



# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОНОМИКИ

УДК 330.322.01  
JEL G24; G32; M13

## НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА\*

**БАРАНОВ АЛЕКСАНДР ОЛЕГОВИЧ,**

*доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической теории, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, ведущий научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия*  
[baranov@ieie.nsc.ru](mailto:baranov@ieie.nsc.ru)

**МУЗЫКО ЕЛЕНА ИГОРЕВНА,**

*кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической теории и прикладной экономики, Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия*  
[mei927@mail.ru](mailto:mei927@mail.ru)

**ПАВЛОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ,**

*доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и информационных технологий, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия*  
[victor\\_n\\_pavlov@mail.ru](mailto:victor_n_pavlov@mail.ru)

### АННОТАЦИЯ

Для инвестиций, которые осуществляют венчурные фонды, характерны высокие неопределенность и риск, и они достаточно часто имеют поэтапную природу. В связи с этим традиционный метод дисконтированных денежных потоков может быть дополнен иными подходами, способными учесть гибкость в принятии решений, в частности посредством оценки эффективности инновационного проекта с помощью методов, используемых в мировой практике, но пока не нашедших в России широкого применения. Одним из таких методов является метод реальных опционов. Традиционный анализ эффективности инновационного проекта также может быть дополнен исследованием влияния на показатели эффективности неопределенности генерируемых проектом будущих финансовых потоков с помощью метода нечетких множеств. Применение метода реальных опционов, а также аппарата нечетких множеств является, по мнению авторов, направлением совершенствования существующих методов оценки эффективности инновационных проектов. Статья посвящена нечетко-множественной оценке устойчивости генерируемых инновационным проектом финансовых потоков и показателей его эффективности. Кратко описывается методика оценки надежности и устойчивости нечетких показателей. Представлены результаты расчетов нечетко-множественных показателей оценки экономической эффективности реального инновационного проекта, реализуемого на территории России и финансируемого за счет

\* Работа выполнена в рамках научного проекта № 15-06-06914 «Разработка и применение новых методов оценки экономической эффективности инновационных проектов с венчурным финансированием в промышленности», поддержанного Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ).

средств венчурного фонда. Дана содержательная интерпретация полученных результатов. Описывается применение нечетко-множественного подхода к оценке стоимости составного колл-опциона по модели Геске–Хсу, использование которого дает дополнительные возможности.

**Ключевые слова:** инновационный проект; венчурное финансирование; неопределенность; метод реальных опционов; нечеткие множества; модель Геске; составной колл-опцион; прогнозирование денежных потоков.

## FUZZY SET ASSESSMENT OF INNOVATIVE PROJECT EFFECTIVENESS PARAMETERS\*\*

### **BARANOVA O.**

*ScD (Economics), full professor, Head of the Economic Theory Department, Novosibirsk State National Research University, leading researcher at the Institute of Economics and Industrial Engineering the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*  
baranov@ieie.nsc.ru

### **MUSYKO E.I.**

*PhD (Economics), associate professor of the Economic Theory and Applied Economics Department, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*  
mei927@mail.ru

### **PAVLOV V.N.**

*ScD (Engineering), full professor of the Information Systems and Information Technology Department, Saint Petersburg State Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia*  
victor\_n\_pavlov@mail.ru

### **ABSTRACT**

Investments made by venture capital funds are characterized by high uncertainty and risk, and quite often they have a step-by-step implementation scenario. In this regard, the traditional discounted cash flow method can be supplemented with other approaches that take into account the flexibility in decision-making, in particular, by assessing the effectiveness of an innovative project with methods that are used abroad but so far have not found wide application in Russia. One of these methods is the method of real options. The traditional analysis of the innovation project effectiveness can also be augmented by the study of the impact of the uncertainty of future cash flows generated by the project on the effectiveness indices using the method of fuzzy sets. The application of real options as well as fuzzy sets is, according to the authors, a way to improve the existing methods of assessing the cost-effectiveness of innovative projects. The paper is devoted to fuzzy-set assessment of the sustainability of financial flows generated by an innovative project and its effectiveness indices. Briefly described is a methodology for estimating the reliability and stability of the fuzzy metrics. The results of computing fuzzy set indices to assess the cost effectiveness of real innovative projects implemented in the territory of Russia and funded by venture capital funds are provided. A meaningful interpretation of the results obtained is given. The use of the fuzzy-set approach to the value assessment of a composite call option by the Geske-Hsu model giving additional opportunities is described.

**Keywords:** innovative project; venture financing; uncertainty; real options method; fuzzy sets, Geske model, composite call option; cash flow forecasting.

---

\*\* The study was performed as part of research project No. 15-06-06914 «Development and Application of New Methods for Assessment of the Economic Efficiency of Innovative Projects with Venture Financing in the Industry" supported by the Russian Fundamental Research Fund (RFBR).

Для инвестиций, которые осуществляют венчурные фонды, характерны высокие неопределенность и риск, и они достаточно часто имеют поэтапную природу. В связи с этим традиционный метод дисконтированных денежных потоков (метод *NPV*) может быть дополнен иными подходами, способными учесть гибкость в принятии решений, в частности посредством оценки эффективности инновационного проекта с помощью методов, используемых в мировой практике, но пока не нашедших в России широкого применения. Одним из таких методов является метод реальных опционов.

Концепция реальных опционов возникла в результате переноса созданного инструментария управления рисками с помощью опционных контрактов из финансового в реальный сектор экономики. Реальный опцион представляет собой инструмент уменьшения неопределенности инновационного проекта посредством создания опционов, базовым активом по которым выступают доходы, генерируемые инновационным проектом, менеджмент которого обладает управленческой гибкостью при принятии решений о дальнейшей его реализации.

Традиционный анализ эффективности инновационного проекта также может быть дополнен исследованием влияния на показатели эффективности неопределенности генерируемых проектом будущих финансовых потоков с помощью метода нечетких множеств. Применение метода реальных опционов, а также аппарата нечетких множеств является, по нашему мнению, направлением совершенствования существующих методов оценки эффективности инновационных проектов.

При выборе модели оценки реального опциона для случая венчурного инвестирования необходимо подобрать модель, которая будет учитывать тот факт, что волатильность цены базового актива изменяется с течением времени. Формула, полученная Блэком и Шоулзом (1973) [1] для оценки стоимости европейского колл-опциона, а также формула Геске (1979) [2], полученная для оценки двухстадийного составного европейского колл-опциона, применимы только в случае постоянной волатильности стоимости базового актива. Постоянство волатильности стоимости базового актива является одной из предпосылок и квадратичной модели Вэйли [3], полученной на основе формулы Блэка–Шоулза для оценки стоимости опционов колл и пут американского типа.

По нашему мнению, именно модифицированная формула Геске (модель Хсу) [4] в полной мере учитывает особенности венчурного инвестирования и может быть использована для оценки стоимости реальных опционов, возникающих при венчурном финансировании инновационных проектов. Однако нам представляется необходимым модифицировать исходные данные для этой модели следующим образом: анализировать венчурные вложения не с позиции проекта в целом, а с позиции венчурного фонда. Иными словами, нам представляется необходимым изменить интерпретацию параметров, входящих в модифицированную модель Геске.

