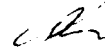


0-793311

*На правах рукописи*



**Щербаков Александр Владимирович**

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПРИ  
СТОХАСТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Специальность 08.00.13 – Математические  
и инструментальные методы экономики

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук

Москва – 2011

*Фон. № 58/01/1195*  
*10.10.2011*

Работа выполнена на кафедре математических методов в экономике ФГБОУ ВПО  
«Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»

Научный руководитель: заслуженный деятель науки РФ,  
доктор экономических наук, профессор  
Тихомиров Николай Петрович

Официальные оппоненты: доктор экономических наук, профессор  
Шуметов Вадим Георгиевич  
  
кандидат экономических наук, доцент  
Панферов Геннадий Александрович

Ведущая организация: ФАОУ ДПО «Государственная академия  
профессиональной переподготовки и повышения  
квалификации руководящих работников и  
специалистов инвестиционной сферы»  
(ФАОУ ДПО ГАСИС)

Защита состоится «27» октября 2011 г. в 14 часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.196.01 в Российском экономическом университете  
им. Г.В. Плеханова по адресу: 117997, Москва, Стремянный пер., д. 36, ауд. 353.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского  
экономического университета имени Г.В. Плеханова.

Автореферат разослан «23» сентября 2011 г.



Ученый секретарь диссертационного  
совета, д.т.н., профессор

Л.Ф. Петров

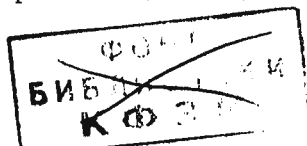
### Общая характеристика работы

Актуальность выбранной темы исследования. Важнейшим условием повышения темпов социально-экономического развития России, уровня и качества жизни ее населения является реализация предприятиями различных сфер народного хозяйства эффективных инвестиционных стратегий. В условиях ограниченности ресурсов такие стратегии предполагают вложение средств в инвестиционные проекты (ИП), характеризующиеся максимальной отдачей. Выявление таких проектов предполагает использование адекватных содержанию этого понятия критериев.

В научной литературе можно встретить описание целого ряда критериев эффективности ИП, отражающих различные стороны их привлекательности для инвесторов (доходность, быстрота возврата вложенных средств и т. п.). Многие из них нашли широкое применение в практике инвестиционного проектирования. Вместе с тем, ряд специалистов справедливо отмечают, что расчетные значения этих критериев не обладают достаточной точностью и достоверностью. Это связано с тем, что процедуры их оценки не в полной мере учитывают характер неопределенности используемой исходной информации, включая капитальные и эксплуатационные затраты по проекту, будущие объемы производства и реализации продукции, ее цену, темпы снижения стоимости денег, а также возможные риски реализации проектов и т.п.

Проблема учета неопределенности информации при оценке критериев эффективности ИП осложняется еще и тем, что ее степени могут значительно различаться (от статистической неопределенности, характеризующейся наличием известных законов распределения соответствующих показателей, до алеаторной – интервалы существования их возможных значений определить затруднительно). В такой ситуации возникает проблема обоснования и разработки подходов и методов оценки критериев эффективности ИП, адекватных присущему рассматриваемому проекту характеру неопределенности исходной информации.

Подобные разработки являются важным направлением повышения обоснованности инвестиционных стратегий особенно для предприятий реального сектора экономики, в частности, нефтедобывающего профиля. Это связано с



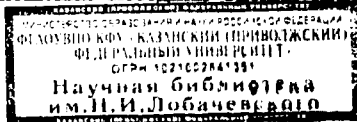
большой затратностью ИП в этом секторе, обуславливающей значительные потери инвесторов и общества в целом в случае ошибочных инвестиционных решений. Все это предопределяет актуальность тематики диссертационного исследования.

#### Степень разработанности проблемы.

Проблематика обоснования содержания критериев эффективности инвестиционных проектов и оценки их значений широко освещена в работах многих отечественных и зарубежных специалистов. Среди них можно выделить С. И. Абрамова, Г. Дж. Александра, В. М. Аньшина, В. Барда, Г. Бирмана, А. В. Воронцовского, М. В. Грачеву, В. Катасонова, Б. Т. Кузнецова, В. В. Ковалева, П. Л. Виленского, В.Н. Лившица, Н. Л. Маренкова, Б. З. Мильнера, Панферова Г. А., С. А. Смоляка, Т. У. Турманидзе, Р. А. Хоучена, В. В. Царева, В. Шапиро, Шуметова В. Г. и многих других.

Итогом проведенных ими исследований является разработка системы взаимосвязанных критериев эффективности (*PV*, *NPV*, *IRR*, *PI* и других), отражающих различные стороны привлекательности ИП (доходность, рентабельность, период окупаемости и т. п.). Эти показатели нашли широкое применение в инвестиционной практике при обосновании и выборе наиболее приемлемых проектов. Вместе с тем, ряд ученых (Крушвиц Л., Хасанов М., Царев В. и др.) выдвигают достаточно весомые критические замечания в отношении этих критериев, связанные, например, с тем, что большинство из них являются следствием *NPV* и потому являются малоинформативными. При их оценке имеет место определенный субъективизм, особенно в выборе дисконта, величина которого оказывает существенное влияние на значение критерия. В частности, из-за завышения дисконта спекулятивные краткосрочные инвестиции являются более предпочтительными по сравнению с долгосрочными реальными вложениями. Определенные проблемы оценки критериев ИП возникают при наличии нескольких альтернативных вариантов развития проекта, при выборе между проектами с одинаковыми *NPV*, но разными инвестиционными затратами и сроками окупаемости и т. п.

