях ниже, что естественно, т.к. мода и высокого, и низкого распределения сильно отклонена вправо. Но по сравнению со случаем 1) оценка рисков во всех четырех сценариях намного ниже. Кроме того, в данном случае, в сценарии d), с вероятностью 0.95 не предполагается никаких рисков. Т.е. 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 R&D.

Потенциальное недофинансирование проектов с R & D связано как с высокой вероятностью отказа от реализации проекта после погружения в него и проведения первичной экспертизы, так и с предположением о слишком низкой вероятности высоких выплат. Наша модель подстроена для учета этих важнейших причин возникновения рисков в проектах с R&D, которые инвесторы интуитивно ощущают. Построенная модель позволяет оценить риски проектов с R&D с помощью меры риска VaR при всевозможных параметрах, присутствующих в модели. Данную модель можно использовать на практике как для предварительной оценки риска проекта R&D еще до его реализации и принятия решения о реализации с учетом риска, так и для стандартизации процесса принятия решения о реализации проектов с R&D с стандартизированным учетом «аппетита к риску» с применением меры риска VaR.

Помимо макроэкономических факторов влияния на инвестиционную привлекательность страны всегда следует рассмотреть фактор влияния расходов на Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в стране. Приведем сравнительный анализ средних суммарных расходов на НИОКР от общей выручки компаний по странам (Таблица 8):

Доля от выручки, которую российские компании направляют на НИОКР, , в среднем, достаточно низкая по сравнению с экономиками стран, где научно-технический прогресс компаниями рассматривается как драйвер будущего роста и поддержания лидерства на международных рынках. Именно поэтому за последние несколько лет мы наблюдаем колоссальный рост американских фондовых площадок, так как инвесторы все больше и больше предпочитают вкладывать средства в инновационные компании, с большой долей расходов на

НИОКР и впоследствии реализация данных разработок в собственных бизнес процессах компаний или реализация инновационного решения на рынке.

Таблица 8 – Статистические данные средних суммарных расходов на НИОКР от общей выручки компаний по странам 2014-2016 гг (%).

Страна	2014 г	2015 г	2016 г
США	26,9	26,4	26,4
Китай	19,1	19,8	20,3
Япония	9,1	8,7	8,6
Германия	5,7	5,7	5,6
Респ. Корея	3,6	4,0	4,0
Индия	3,4	3,5	3,7
Франция	3,2	3,1	3,1
Россия	3,0	2,7	2,6
Великобритания	2,4	2,4	2,3
Бразилия	2,1	2,0	1,9
Канада	1,7	1,5	1,5
Австралия	1,4	1,4	1,4
Италия	1,4	1,4	1,4
Тайвань	1,3	1,3	1,3
Испания	1,1	1,1	1,1

Для примера приведем динамику индекса NASDAQ (индекс рассчитанный по технологичным компаниям на американской бирже) за последние 10 лет (Рисунок 5-6)[1]:

Данный индекс вырос в 4,5 раза за период с 2009 по 2019, что является следствием активного финансирования американскими компаниями отделов НИОКР, которые принесли свои плоды.

Для сравнения приведем динамику технологичного сектора фондового рынка РФ, но за меньший период, так как данный индекс был создан только в 2012 году.

[1] URL: https://ru.investing.com/indices/nasdaq-composite

Рисунок 5 - Динамика индекса технологичных компаний американской биржи NASDAQ. Доллары США

Рисунок 6 - Динамика индекса технологичных компаний российской биржи. рубли

Индекс инноваций российского фондового рынка за последние 7 лет упал практически в 2,5 раза, что может являться следствием низких затрат на НИОКР.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Hall B. H., Lerner J. The Financing of R&D and Innovation // Handbook of the Economics of Innovation. – 2010. – №1. – P. 609-639.

2 Thakor R.T., Lo A.W. Optimal financing for R&D-intensive firms // MIT Sloan School Working Paper. – 2017. – №5240-17. – P. 1- 60.

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. – P. 20-33

4 DiMasi J. A., Hanse R.W., Henry G., Grabowski H.G., Lasagna L. Cost of innovation in the pharmaceutical industry // Journal of Health Economics. – 1991. – №10 (2). – P. 107-142.

5 Kerr W. R., Nanda R. Financing Innovation // Annual Review of Financial Economics. – 2015. – №7 (1). – P. 123-145.

6 DiMasi J. A., Reichert J.M., Feldman L., Malins A. Clinical approval success rates for investigational cancer drugs // Clinical Pharmacology &Therapeutics. – 2013. – №94 (3). – P. 329-335.

7 Grabowski H., Vernon J., DiMasi J.A. Returns on research and development for 1990s new drug introductions // Pharmacoeconomics. – 2002. – №20 (3). – P. 11-29.

8 Keizer J.A., Halman J.I.M., Song M. From experience: applying the risk diagnosing methodology // The Journal of Product Innovation Management. – 2002. – №19. – P. 213-232.

9 Mastroianni S.A. Risk management among Research and Development Projects // Theses and Dissertations. Lehigh University. – 2011. – №2. – P. 132-150.

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). – P. 110-124.

11 Mc Namee P., Celona J. Decision Analysis for Professional. – USA: SmartOrg, Inc, 2008. – P. 342.

12 Wang J., Lin W., Yu-Hsiang Huang. A performance- oriented risk management framework for innovative R&D project // Technovation. – 2010. – Vol 30, Is 11-12. – P. 601-611.

13 Jorion P. Value at Risk. – New York: McGraw-Hill, 2007. – P. 642.

14 Кроуи М., Галай Д., Марк Р. Основы риск-менеджмента. – М.: Юрайт; 2017. – С. 390.

15 Hull J.C. Risk Management and Financial Institutions. – USA: Wiley, 2015. – P. 743.

16 Лимитовский М.А., Минасян В.Б. Анализ рисков инвестиционного проекта // Управление финансовыми рисками. – 2011. – №2. – С. 132-150.

17 Минасян В.Б. Стимулы и моральные риски во взаимоотношениях между принципалом и агентом // Управление финансовыми рисками. – 2015. – №3. – С. 172-184.