*Стоимость составного колл-опциона в текущий момент времени  $t$ , которым владеет венчурный фонд, будет составлять (модифицированная формула Геске):*

$$C^v = V^v N_2(h + \sqrt{\sigma_1^2 \tau_1}, l + \sqrt{\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2}; \rho) - I_2^v e^{-r\tau} N_2(h, l; \rho) - I_1^v e^{-r\tau_1} N_1(h), \quad (1)$$

где  $C^v$  — стоимость составного колл-опциона в текущий момент времени  $t$ , которым владеет венчурный фонд;  $V^v$  — текущая стоимость акций проинвестированной компании, принадлежащих венчурному фонду;

$$h = \frac{\ln \frac{V^v}{V^v} + r\tau_1 - \frac{1}{2} \sigma_1^2 \tau_1}{\sqrt{\sigma_1^2 \tau_1}};$$

$$l = \frac{\ln \frac{V^v}{I_2^v} + r\tau - \frac{1}{2} (\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2)}{\sqrt{\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2}};$$

$$\rho = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 \tau_1}{\sigma_1^2 \tau_1 + \sigma_2^2 \tau_2}};$$

$I_1^v$  — цена исполнения составного (внешнего) колл-опциона (инвестиции венчурного фонда в момент времени  $T_1$  в приобретение части акций рискованной компании);  $I_2^v$  — цена исполнения внутреннего колл-опциона (величина неявных издержек венчурного фонда);  $r$  — безрисковая процентная ставка;  $\tau_1 = T_1 - t$ ,  $\tau_2 = T_2 - T_1$ ,  $\tau = T_2 - t = \tau_1 + \tau_2$ ;  $N_2(h, l; \rho)$  — функция двумерного стандартного нормального распределения;  $N_1(\cdot)$  —

функция одномерного стандартного нормального распределения;  $\bar{V}^v$  — такое значение стоимости акций инвестируемой компании в момент времени  $T_1$  ( $V_{T_1}$ ), для которого выполняется следующее равенство:

$$V_{T_1} N_1(l^* + \sqrt{\sigma_2^2 \tau_2}) - I_2^v e^{-r\tau_2} N_1(l^*) = I_1^v, \quad (2)$$

где  $l^*$  — величина  $l$  в момент времени  $T_1$ ;

$$l^* = \frac{\ln \frac{V_{T_1}}{I_2^v} + r\tau_2 - \frac{1}{2} \sigma_2^2 \tau_2}{\sqrt{\sigma_2^2 \tau_2}}. \quad (3)$$

### НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГЕНЕРИРУЕМЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫМ ПРОЕКТОМ ФИНАНСОВЫХ ПОТОКОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

Нечетко-множественная оценка устойчивости прогнозируемых финансовых потоков и финансовых показателей, генерируемых инновационным проектом, будет проводиться в трех направлениях: 1) для оценки эффективности инновационного проекта в целом методом дисконтированных денежных потоков; 2) для оценки эффективности инновационного проекта методом  $NPV$  с позиции венчурного фонда; 3) для оценки эффективности инновационного проекта методом  $NPV$  с позиции венчурного фонда с применением метода реальных опционов.

Идея экспериментальных расчетов состоит в том, что с использованием метода Монте-Карло в заданных пределах «раскачиваются» экзогенные показатели финансовой модели проекта и анализируются последствия этих флюктуаций для основных эндогенных показателей финансовой модели, характеризующих эффективность инвестиционного проекта.

В первом из вышеперечисленных трех направлений могут быть «раскачаны» следующие экзогенные параметры: рыночные цены на выпускаемую продукцию; цены на основные сырье, материалы, электроэнергию; инвестиции во внеоборотные активы (например, могут измениться цены на оборудование или строительно-монтажные работы и, следовательно, параметр «инвестиции» тоже может быть нечетким).

В качестве выходных эндогенных параметров, устойчивость которых будет оценена, выступают: чистая приведенная стоимость проекта в целом ( $NPV_{\text{проекта в целом}}$ ) и внутренняя норма доходности проекта в целом ( $IRR_{\text{проекта в целом}}$ ).

Во втором случае могут быть «раскачаны» следующие параметры: доля венчурного фонда в уставном капитале инвестируемой компании; величина прямых инвестиций венчурного фонда; дивиденды, получаемые венчурным фондом как процент от чистой прибыли (чистая прибыль проинвестированной компании нечеткая); приемлемая для фонда ставка дисконтирования.

Будет оцениваться устойчивость чистого приведенного дохода венчурного фонда ( $NPV^v_{\text{венч фонда}}$ ) и внутренней нормы доходности венчурного фонда ( $IRR^v_{\text{венч фонда}}$ ).

В третьем направлении исследований в качестве нечетко описываемых входных параметров могут быть:  $I_0^v$  — затраты на приобретение в момент времени  $T_0$  составного опциона колл;  $I_1^v$  — цена исполнения составного (внешнего) опциона колл (инвестиции венчурного фонда в момент времени  $T_1$  в приобретение части акций рискованной компании);  $r$  — безрисковая процентная ставка;  $\sigma_1$  — уровень рискованности операций венчурной компании в течение промежутка времени  $(0, T_1)$ ;  $\sigma_2$  — уровень рискованности операций венчурной компании в течение промежутка времени  $(0, T_2)$ .

Нечетко описываемые «выходные» параметры, устойчивость которых будет оцениваться, следующие:  $NPV^v_{\text{с уч. опциона}}$  и  $IRR^v_{\text{с уч. опциона}}$ . В связи с ограниченным объемом публикации будут приведены результаты следующих расчетов: влияние вариации рыночных цен продукции на  $NPV_{\text{проекта в целом}}$  и  $IRR_{\text{проекта в целом}}$ ; влияние вариации величины доли венчурного фонда в уставном капитале инвестируемой компании и цен на продукцию на  $IRR^v_{\text{венч фонда}}$ ; оценка надежности наиболее правдоподобного значения  $NPV$  венчурного фонда в случае изменения цен на продукцию проинвестированной компании и доли фонда в уставном капитале инвестируемой компании; влияние вариации  $\sigma_1$  — уровня рискованности операций венчурной компании в течение промежутка времени  $(0, T_1)$  и  $\sigma_2$  — уровня рискованности операций венчурной компании в течение промежутка времени  $(T_1, T_2)$  на  $NPV^v_{\text{с уч. опциона}}$  и  $IRR^v_{\text{с уч. опциона}}$ .

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ НЕЧЕТКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

### Основные обозначения

Пусть  $R$  — вещественная прямая,  $F(R)$  — совокупность нечетких множеств в пространстве  $R$ ,  $D \in F(R)$  — нечеткое множество в  $R$  и  $\chi_D : R \rightarrow [0; 1]$  — функция принадлежности множества  $D$ . Обозначим  $I(D)$  носитель нечеткого множества  $D$ :

$$I(D) = \{x \in R \mid \chi_D(x) > 0\},$$

где  $N(D)$  — наименьший отрезок, содержащий  $I(D)$ ;  $S(a, b) \in F(R)$  — симметричное треугольное число  $a$  с носителем длины  $b$ .