Особые замечания выдвигаются в отношении методики оценки критериев



эффективности ИП в связи с проблемой учета неопределенностей условий реализации проектов и связанных с ними рисков снижения их эффективности, обусловленных возможным недополучением доходов и увеличением затрат. Влияние этих случайных явлений на эффективность конкретного ИП обычно рекомендуют учитывать в его критериях путем увеличения дисконта. Однако при таком подходе увеличивается степень субъективизма в оценках критериев.

На наш взгляд, неопределенности и риски реализации ИП, а также возможные дополнительные затраты, предпринимаемые с целью их снижения, должны непосредственно учитываться в составе критериев его эффективности в виде стохастических дополнительных или(и) основных потоков. Однако, в такой ситуации критерии должны рассматриваться как стохастические величины. Это, в свою очередь, порождает проблему обоснования закона распределения критерия и определения его рационального значения, на которое должен ориентироваться инвестор при формировании инвестиционной стратегии.

Подходы и методы решения этих задач с необходимостью должны принимать во внимание характер неопределенности значений финансовых потоков и дисконта проекта в будущем. В работах Н. Е. Алтунина, Д. В. Давыдова, О. В. Лоскутовой, А. О. Недосекина, М. В. Семухина, Царева В., Лерча И., Маккейна Дж., и некоторых других специалистов предлагается закономерности распределения этих показателей выражать функциями принадлежности их значений определенным интервалам, на основе которых можно сформировать и функцию принадлежности критерия. В таком случае расчетное значение критерия можно оценить по приемлемому для инвестора  $\alpha$ -срезу этой функции. Такой подход представляется обоснованным при неопределенности исходной информации средней степени (нечеткой неопределенности), характеризующейся наличием определенной статистики, но в объеме, не позволяющем сформировать более точные закономерности распределения рассматриваемых величин.

При более высокой (интервальной) степени неопределенности значения потоков и дисконта можно представить только в виде интервалов их существования. На их основе с использованием правил интервальной арифметики можно оценить

только интервал существования значения критерия, а его значение, на которое ориентируются инвесторы – попытаться определить на основе методов принятия решений в условиях интервальной неопределенности. Такой подход приемлем для новых проектов, по которым еще не накоплена достаточная статистика.

При низкой (статистической) степени неопределенности исходной информации о потоках и дисконте проекта их закономерности распределений можно выразить вероятностными функциями их плотности, которые формируются при наличии достаточной статистики, отражающей практику реализации ряда проектов, аналогичных рассматриваемому. На их основе можно попытаться сформировать и функцию плотности распределения критерия. В качестве его рационального значения целесообразно выбрать какой-либо квантиль распределения.

Вместе с тем, в научной литературе и в практике инвестиционного проектирования подходы и методы оценки критериев эффективности ИП при статистической неопределенности исходной информации практически не рассматривались и не использовались, по-видимому, из-за сложности их реализации, вычислительных проблем. Нерешенность этой проблематики и предопределила цели и задачи данного исследования.

Целью диссертационной работы является систематизация, совершенствование и разработка подходов и методов оценки критериев эффективности инвестиционных проектов в реальном секторе экономики при стохастическом характере и разных степенях неопределенности исходной информации об их финансовых потоках, дисконтах и рисках снижения эффективности.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

– систематизация критериев эффективности ИП и исходной информации, используемой при их расчете критериев ИП, по степени ее неопределенности и способам представления;

– обоснование возможных вариантов представления критериев ИП и определения их значений в зависимости от степени неопределенности исходной информации и способах учета рисков проекта;

– разработка подходов и методов формирования функций, характеризующих

различные варианты представления закономерностей распределения значений критериев ИП, адекватных соответствующим степеням неопределенности исходной информации и учитываемым рискам, и методов принятия решений по выбору рационального для инвесторов значения критерия эффективности ИП;

– разработка методов формирования функции плотности распределения критериев эффективности ИП в зависимости от вариантов выражения статистической неопределенности исходной информации;

– разработка эконометрических моделей, позволяющих оценить параметры законов распределений прогнозных значений потоков ИП в сфере нефтедобычи, характеризующих уровни его капитальных и эксплуатационных затрат;

– апробация и верификация разработанных подходов и методов оценки критериев эффективности ИП на примере проектов разработки месторождений нефти;

– разработка методов принятия решений при выборе рационального варианта реализации ИП в сфере нефтедобычи.

Объект исследования – инвестиционные проекты в реальном секторе экономики и критерии их эффективности.

Предмет исследования – методы оценки критериев эффективности ИП при неопределенности исходной информации и рисках их реализации.

Методологической и теоретической основой исследования являются труды отечественных и зарубежных ученых в области экономической теории, инвестиционного проектирования, анализа риска, принятия решений. При решении задач исследования использовались методы системного анализа, теории вероятностей и математической статистики, эконометрики, теории риска, математического анализа и оптимизации. В работе также использованы федеральные законы, нормативные акты и рекомендации по вопросам оценки эффективности ИП в реальном секторе экономики и, в частности, в сфере нефтедобычи, информационные материалы нефтедобывающих компаний.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в систематизации, совершенствовании и разработке подходов и методов оценки критериев

эффективности инвестиционных проектов, рассматриваемых как стохастические величины, на основе формирования закономерностей распределения их значений и соответствующих им правил принятия решений с учетом степени и адекватной ей формы представления неопределенности исходной информации о финансовых потоках и дисконтах, рисках реализации и отношения к ним инвесторов.