Пусть теперь  $R^m$  —  $m$ -мерное арифметическое пространство,  $F(R^m)$  — совокупность нечетких множеств в пространстве  $R^m$ . Рассмотрим некоторое отображение:

$$G : F(R^m) \rightarrow F(R).$$

В приложениях прямая  $R$  обычно интерпретируется как пространство значений исследуемого экономического показателя, а пространство  $R^m$  — как пространство значений параметров, влияющих на исследуемый показатель. Отображение  $G$  представляет собой математическую модель, по которой вычисляется значение показателя  $G(D) \in F(R)$  при заданных значениях влияющих параметров  $D \in F(R^m)$ .

Пусть задано нечеткое значение параметра  $D$ . Для построения отображения  $G$  в данной статье используется стохастический алгоритм, который включает следующую последовательность процедур.

1. Преобразуется нечеткое множество  $D$  в случайное отображение:

$$\xi : \Omega \rightarrow R^m,$$

где  $\Omega$  — вероятностное пространство с вероятностной мерой  $p$ .

2. Делается выборка случайных элементов  $\{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$ . Для каждого значения параметра  $\xi(\omega_k)$  по модификации модели Геске рассчитывается значение результирующего показателя  $r_k \in R$ .

3. К выборке  $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$   $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$  применяется интервальное преобразование, и в результате получается нечеткое множество  $G(D)$ .

В качестве результирующего значения показателя из нечеткого множества  $G(D)$  обычно берется его наиболее правдоподобное значение  $\bar{g}$ , вычисленное следующим образом:

$$\chi_{G(D)}(\bar{g}) = \max_{g \in R} \{\chi_{G(D)}(g)\}.$$

### ПРОЦЕДУРЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ НЕЧЕТКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Для оценки надежности наиболее правдоподобного значения нечеткого показателя вводится понятие эталонного значения показателя. Принимается, что эталонный показатель имеет наибольшую надежность, равную единице. Если вычисленное значение нечеткого показателя отклоняется от эталонного, то его надежность может быть меньше единицы. В качестве эталонного обычно выбирается такой нечеткий показатель, который из каких-то соображений устраивает исследователя. В качестве эталона выберем симметричное треугольное число  $S(\bar{g}, b)$ , где длина носителя  $b \leq |N(G(D))|$ . Тогда показатель надежности  $H(G(D), S(\bar{g}, b))$  [в монографии А. В. Павлова и В. Н. Павлова «Нечетко-случайные методы исследования неопределенности и их макроэкономические приложения» он называется правдоподобностью совпадения множеств  $G(D)$  и  $S(\bar{g}, b)$ ] вычисляется по следующей формуле:

$$H(G(D), S(\bar{g}, b)) = \min \left\{ \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \min\{\chi_{G(D)}(t), \chi_{S(\bar{g}, b)}(t)\} dt}{\int_{-\infty}^{\infty} \chi_{G(D)}(t) dt}, \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \min\{\chi_{G(D)}(t), \chi_{S(\bar{g}, b)}(t)\} dt}{\int_{-\infty}^{\infty} \chi_{S(\bar{g}, b)}(t) dt} \right\}. \quad (4)$$

Ясно, что абсолютное значение показателя надежности зависит от выбранного эталона. Это, конечно, снижает привлекательность методики. Однако если при одном и том же эталоне и одних и тех же значениях влияющих параметров вычислить коэффициенты надежности двух показателей  $G_1(D)$  и  $G_2(D)$ , то при изменении эталона по-

вторной расчет надежности каждого показателя показывает, что оба коэффициента надежности меняются пропорционально и так, что меньший из них всегда остается меньшим.

Показатель устойчивости используется при исследовании зависимости показателя  $G(D)$  от параметра  $D$  и характеризует скорость изменения значения  $G(D)$  при изменении параметра  $D$ . Обычно показатель устойчивости используется в анализе по следующей методике. Пусть имеются два значения параметра  $D_1$  и  $D_2$ . Вычисляется  $H(G(D_1), G(D_2))$ .

Заключение об устойчивости показателя  $G(D)$  при  $D=D_1$  делается следующим образом: чем больше правдоподобность  $H(G(D_1), G(D_2))$  совпадения множеств  $G(D_1)$  и  $G(D_2)$ , тем выше устойчивость показателя  $G(D)$ . При этом коэффициент устойчивости объявляется равным  $H(G(D_1), G(D_2))$ .

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

Расчеты проводились применительно к реальному инновационному проекту в фармацевтической промышленности России (в силу конфиденциальности коммерческой информации мы не приводим здесь название фирмы — инициатора проекта и место строительства завода). Цель проекта состоит в строительстве собственного завода по производству фармацевтической продукции — средств по уходу за полостью рта. К финансированию рассматриваемого проекта возможно привлечение венчурного фонда. Стандартные показатели эффективности проекта были рассчитаны нами с использованием имитационной финансовой модели в среде Excel, состоящей из 19 взаимосвязанных таблиц [5, с. 91–108]. В имитационную финансовую модель включен отдельный блок, рассчитывающий показатели эффективности инвестиций венчурного фонда. Именно эта финансовая модель взята нами за базу для проведения экспериментальных расчетов с использованием нечетко-множественного аппарата.

На рис. 1 приведен график функции степени правдоподобности  $IRR_{\text{проекта в целом}}$  в зависимости от случайной вариации цен на продукцию инвестируемой компании в пределах  $\pm 10\%$  в течение всего прогнозного периода (10 лет). Результаты расчета показывают достаточно высокую устойчивость  $IRR_{\text{проекта в целом}}$  к колебаниям цен в заданных пределах. С достаточно высокой степенью правдоподобности (от 0,3 до 0,4 при максимуме, равном 1)  $IRR$  находится в пределах весьма высоких значений — от 59 до 63%.

Рис. 2 является иллюстрацией того обстоятельства, что  $NPV_{\text{проекта в целом}}$  в зависимости от случайной вариации цен на продукцию инвестируемой компании в пределах  $\pm 10\%$  в течение всего прогнозного периода с достаточно высокой степенью правдоподобности (от 0,3 до 0,4) будет находиться в пределах от 2,1 до 2,3 млрд руб.