В работе получены следующие новые научные результаты:

– выявлены недостатки методов оценки эффективности ИП, обусловленные недостаточным некорректным учетом стохастического характера исходной информации, возможностей выбора пути реализации проекта при наличии альтернативных вариантов;

– систематизирована по трем степеням неопределенности исходная информация, используемая при оценке критериев эффективности ИП (статистическая, нечеткая, интервальная), и обоснованы соответствующие способы ее представления (в виде функций плотности распределения показателей, функций их принадлежности заданным интервалам существования, только границ этих интервалов);

– предложены варианты формализованного представления критериев эффективности ИП, рассматриваемых как стохастические величины, с учетом степени неопределенности исходной информации и возможностей отображения в них: а) рисков реализации проекта и рискоснижающих затрат; б) стохастического характера исходной информации; и доказана эквивалентность этих вариантов;

– обоснованы подходы к определению конкретного значения стохастического критерия эффективности ИП для разных форм выражения закономерностей его распределения (как квантиля функции плотности распределения, как квантиля значения  $\alpha$ -среза функции принадлежности, на основе критериев принятия решений типа Сэвиджа, Гурвица и т. п.);

– разработаны подходы к построению функции плотности распределения критерия эффективности ИП на основе:

а) операции свертки функций плотности распределений входящих в него показателей;

б) оценок параметров плотности распределения критерия с учетом возможностей разложения его как сложной случайной величины в ряд Тейлора;

– разработаны эконометрические модели, позволяющие оценить параметры распределений капитальных и эксплуатационных затрат ИП по добыче нефти в зависимости от факторов, характеризующих условия добычи (количество скважин, объемы добычи, протяженность трубопроводов и т.п.);

– разработаны подходы к выбору рационального направления реализации ИП по добыче нефти, использующие критерий на минимум функции потерь, обусловленных ошибочными решениями при оценке запасов сырья; определена структура таких потерь и обоснованы предложения по оценке ее элементов;

– оценены значения критерия *NPV* проекта по разработке нефтяного месторождения при различных формах выражения неопределенности исходной информации об условиях его реализации.

#### Теоретическая и практическая значимость исследования.

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы состоит в развитии подходов и математических методов оценки экономической эффективности ИП в реальном секторе экономики, реализуемых в условиях рисков избыточных потерь и неопределенности исходной информации о будущих финансовых потоках и дисконте. Разработанные в диссертации методы позволяют повысить обоснованность и достоверность критериев эффективности ИП при различных степенях неопределенности условий их реализации.

Использование результатов диссертационного исследования позволит предприятиям реального сектора экономики и, в частности, нефтедобывающим компаниям повысить обоснованность инвестиционных решений и сформировать рациональные инвестиционные стратегии, способствующие росту их рыночной устойчивости.

Апробация результатов исследования. Основные теоретические и практические результаты диссертационного исследования обсуждались в 2010 году на 3-х международных конференциях, проведенных в г. С.-Петербурге «Реструктурирование экономики: ресурсы и механизмы», в г. Москве «Двадцать

третья международные Плехановские чтения», и в г. Сочи «Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий», и на VI всероссийской конференции «Безопасность кризисных структур и территорий», проведенной 24-27 мая 2011г. в г. Екатеринбурге, на заседаниях научных семинаров кафедры математических методов в экономике РЭУ им. Г. В. Плеханова.

Результаты диссертации были использованы в 2010 году в научно-исследовательской работе «Разработка методики оценки и анализа капитальных и эксплуатационных затрат и эффективности инвестиционных проектов нефтедобычи», проводимой по заказу ОАО «НК Роснефть».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 4 работы опубликованы в журналах, входящих в список ВАК. Общий объем публикаций составляет 4,1 п. л., в которых личный вклад автора равен 1,9 п. л.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав основного текста, заключения, списка литературы, включающего 151 позицию, из них – 23 иностранных источника. Объем работы 134 стр., включая 20 рисунков и 16 таблиц.

### **Основное содержание работы**

В работе отмечено, что реальные инвестиции характеризуются вложением средств в конкретный инвестиционный проект (ИП) по созданию хозяйственного объекта, деятельность которого должна окупить вкладываемые средства и принести дополнительную прибыль. Объединяющей чертой ИП в разных сферах деятельности является движение денежных потоков – денежных поступлений и платежей по проекту, распределенных во времени.

Совокупность денежных потоков по проекту обычно рассматривается как исходная информация при оценке его эффективности, которая может быть выражена рядом показателей. Их значения позволяют судить о целесообразности вложения средств в тот или иной проект, выбрать наиболее целесообразный из них, сформировать оптимальный портфель проектов. Среди них наибольшую популярность получили показатели, отражающие конечные результаты проектной

деятельности с учетом изменчивости стоимости финансовых потоков во времени (чистый дисконтированный поток –  $NPV$ , внутренняя норма возврата капиталных вложений –  $IRR$ , индекс доходности –  $PR$ , период окупаемости капиталных вложений –  $П_{ок}$  и некоторые другие). Анализ содержания показателей эффективности ИП свидетельствует, что основным критерием является  $NPV$ .

Если  $NPV$  изменяется, то соответствующим образом реагируют и его производные критерии. Все другие критерии, как правило, не несут в себе значительной дополнительной информации, не содержащейся в  $NPV$ , и не могут использоваться как самостоятельные показатели при оценке эффективности проекта.

В отношении  $NPV$  часто выдвигаются определенные претензии (излишняя абстрактность, повышенная чувствительность к дисконту, неучет других, в основном неэкономических аспектов эффективности – социальных, экологических и т. п.).