На рис. 3 приведен график функции степени правдоподобности  $IRR_{\text{венчурного фонда}}$  в зависимости от вариации его доли в уставном капитале инвестируемой компании. Предполагается, что венчурный фонд будет считать неудовлетворитель-

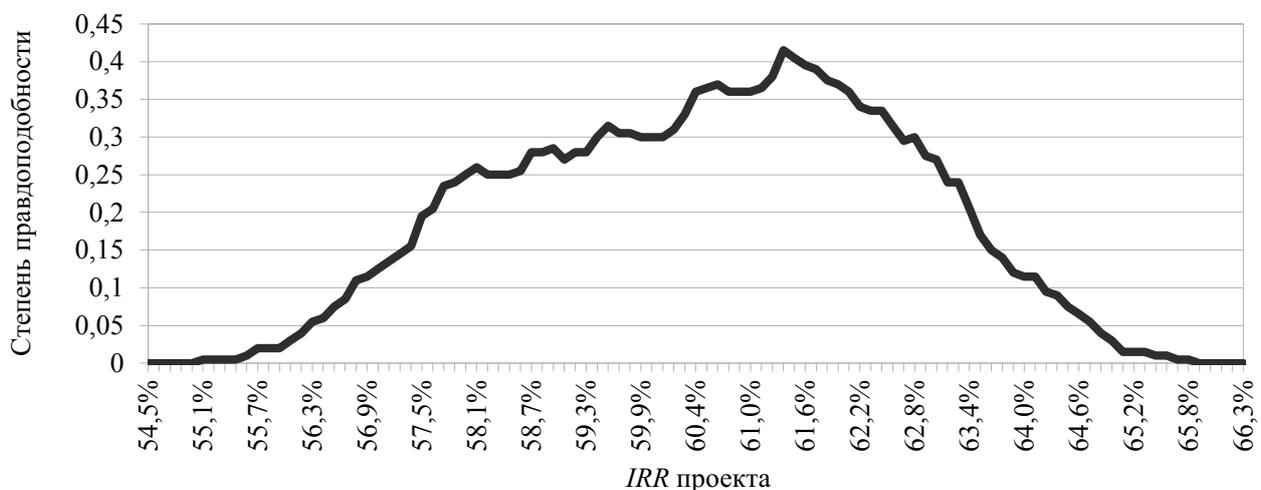
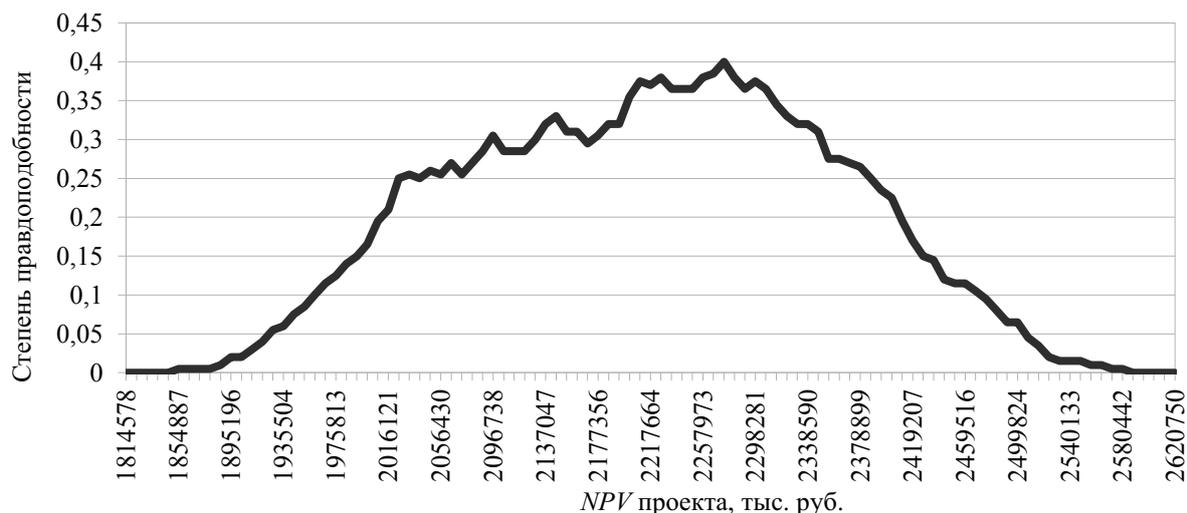


Рис. 1. График функции степени правдоподобности  $IRR_{\text{проекта в целом}}$  в зависимости от колебания цен на выпускаемую продукцию инвестируемой компании



**Рис. 2. График функции степени правдоподобности  $NPV_{\text{проекта в целом}}$  в зависимости от колебания цен на выпускаемую продукцию инвестируемой компании**

ным результат инвестиций, если после выхода из проекта  $IRR$  по его инвестициям будет менее 15%. В расчете в качестве базовой доли венчурного фонда в уставном капитале проекта принимается 49%. Иначе говоря, изначально венчурный фонд не претендует на контрольный пакет акций инвестируемой компании. «Раскачка» доли фонда в уставном капитале инвестируемой компании проводится в пределах  $\pm 10\%$ , т.е. от 44,1 до 53,9%. По результатам расчета видно, что риск получить  $IRR < 15\%$  для венчурного фонда составляет примерно 26%. Эта величина определяется как отно-

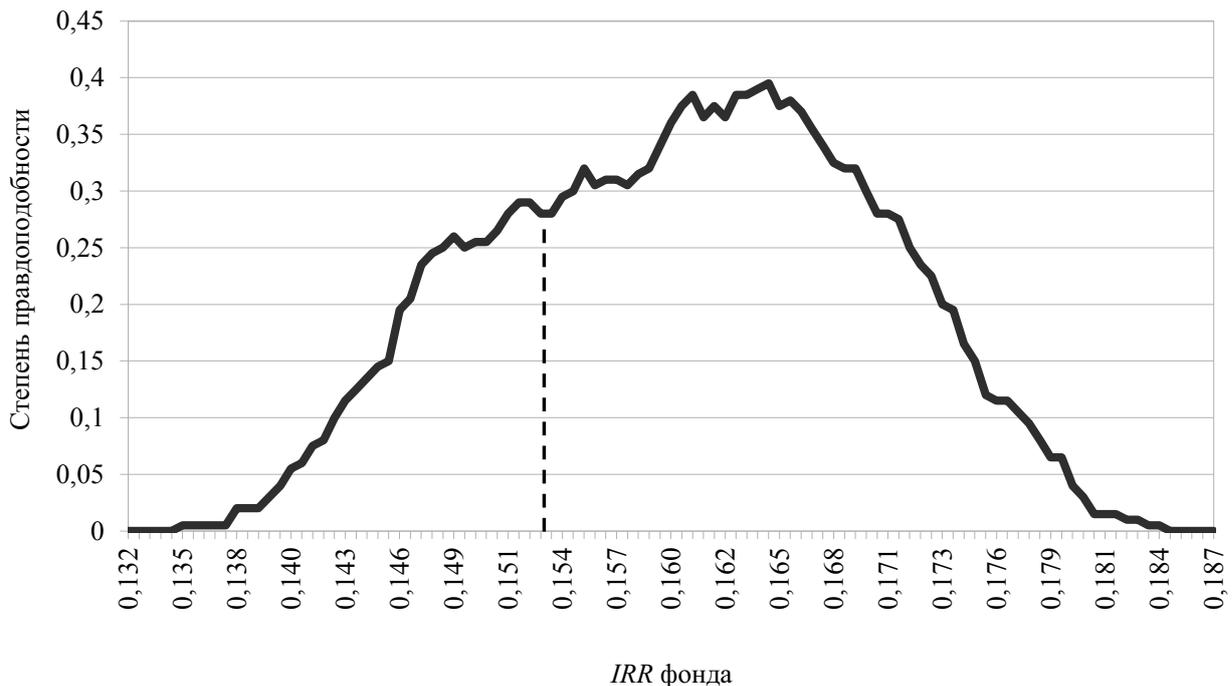
шение подграфа слева от пунктирной линии (см. рис. 3) ко всей площади подграфа функции степени правдоподобности.