В работе отмечено, что серьезные недостатки критерия  $NPV$  связаны с его прогнозным характером. При его оценке возникают проблемы учета неопределенности условий реализации ИП, ошибок прогнозов значений входящих в него показателей, рисков последствий возникновения неблагоприятных событий и других причин, обуславливающих возможности отклонения расчетных показателей критерия от фактических. Информационная неопределенность влечет риск принятия ошибочных инвестиционных решений. Всегда остается возможность того, что проект, признанный состоятельным, окажется de-facto убыточным, поскольку фактические значения потоков ИП и других его параметров отклонились от плановых, например, вследствие того, что какие-либо факторы вообще не были учтены при оценке и(или) условия реализации ИП изменились.

В работе предложены направления совершенствования подходов к оценке  $NPV$  ИП, предполагающие учет неопределенностей условий реализации проектов и рисков их реализации в составе финансовых потоков, а не дисконта. При этом отмечено, что термин «риск» в данном случае характеризует размер убытков, недополученной прибыли, возникающих в случае проявления неблагоприятных событий различной природы или ошибочных решений в оценках финансовых потоков, дисконта в условиях неопределенности, характерной для процесса

реализации ИП. Его использование также расширяет имеющиеся возможности по снижению этих потерь в составе критерия ИП, на основе обоснования рациональных оценок дополнительных затрат по проекту, направленных на снижение вероятности проявления неблагоприятной ситуации, на увеличение защищенности проекта (снижение размера убытков) при проявлении таких ситуаций, уменьшение ошибок прогнозных значений потоков и т. п.

В работе предложены два основных альтернативных способа учета рисков в критериях эффективности ИП. Согласно первому из них, риски интерпретируются как нежелательные отклонения потоков ИП в соответствующую сторону (притоков – в левую, а оттоков – в правую). При этом все потоки рассматриваются как стохастические переменные. Согласно второму, - риски интерпретируются как дополнительные стохастические потоки (оттоки). В обоих случаях рискоснижающие затраты рассматриваются, как дополнительные оттоки, уровни которых зависят от выбранной стратегии по управлению рисками.

В первом случае значение  $NPV$  оценивается на основе модификации выражения следующего вида:

$$NPV = \sum_{k,t} \frac{\Pi_{kt} - \bar{O}_{kt} - Z_{kt}}{(1 + E)^t}, \quad (1)$$

где  $Z_{kt}$  – затраты, выделенные в проекте на снижение  $k$ -ого риска в году  $t$  (детерминированная величина);  $\Pi_{kt}$  –  $k$ -й приток финансовых средств по проекту в году  $t$ ;  $\bar{O}_{kt}$  –  $k$ -й отток финансовых средств по проекту в году  $t$ ;  $E$  – дисконт.

Кроме  $Z_{kt}$ , все другие составляющие критерия (1) рассматриваются как стохастические переменные, распределенные по законам специфического вида для каждого из них.

Критерий  $NPV$ , в явном виде учитывающий риски ИП, может быть представлен в следующем виде:

$$NPV = \sum_{k,t} \frac{\Pi_{kt} - O_{kt} - (R_{kt}^{ост} + Z_{kt})}{(1 + E + R_E)^t}, \quad (2)$$

$\Pi_{kt}, O_{kt}$  – детерминированные значения притоков и оттоков соответственно;  $R_{kt}^{ост}$  – остаточный риск  $k$ -го типа в году  $t$  после введения затрат по его снижению в размере  $Z_{kt}$ ,  $R_E$  – риск ошибки в оценке дисконта.

В работе доказана эквивалентность выражений (1) и (2), с учетом того, что стохастические потоки и дисконт могут быть представлены в следующих видах соответственно:

$$\bar{\Pi}_t = \Pi_t - \hat{R}_{nt}, \quad \bar{O}_t = O_t + \hat{R}_{ot}, \quad \bar{E} = E + \hat{R}_E. \quad (3)$$

При этом закономерности распределения рисков могут быть оценены на основе законов распределений потоков и дисконта. Например, при известной функции плотности распределения оттока случайная величина риска характеризуется математическим ожиданием и дисперсией, оцениваемыми согласно следующим выражениям:

$$\bar{R}(\bar{O}_t > O_t) = \frac{\int_{O_t}^{\infty} \bar{O}_t f(\bar{O}_t) d\bar{O}_t}{\int_{O_t}^{\infty} f(\bar{O}_t) d\bar{O}_t}, \quad D(\hat{R}_{ot}) = \int_{O_t}^{\infty} (\bar{O}_t - \bar{R}(\bar{O}_t > O_t))^2 f(\bar{O}_t) d\bar{O}_t. \quad (4)$$

Аналогичным образом определяются параметры распределения рисков  $\hat{R}_E$  и  $\hat{R}_{nt}$  с учетом того, что в последнем случае интегрирование осуществляется в пределах от 0 до  $\Pi_t$ .

В работе также отмечено, что в случае, когда стохастика притоков  $\bar{\Pi}_{it}$  и сттоков  $\bar{O}_{it}$  денежных средств по проекту обусловлена неопределенностью прогнозных значений цен, объемов реализации продукции, затрат по ИП, а риски характеризуют возможные неблагоприятные независимые события (чистые риски) – аварии, катастрофы, дефолты и т. п., критерий *NPV* может быть представлен выражением следующего вида, сформированным на основе формул (1) и (2):

$$NPV = \sum_{k,t} \frac{\bar{\Pi}_{kt} - \bar{O}_{kt} - (\hat{R}_{kt}^{oct} + Z_{kt})}{(1 + \bar{E} + \hat{R}_E)^t}, \quad (5)$$

Выражения (1), (2) и (5) не зависят от способа представления закона распределения случайных величин. Вместе с тем, сам этот способ зависит от степени неопределенности исходной информации и в определенной степени предопределяет метод оценки критерия проекта. В работе обоснованы три подхода к формированию распределения и оценки значения критерия *NPV* ИП соответственно при высокой, средней и низкой степенях неопределенности этой информации.

При высокой степени неопределенности обычно предполагается, что каждый

из показателей, входящих в критерий эффективности (финансовый поток, дисконт), характеризуется границами интервала его существования. На их основе с использованием правил интервальной арифметики может быть определен интервал существования значения критерия:

$$NPV = [NPV_1, NPV_2], \quad (6)$$

Результирующее значение  $NPV$ , которое может быть использовано в инвестиционном анализе, может быть оценено, например, на основе критерия Гурвица:

$$NPV = (1 - \lambda)NPV_1 - \lambda NPV_2, \quad (7)$$

где  $\lambda$  – показатель оптимизма критерия, устанавливаемый субъективно.

Для этой цели могут использоваться и другие критерии (Сэвиджа, Байеса и т.п.).

При средней степени неопределенности на интервалах существования каждого из потоков и дисконта, используемых при расчете критерия эффективности, может быть сформирована так называемая функция принадлежности его значения данному интервалу. По совокупности таких функций с использованием правил нечеткой математики может быть определена функция принадлежности значения критерия соответствующему интервалу существования. При оценке эффективности ИП в качестве значения критерия в случае негативного отношения инвесторов к риску обычно используют левое значение  $\alpha$ -среза этой функции, определяющего интервал существования критерия со степенью принадлежности не ниже уровня  $\alpha$ .

Методы оценки критериев эффективности ИП при средней и высокой степенях неопределенности исходной информации достаточно подробно описаны в научной литературе. Однако, по-видимому, вследствие определенной сложности вычислений такие методы оказались практически неразработанными для низкой степени неопределенности.

В работе показано, что теоретически при низкой степени неопределенности, характеризующейся возможностью задания законов распределений финансовых потоков и коэффициента дисконтирования по проекту, с помощью операции свертки их функций плотности, применяемой последовательно к парам случайных величин,

может быть сформирована функция плотности распределения критерия эффективности. Значение критерия эффективности проекта может быть определено как квантиль этого распределения, учитывающий характер отношения инвесторов к риску потерь. Например, на основе следующего выражения

$$P_s = \int_{NPV_s}^{\infty} f(NPV) dNPV \quad (8)$$

при заданной вероятности  $P_s$ , можно оценить значение  $NPV_s$ , которое может быть использовано как критерий ИП. Так, при  $P_s=0,95$  чистый дисконтированный поток по проекту будет не меньше чем  $NPV_s$  с вероятностью 0,95.

На практике формирование функции плотности распределения  $NPV$  представляет собой значительную проблему, во-первых, в связи с тем, что функции плотностей потоков (рисков) должны быть сформированы априорно, на основе модельной, предполагаемой, а не фактической статистики, т.е. они имеют прогнозный характер, а, во-вторых, операция свертки достаточно сложна и невозможно предложить универсальную процедуру построения функции плотности  $NPV$  для различных вариантов сочетаний соответствующих функций всех его характеристик.

Очевидно, что при большом количестве потоков (рисков), учитываемых в  $NPV$ , процедура формирования его плотности с использованием операции свертки становится чрезвычайно громоздкой. В частности, можно показать, что для двух случайных величин, распределенных по экспоненциальному  $y \sim \lambda e^{-\lambda y}$  и нормальному  $x \sim N(\bar{x}, \sigma^2)$  законам, случайная величина  $z = x + y$  распределена с функцией плотности следующего вида:

$$f(z) = \lambda e^{-\lambda z} e^{\frac{\lambda^2 \sigma^2 - \bar{x} \lambda}{2}} \phi\left(\frac{z - \bar{x} - \lambda \sigma^2}{\sigma}\right), \quad (9)$$

где  $\phi(u)$  – значение нормального распределения в точке  $u$ .

В работе предложен более упрощенный подход к определению этой функции. Согласно ему в качестве исходных данных используются только математические ожидания и дисперсии потоков и дисконтов. На их основе определяется математическое ожидание и дисперсия  $NPV$ , а функция плотности его распределения

постулируется. На практике ее можно принять адекватной нормальному закону, что удовлетворяет теоретическим предложениям, или экспоненциальному, что больше соответствует практике реализации ИП. При этом, случайные потоки, дисконт и риски, учитываемые в  $NPV$ , можно считать независимыми.

При таких предположениях дисперсия  $NPV$  в соответствии, например, с (1), определяется как следующая сумма

$$D(NPV) = \sum_{i,t} D \left[ \frac{x_{it}}{(1+E)^t} \right] = \sum_{i,t} y_{it}, \quad (10)$$

где  $x_{it}$  –  $i$ -й поток в  $t$ -ом периоде,  $E$  – дисконт, являются случайными величинами,  $y_{it} = \frac{x_{it}}{(1+E)^t}$ .