Рис. 4 представляет собой график функции степени правдоподобности  $IRR_{\text{венчурного фонда}}$  в зависимости от вариации цен на продукцию инвестируемой компании.

«Раскачка» цен производится случайным образом (методом Монте-Карло) для всего расчетного периода в пределах  $\pm 10\%$ . По результатам расчета видно, что риск получить  $IRR < 15\%$  для венчурного фонда составляет примерно 15,5%.



**Рис. 3. Оценка риска венчурного фонда получить неудовлетворительное значение  $IRR$  в зависимости от вариации его доли в уставном капитале инвестируемой компании**



**Рис. 4. Оценка риска венчурного фонда получить неудовлетворительное значение IRR в зависимости от вариации цен на продукцию инвестируемой компании**

Эта величина также определяется как отношение подграфа слева от пунктирной линии (см. рис. 4) ко всей площади подграфа функции степени правдоподобности. Следовательно, влияние вариации доли венчурного фонда в уставном капитале на риск получения неудовлетворительного значения  $IRR_{\text{венчурного фонда}}$  по результатам реализации инвестиционного проекта значительно больше, чем воздействие изменения цен на продукцию инвестируемой компании.

Важным с содержательной точки зрения является надежность наиболее правдоподобного показателя эффективности инвестиционного проекта. Для его определения применяется так называемая эталонная величина наиболее правдоподобного значения показателя эффективности, например  $IRR$  или  $NPV_{\text{проекта в целом}}$  либо показателей эффективности венчурного фонда. В данном исследовании эталоном считается симметричное треугольное представление наиболее правдоподобного значения показателя эффективности (например,  $NPV_{\text{фонда}}$ ) с носителем, равным 0,7 от размаха выборки исследуемого показателя (например,  $NPV_{\text{фонда}}$  или проекта в целом). График эталона на рис. 5–6 представлен прерывистой кривой.

На рис. 5 показано, что надежность вычисленного наиболее правдоподобного значения

$NPV_{\text{венчурного фонда}}$  (460,2 млн руб.) составляет 35,7%. Данная надежность вычислена при вариации доли фонда в уставном капитале проинвестированной компании в интервале  $\pm 10\%$  от 49% (от 44,1 до 53,9%). Геометрически надежность характеризуется отношением площади подграфа функции степени правдоподобности, пересекающейся с площадью подграфа эталона (заштрихованная область на графике), к общей площади подграфа функции степени правдоподобности.

На рис. 6 показано, что надежность вычисленного наиболее правдоподобного значения  $NPV_{\text{венчурного фонда}}$  (512 млн руб.) при условии изменения цен на продукцию проинвестированной компании составляет 56,4%. Данная надежность получена при вариации цен на продукцию в интервале  $\pm 10\%$  от их фактических значений в базовом году прогноза. Геометрически надежность характеризуется отношением площади подграфа функции степени правдоподобности, пересекающейся с площадью подграфа эталона (заштрихованная область на графике), к общей площади подграфа функции степени правдоподобности.

На рис. 7–8 дана графическая иллюстрация расчета коэффициента устойчивости одного из важнейших показателей эффективности инвестиций —  $NPV_{\text{венчурного фонда}}$  по отношению к колебанию

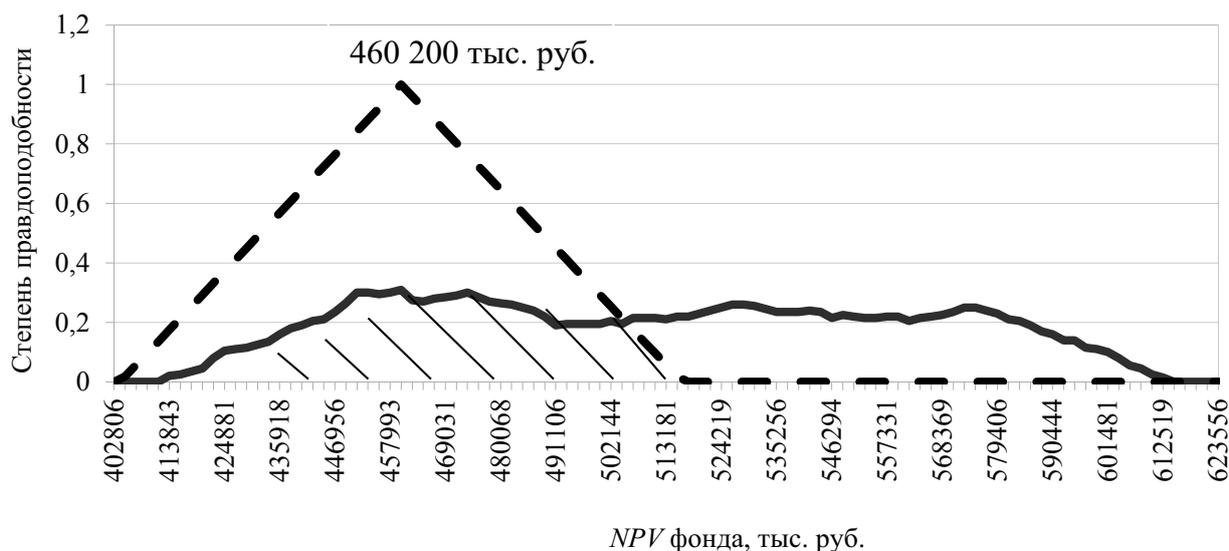


Рис. 5. Характеристика надежности наиболее правдоподобного значения  $NPV$  венчурного фонда в случае изменения доли фонда в уставном капитале проинвестированной компании

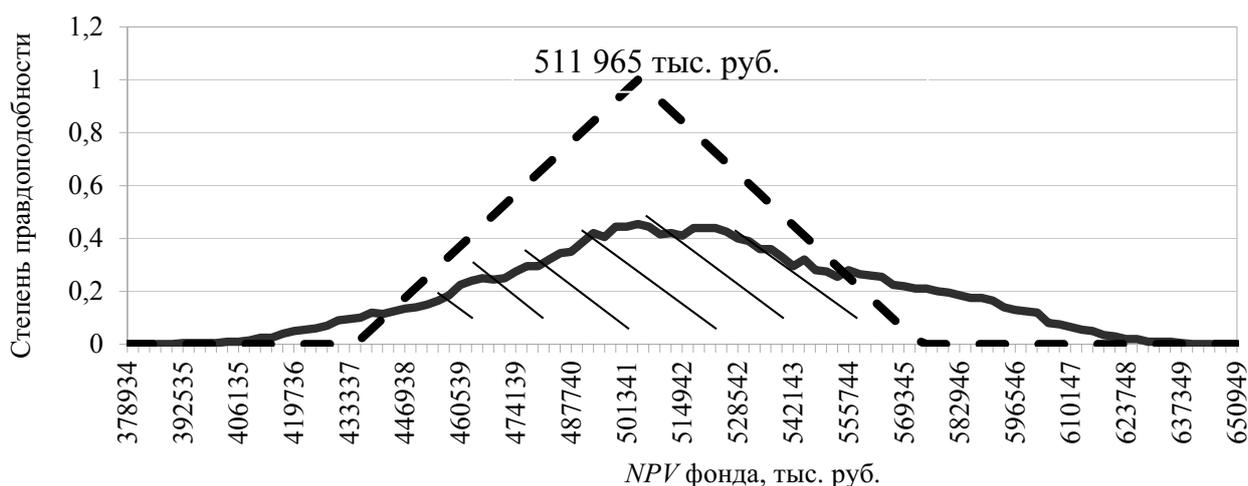


Рис. 6. Характеристика надежности наиболее правдоподобного значения  $NPV$  венчурного фонда в случае изменения цен на продукцию проинвестированной компании