С использованием разложения сложной случайной величины в ряд Тейлора, в работе показано, что дисперсия случайной величины  $y_{it}$  определяется следующим выражением:

$$D \left( y_{it} = \frac{x_{it}}{(1+E)^t} \right) = \left[ \frac{1}{M[\hat{u}]}, -\frac{M[\hat{x}]}{(M[\hat{u}])^2} \right] \begin{bmatrix} \sigma_{x_i}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_u^2 \end{bmatrix} \left[ \frac{1}{M[\hat{u}]}', -\frac{M[\hat{x}]}{(M[\hat{u}])^2} \right]' \quad (11)$$

$$= \frac{(M[\hat{u}])^2 \cdot \sigma_{x_i}^2 + (M[\hat{x}])^2 \cdot \sigma_u^2}{(M[\hat{u}])^4},$$

где  $u = (1+E)^t$ ,  $M[\hat{u}] = (1+\bar{E})^t$ ,  $(12)$

$$\sigma_u^2 = t^2 \cdot (1+\bar{E})^{2(t-1)} \cdot \sigma_E^2, \quad (13)$$

$M[\hat{x}_t]$  – математическое ожидание случайной величины  $x_t$ ,  $\bar{E}$  – математическое ожидание дисконта.

Заметим также, что если  $x_t$  – случайная величина определенная как произведение двух случайных величин, т. е.  $x_t = \hat{p}_t \cdot \hat{w}_t$ , то

$$D(x_t) = \hat{w}_t \cdot D(\hat{p}_t) + \hat{p}_t \cdot D(\hat{w}_t). \quad (14)$$

В частности, на основе выражения (14) определяется дисперсия дохода от реализации продукции в году  $t$ , где  $\hat{p}_t$  – цена, а  $\hat{w}_t$  – объем продукции.

С учетом (12)-(13) окончательное выражение для оценки дисперсии отношений, входящих в состав  $NPV$  ИП, примет следующий вид:

$$D\left(y_{it} = \frac{x_t}{(1+E)^t}\right) = \frac{(1+\bar{E})^{2t} \cdot \sigma_{x_t}^2 + (M[x_t])^2 \cdot t^2(1+\bar{E})^{2(t-1)} \sigma_E^2}{(1+\bar{E})^{4t}} \quad (15)$$

$$= \frac{\sigma_{x_t}^2 + (M[x_t])^2 \cdot t^2(1+\bar{E})^{-2} \sigma_E^2}{(1+\bar{E})^{2t}}$$

С учетом (11) и (15) дисперсию  $NPV$  можно определить следующим выражением:

$$D(\widehat{NPV}) = \sum_{i,t} \frac{\sigma_{x_{it}}^2 + (M[\widehat{x}_{it}])^2 \cdot t^2(1+\bar{E})^{-2} \sigma_E^2}{(1+\bar{E})^{2t}} \quad (16)$$

В работе отмечено, что при достаточной статистике значения математических ожиданий и дисперсий показателей, на основе которых определяются соответствующие характеристики распределения  $NPV$ , могут быть оценены на основе эконометрических моделей. Их использование проиллюстрировано на примерах оценок математических ожиданий и дисперсий капитальных и эксплуатационных затрат, входящих в состав критерия  $NPV$  ИП по добыче нефти. При этом учитывалось, что уровень этих затрат зависит от особенностей месторождения и способов его разработки и эксплуатации. В этой связи эконометрические модели, связывающие уровень этих затрат, с факторами, отражающими условия месторождений, могут быть построены на основе статистики, отражающей практику добычи сырья на конкретных месторождениях с аналогичными условиями. При этом расчетные значения затрат, определенные по моделям, характеризуют их математические ожидания, а дисперсии их распределения могут быть оценены на основе дисперсии модели и ошибок прогнозного фона (условий добычи).

Для моделей капитальных затрат наиболее информативными факторами оказались протяженность новых трубопроводов, количество новых скважин, протяженность коммуникаций, общий объем фонда скважин. Примеры таких моделей определены выражениями (17)-(20):

$$\hat{C}(t) = \alpha_1 l^+(t) + \beta w^+(t) + \gamma L(t - \tau_L) + \lambda W(t - \tau_W); \quad (17)$$

$$\hat{C}(t) = \beta w^+(t) + \gamma L(t - \tau_L) + \lambda W(t - \tau_W); \quad (18)$$

$$\hat{C}(t) = \beta w^+(t) + \lambda W(t - \tau_w); \quad (19)$$

$$\hat{C}(t) = \beta w^+(t) + \gamma L(t - \tau_L), \quad (20)$$

$l^+(t)$  – протяженность новых трубопроводов;  $w^+(t)$  – количество новых скважин;  $L(t)$  – протяженность коммуникации (производственные показатели, трубопроводы);  $W(t)$  – фонд скважин (производственные показатели, скважина);  $\tau_L, \tau_w$  – временные лаги для вложений в развитие и реконструкцию производственной инфраструктуры;  $\alpha$  – удельные капиталовложения на строительство коридора коммуникаций;  $\beta$  – удельные капиталовложения на 1 вводимую скважину;  $\gamma_1$  – удельные капиталовложения на реконструкцию коммуникаций;  $\lambda$  – удельные капиталовложения в производственную инфраструктуру на одну действующую скважину;  $\hat{C}(t)$  – капитальные затраты.

Усредненная модель для всех рассматриваемых месторождений имеет следующий вид:

$$\hat{C}(t)_{\text{средняя}} = \beta w^+(t) + \lambda W(t - \tau_w), \quad (21)$$

где  $\beta = 73,06$ ;  $\lambda = 1,35$ .

В таблице 1 приведены наиболее адекватные модели зависимости капитальных затрат от факторов нефтедобычи для каждого из рассматриваемых месторождений и их характеристики качества.