цен на продукцию инвестируемой компании в диапазоне  $\pm 10\%$  (см. рис. 7) и вариации доли венчурного фонда в уставном капитале  $\pm 10\%$  от базового значения 49%. Графики функции степени правдоподобности при измененных параметрах показаны прерывистой кривой.

Для первого случая (рис. 7) коэффициент устойчивости  $NPV$  равен 18,6%. Геометрически он определяется как минимум из двух отношений: площади пересечения двух подграфов функций степени правдоподобности (заштрихованная область) к подграфу функции степени правдоподобности при исходных ценах (сплошная кривая на

графике) и к подграфу функции степени правдоподобности при измененных исходных ценах (прерывистая кривая на графике). В первом случае «раскачиваются» фактические цены на продукцию проинвестированной компании. Во втором случае исходные цены на продукцию проинвестированной компании увеличиваются на 10% по сравнению с базовыми. «Раскачке» подвергаются именно эти измененные (увеличенные) цены.

Для второго эксперимента (см. рис. 8) коэффициент устойчивости  $NPV$  равен 50,1%. Геометрически он также определяется как минимум из двух отношений: площади пересечения двух подграфов

функций степени правдоподобности (заштрихованная область) к подграфу функции степени правдоподобности при исходной доле фонда в уставном капитале проинвестированной компании (49% — сплошная кривая на графике) и к подграфу функции степени правдоподобности при увеличенной на 10% доле фонда в уставном капитале проинвестированной компании (53,9% — прерывистая кривая на графике). В первом случае «раскачивается» исходная доля в уставном капитале проинвестированной компании, т.е. «раскачке» подвергается увеличенная доля.

По результатам оценки устойчивости  $NPV_{\text{венчурного фонда}}$  можно сделать вывод о том, что данный показатель очень чувствителен к изменению цен на продукцию проинвестированной компании и намного более устойчив по отношению к доле фонда в ее уставном капитале.

Для объяснения результатов последнего численного эксперимента необходимо дать авторскую интерпретацию составного колл-опциона [5, гл. 3]. Согласно нашему предположению, венчурный фонд будет осуществлять поэтапное инвестирование рассматриваемого проекта в два раунда: в 2009 г. предоставляются средства в размере 35 000 тыс. руб. ( $I_0^v$ ), в 2010 г. — 197 000 тыс. руб. ( $I_1^v$ ) при условии соблюдения правил исполнения составного (внешнего) и внутреннего опционов. В нашей интерпретации  $I_0^v$  — инвестиции на приобретение в момент времени  $T_0$  составного (внешнего) опциона колл. Напомним, что *составной*

*опцион (опцион колл на опцион колл)* представляет собой опцион, базовым активом которого является внутренний колл-опцион. Составной (внешний) опцион колл предоставляет венчурному фонду право, но не обязательство, купить через определенное время  $T_1$  по цене  $I_1^v$  часть акций инвестируемой компании. Приобретение венчурным фондом части акций в момент  $T_1$  по цене  $I_1^v$  может быть истолковано как покупка внутреннего опциона колл на приобретение актива со сроком исполнения  $T_2$  и ценой исполнения  $I_2^v$ .

Нулевым моментом времени в нашем примере является 2009 г.:  $I_0^v = 35\ 000$  тыс. руб. (согласно прогнозу денежных потоков в 2009 г. для реализации проекта требуемый объем средств, финансируемый из внешних источников, составляет 35 000 тыс. руб.). Таким образом, срок исполнения составного (внешнего) опциона колл  $T_1$  составит 1 год, внутреннего опциона  $T_2$  — 9 лет. В случае исполнения составного (внешнего) опциона колл венчурным фондом в момент времени  $T_1$  будут осуществляться инвестиции  $I_1^v$  в размере 197 000 тыс. руб. Приведенная к нулевому моменту времени величина  $I_1^v$  дисконтир. составит 184 112 тыс. руб.

Цена исполнения внутреннего опциона  $I_2^v$  содержательно трактуется нами как величина неявных издержек: это часть величины чистой прибыли текущего периода  $T_2$ . Если бы венчурный фонд не продал в момент времени  $T_2$  принадлежащие ему акции, то он бы получил часть прибыли текущего периода  $T_2$ , пропорциональную его доле в

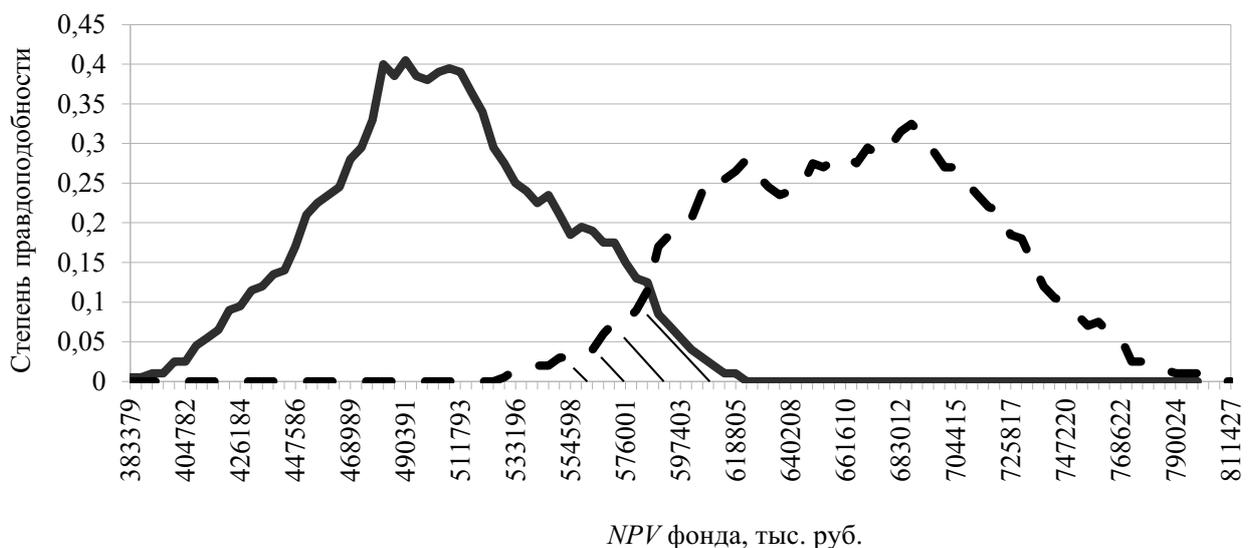


Рис. 7. Оценка устойчивости  $NPV_{\text{венчурного фонда}}$  по отношению к изменению цен на продукцию компании на 10% выше исходных