Таблица 1

Эконометрические модели капитальных затрат для месторождений нефтяной компании

№ место- рождения	Уравнение модели	$R^2$ (%)
1	$\hat{C}(t) = 35,20_1 w^+(t) + 1,68W(t - \tau_w)$	97,64
2	$\hat{C}(t) = 62,5113w^+(t) + 0,0701563L(t - \tau_L) + 1,16385W(t - \tau_w)$	99,45
3	$\hat{C}(t) = 79,7518w^+(t) + 1,11036W(t - \tau_w)$	97,06
4	$\hat{C}(t) = 70,1806w^+(t) + 0,94522W(t - \tau_w)$	97,66
5	$\hat{C}(t) = 137,774w^+(t) + 3,53213W(t - \tau_w)$	92,99
6	$\hat{C}(t) = 65,9902l^+(t) + 53,8248w^+(t) + 0,136383L(t - \tau_L) + 1,36422W(t - \tau_w)$	98,70
7	$\hat{C}(t) = 27,6631l^+(t) + 50,9008w^+(t) + 0,205146L(t - \tau_L) + 1,83082W(t - \tau_w)$	95,57
8	$\hat{C}(t) = 283,05w^+(t) + 4,86274W(t - \tau_w)$	91,26
9	$\hat{C}(t) = 136,924w^+(t) + 1,69169W(t - \tau_w)$	93,79

Уровень эксплуатационных затрат для рассматриваемых месторождений оказался зависимым в основном от объема годовой добычи нефти  $Q_*(t)$  и количества скважин  $N_{\text{скв}}(t)$ , согласно модели следующего вида:

$$\text{ЭЗ}(t) = \alpha_1 \cdot Q_*(t) + \alpha_2 \cdot N_{\text{скв}}(t), \quad (31)$$

где  $ЭЗ(t)$  – эксплуатационные затраты в году  $t$ ,  $R^2 \approx 0,95$ .

С учетом возможных ошибок моделей и данных прогнозного фона в работе показано, что точность построенных на основе этих моделей прогнозов этих характеристик характеризуется СКО, составляющим менее 7% от прогнозного значения соответствующих затрат. Также отмечено, что методы эконометрического моделирования могут быть использованы и при оценках прогнозов цен и объемов реализации нефти, дисконта и других показателей  $NPV$  ИП по добыче нефти, а также их дисперсий.

В работе рассмотрены примеры использования рассмотренных выше подходов к оценке критериев инвестиционных проектов в сфере нефтедобычи.

Использованные данные для такой оценки (доходы и агрегированные расходы проекта нефтедобычи) представлены в таблице 2.

Таблица 2

Оценки ожидаемых значений доходов и агрегированных расходов проекта нефтедобычи в период 2009-2013 гг. (млн.руб.)

Год	Выручка	Капитальные затраты	Эксплуатационные затраты	Сальдо
2009	44647	4812	7341	32493
2010	45663	4100	7593	33969
2011	48659	5200	7812	35645
2012	48771	4942	7890	36038
2013	49358	4828	7950	36579

В таблице 3 представлены характеристики распределений этих показателей при низкой, средней и высокой степени неопределенности.

Таблица 3

Параметры распределений значений доходов и агрегированных расходов проекта нефтеотдачи в период 2009-2013 гг.

Год	$\sigma$ (%) от расчетного значения	Нижние и верхние границы значений		
		Выручки	Капитальных затрат	Эксплуатационных затрат
2009	3	42415/46879	4572/5052	6974/7708
2010	3,5	43152/48174	3845/4355	7185/8011
2011	4,0	45740/51578	4888/5512	7344/8270

2012	4,5	45601/51941	4621/5263	7378/8402
2013	5,0	45903/52813	4490/5166	7394/8506

С учетом дисконтирования, норма которого  $E$  принята равной 0,05, оценены математические ожидания значений  $NPV$  проекта и их СКО, при условии, что дисконт является детерминированной величиной и, принимая во внимание, что  $СКО(NPV \text{ с дисконтом})_t = СКО(\Delta)_t / (1 + E)^t$  и  $NPV_t = \sum_{\tau=1}^t NPV_{\tau}$ . Результаты расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4

Значения  $NPV$  проекта и  $СКО(NPV)$

Год	Дисконтированные значения $\Delta$	Математическое ожидание $NPV$	Дисперсия $NPV$	СКО ( $NPV$ )
2009	30945	30945	1689530	1230
2010	30810	61755	3865476	1966
2011	30792	92547	7259026	2694
2012	29648	122195	10638337	3261
2013	28660	150855	14509008	3809

В предположении, что при низкой степени неопределенности значение критерия распределено по нормальному закону, можно показать, что при доверительной вероятности  $P_s = 0,7$  в 2013 году значение  $NPV_s$  будет равно 148855 млн. рублей,  $NPV_s = 150855 - 0,525 \cdot 3809 = 148855$ . Иными словами, с вероятностью 0,7 значение  $NPV$  проекта в 2013г. превысит величину в 148855 млн. руб. Несложно убедиться, что с вероятностью 0,95  $NPV$  проекта в 2013 г. будет выше рубежа в 144590 млн.руб.

При оценке  $NPV$  ИП при средней степени неопределенности в работе предполагалось, что функции принадлежности выручки и затрат имеют треугольную симметричную форму с границами интервалов, представленными в таблице 3, и значениями функции принадлежности равными единице в точках этих интервалах, представленных в таблице 2.

С учетом правил преобразования функций принадлежности отдельных слагаемых и данных таблицы 3 получены следующие границы интервалов принадлежности  $NPV$  в 2009-2013 гг. (см. табл. 5).