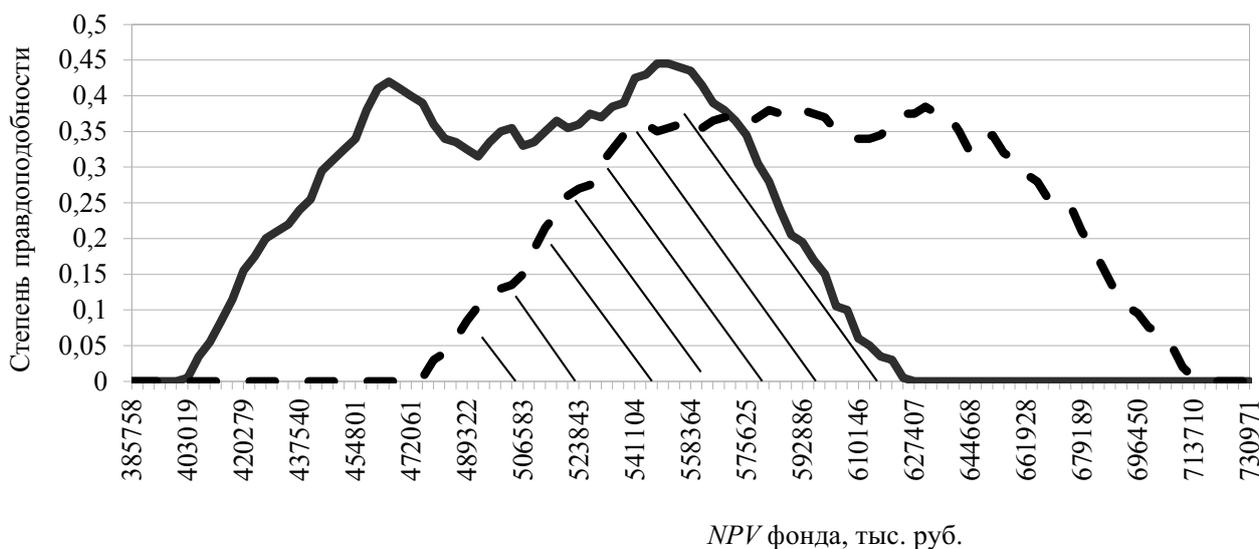


Рис. 8. Оценка устойчивости  $NPV$  венчурного фонда по отношению к изменению доли венчурного фонда на 10% выше исходной

уставном капитале компании. Эта часть прибыли текущего периода  $T_2$  уже не будет принадлежать венчурному фонду, она будет принадлежать тому экономическому субъекту, которому венчурный фонд продал акции.

Таким образом, при продаже акций в момент времени  $T_2$  венчурный фонд теряет прибыль текущего периода, пропорциональную своей доле в уставном капитале проинвестированной компании. Эта величина трактуется нами как его неявные издержки и цена исполнения внутреннего опциона колл:

$$I_2^v = NPAT_{total\ Exit} \cdot S, \quad (5)$$

где  $I_2^v$  — цена исполнения внутреннего опциона колл (неявные издержки венчурного фонда);  $NPAT_{total\ Exit}$  — чистая прибыль (общая) в году «выхода» венчурного фонда из бизнеса проинвестированной компании;  $S$  — доля венчурного фонда в уставном капитале проинвестированной компании.

Текущая стоимость базового актива в нашей интерпретации представляет собой текущую стоимость акций проинвестированной компании, принадлежащих венчурному фонду ( $V^v$ ).  $V^v$  — это стоимость базового актива внутреннего опциона колл в момент его исполнения, т.е. в году выхода фонда из бизнеса (2018 г.), приведенная к моменту оценки. Активы, право на покупку которых фонд приобретает в момент времени  $T_1$ , есть ни что

иное как доход венчурного фонда, который он может получить в момент времени  $T_2$  после продажи своих акций, приобретенных в момент  $T_1$ .

В практических расчетах мы предполагаем, что величина  $V^v$  для венчурного фонда является ничем иным как ликвидационной стоимостью проекта  $TER^v$  в году «выхода» фонда из бизнеса проинвестированной компании (в 2018 г.). Это оценка дохода, который венчурный фонд получит в последнем году своего пребывания в бизнесе проинвестированной компании, от продажи принадлежащих ему акций:

$$V^v = TER^v = NPAT_{total\ предш.} \cdot S \cdot P / E + DIV_{текущ.}^v, \quad (6)$$

где  $TER^v$  — ликвидационная стоимость проекта для венчурного фонда в году «выхода» фонда из бизнеса проинвестированной компании;  $NPAT_{total\ предш.}$  — чистая прибыль проинвестированной компании в году, предшествующем году «выхода» венчурного фонда из бизнеса;  $S$  — доля венчурного фонда в уставном капитале проинвестированной компании;  $P/E$  — ожидаемая величина отношения цены акции к получаемому по ней доходу;  $DIV_{текущ.}^v$  — дивиденды, выплачиваемые проинвестированной компанией венчурному фонду в текущем году по результатам предыдущего финансового года.

Решение об инвестировании оставшейся суммы средств 197 млн руб. будет принято в случае,

если будет соблюдаться правило исполнения составного колл-опциона (внешнего опциона): венчурный фонд исполнит составной колл-опцион, т.е. в момент времени  $T_1$  осуществит инвестиции  $I_1^v$  в покупку части акций инвестируемой компании и тем самым приобретет базовый актив составного колл-опциона — внутренний опцион на получение прибыли от продажи акций в момент времени  $T_2$ , если для заданного  $\sigma_2$  стоимость базового актива составного колл-опциона (т.е. стоимость внутреннего колл-опциона) будет больше, чем цена исполнения составного колл-опциона  $I_1^v$ . Иными словами, венчурный фонд исполнит составной колл-опцион и будет инвестировать  $I_1^v$  только в том случае, если значение стоимости акций инвестируемой компании в момент времени  $t = T_1$ ,  $V_{T_1}$ , превысит пороговое значение  $\bar{V}$  [см. соотношение (2)].

В нашей интерпретации величина  $V_{T_1}$  представляет собой оценку бизнеса в 2010 г.:

$$V_{T_1} = NPAT_{210} \cdot P / E. \quad (7)$$

Для того чтобы найти величину стоимости части акций инвестируемой компании в момент времени  $t = T_1$ ,  $V_{T_1}^v$ , необходимо величину  $V_{T_1}$  умножить на долю фонда.

Безрисковая ставка процента  $r$  в наших расчетах составит 7%. Уровень рискованности операций проинвестированной компании в течение промежутка времени  $(0, T_1)$ ,  $\sigma_1 = 12,78\%$ ; уровень рискованности

операций проинвестированной компании в течение промежутка времени  $(T_1, T_2)$ ,  $\sigma_2 = 10,224\%$ . В связи со строго лимитированным объемом статьи мы не приводим здесь подробное обоснование выбора соответствующих значений параметров  $r$ ,  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , оно дано в нашей работе [5, с. 122].

В расчете по модели Геске–Хсу (модифицированной модели Геске), в отличие от описанных выше расчетов, варьируются («раскачиваются») все параметры, влияющие на стоимость составного опциона колл. Пределы варьирования входящих параметров этой модели предопределяются значениями величин  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ . Отметим, что использование модели Геске–Хсу для анализа влияния «раскачки» отдельных параметров на величину стоимости базового актива внутреннего опциона колл (при фиксированных значениях остальных экзогенных величин) проводится впервые.

На рис. 9 доля заштрихованной площади под графа функции степени правдоподобности ко всей площади подграфа (0,311) представляет собой вероятность превышения ликвидационной стоимостью  $V^v$  порогового для венчурного фонда значения, т.е. величины, при которой принимается положительное решение об инвестировании в объеме  $I_1^v$ . Эта величина равна 219,1 млн руб., получена как сумма инвестиций в момент времени  $T_0$  в объеме  $I_0^v = 35$  млн руб. и продисконтированного к нулевому году (2009 г.) значения инвестиций в момент времени  $T_1$  в объеме  $I_1^v = 184,1$  млн руб. ( $197/1,07 = 184,1$ ).

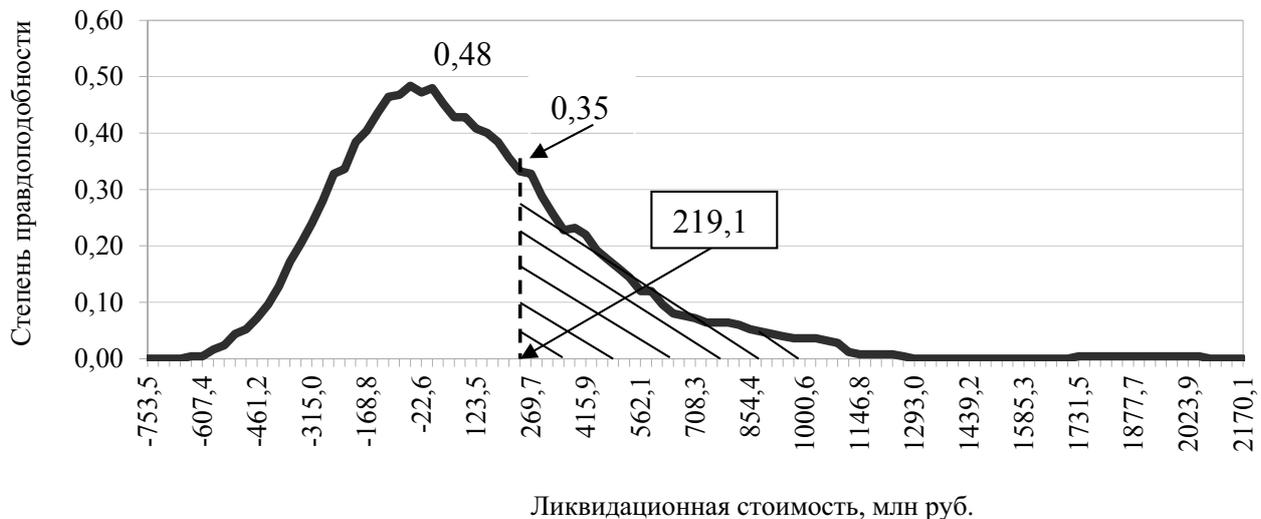


Рис. 9. Степень правдоподобности получения различных значений ликвидационной стоимости проинвестированной компании  $V^v$

Вероятность положительного решения по внутреннему опциону — принятия решения по основным инвестициям в объем 197 млн руб. рассчитывается по формуле Геске и равна 0,25. Тогда общая вероятность успешного исполнения составного колл-опциона равна:  $0,311 \cdot 0,25 = 0,109$ . Степень правдоподобности принятия ликвидационной стоимостью порогового значения 219,1 млн руб. составляет примерно 0,35, больших значений — со степенью правдоподобности меньше 0,35 (значения — правее 219,1 млн руб. на *рис. 9*).

Использование нечетко-множественного подхода к оценке стоимости составного колл-опциона по модели Геске–Хсу расширяет аналитические

возможности финансистов-практиков. Появляются следующие дополнительные возможности: 1) оценить вероятность успешного исполнения составного колл-опциона; 2) оценить степень правдоподобности получения порогового значения ликвидационной стоимости проекта для венчурного фонда, при достижении которого принимается положительное решение об основных инвестициях  $I_1^v$ ; 3) количественно оценить неопределенность, порожденную не только всей совокупностью влияющих параметров, как делается в модели Геске–Хсу (см. *рис. 9*), но и отдельными группами параметров (см. *рис. 1–8*), что обогащает результаты аналитического исследования.

### ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Black F., Scholes M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 1973, no. 81 (3), pp. 637–659.
2. Geske R. The valuation of compound options. *Journal of Financial Economics*, 1979, no. 7 (1), pp. 63–81.
3. Barone-Adesi G., Whaley R. E. Efficient Analytic Approximation of American Option Values. *Journal of Finance*, June 1987, no. 42, pp. 301–320.
4. Hsu Y.-W. Staging of Venture Capital Investment: A Real Options Analysis. University of Cambridge, JIMS, 2002, May, pp. 1–47.
5. Баранов А. О., Музыко Е. И. Оценка эффективности венчурного финансирования инновационных проектов методом реальных опционов: монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. 272 с. / Baranov A. O., Muzyko E. I. Ocenka jeffektivnosti venchurnogo finansirovaniya innovacionnyh proektov metodom real'nyh opcionov: monografija [Assessment of innovative projects venture financing effectiveness using the real options approach: monograph]. Novosibirsk, NSTU publ., 2013, 272 p. (in Russian).
6. Никонова И. А., Колесников М. А. Развитие методов анализа и оценки инвестиционных проектов // Вестник Финансового университета. 2013. № 6 (78). С. 89–97 / Nikonova I. A., Kolesnikov M. A. Razvitie metodov analiza i ocenki investicionnyh proektov [Development of methods for analysis and evaluation of investment projects]. *Vestnik Finansovogo universiteta — Bulletin of Financial university*, 2013, no. 6 (78), pp. 89–97 (in Russian).
7. Мартынова Е. В. Особенности оценки инновационного развития компании // Вестник Финансового университета. 2015. № 2 (86). С. 61–70 / Martynova E. V. Osobennosti ocenki innovacionnogo razvitija kompanii [Specificities of a company's innovative development assessment]. *Vestnik Finansovogo universiteta — Bulletin of Financial university*, 2015, no. 2 (86), pp. 61–70 (in Russian).