Формализованное представление этой функции имеет следующий вид:

$$\mu_A(y) = \begin{cases} 0, NPV < 135010 \text{ млн. руб.}, \\ \frac{NPV - 135010}{15845}, 135010 \leq NPV \leq 150855, \\ 1, NPV = 150855 \\ \frac{175118 - y}{24263}, 150855 < NPV \leq 175118 \\ 0, 175118 < NPV. \end{cases} \quad (32)$$

На основании этого выражения получим, что, например, для  $\alpha$  среза этой функции, равного 0,3, т.е. для  $\mu(NPV) = 0,3$   $NPV$  проекта будет находиться в следующих пределах:  $139763 < NPV_{0,3} < 167840$ . За оценку  $NPV$  в данном случае принимается уровень в 139763 млн.руб.

Таблица 5

Границы интервалов принадлежности  $NPV$

Год	Нижняя граница	Верхняя граница $NPV$	$NPV$ в точках $s\mu(x) = 1$
2009	28242	33650	30945
2010	55877	67340	61755
2011	83484	101329	92547
2012	109757	134189	122195
2013	135010	175118	150855

Функция принадлежности  $NPV$  проекта в 2013 г. представлена на рис. 1.

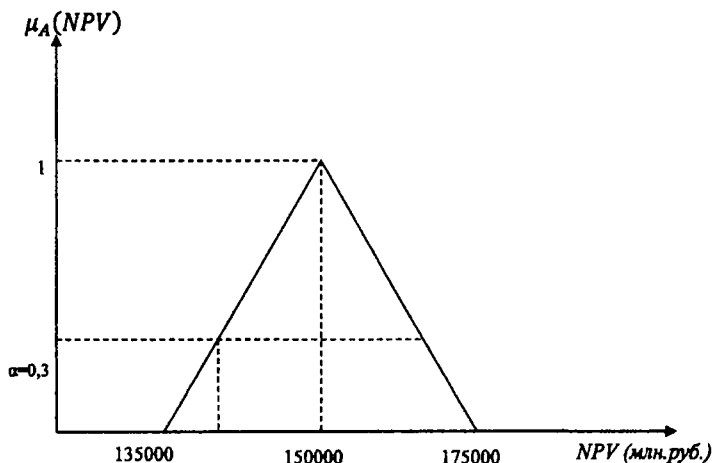


Рис. 1. Функция принадлежности  $NPV$  проекта нефтедобычи в 2013 г.

При высокой степени неопределенности исходной информации для оценки  $NPV$  проекта можно воспользоваться критерием Гурвица, определяющего его ожидаемое значение при известных предполагаемых границах интервала существования  $NPV$  и степени оптимизма инвестора  $\lambda$ . Для границ  $NPV$  на 2013 г., оцененных с учетом данных таблицы 3, ожидаемое значение этого критерия при  $\lambda=0,3$  превысит 147 млрд. руб.

$$NPV_{2013} = 0,7 \cdot 135010 - 0,3 \cdot 175000 = 147042 \text{ млн. руб.}$$

В работе отмечено, что основная неопределенность в сфере нефте-газодобычи присуща оценкам запасов нефти и газа. Меньшая степень неопределенности характерна для цен на сырье, оценок эксплуатационных и капитальных затрат и других показателей. В этой связи на этапах геолого-разведочных работ (ГРР) (обычно до 4-х этапов) часто возникает проблема выбора направления развития ИП с учетом уточненной информации о запасах месторождения и обусловленных ими значениях критерия эффективности ИП.

Оценки объемов запасов углеводородного сырья осуществляются в ходе ГРР и уточняются по мере использования более эффективных и, соответственно, более затратных их технологий. Обычно по результатам проведения каждого этапа ГРР можно оценить лишь функцию плотности распределения запасов сырья  $f_i(\hat{Q})$ , где  $i$  – номер этапа. Для любого варианта этой функции может быть построена соответствующая функция плотности критерия, т. е.  $f(NPV)$ .

Предположим, что для функции  $f_i(Q)$  существуют оценки запасов сырья  $Q_*$ , характеризующего его объем, при превышении которого реализация проекта представляется экономически целесообразной, т. е.  $NPV(Q_*) > 0$ .

При известных плотностях  $f_i(\hat{Q})$  и  $f_i(NPV)$ , вероятность того, что реализация ИП окажется экономически нецелесообразной, может быть определена следующим выражением:

$$P_{нл} = \int_0^{Q_*} f_i(\hat{Q}) d\hat{Q} \Rightarrow \int_{-\infty}^{NPV(Q_*)} f_i(NPV) dNPV, \quad (33)$$

а вероятность экономической целесообразности проекта — выражением:

$$P_{n_i} = 1 - P_{ni}. \quad (34)$$

Обычно решение о целесообразности реализации следующего  $i+1$ -го этапа проекта в такой ситуации принимается на основе оценок ожидаемого  $NPV$  ( $ONPV$ ), являющегося математическим ожиданием этого показателя по всем возможным вариантам проекта. Однако, на наш взгляд, такой подход не учитывает всех возможных последствий принятия решений. В работе показатель  $ONPV$  предложено дополнить оценкой риска потерь при реализации следующего этапа проекта, получаемой на основе следующего выражения:

$$P_{np_i} = P_{ni} \cdot NPV_i(Q > Q_*) + P_{ni} \cdot (K - Z)_{i+1}, \quad (35)$$

где  $K$  - затраты на реализацию проекта, осуществленные на его следующем шаге;  $Z$  - ликвидационная стоимость проекта;  $NPV_i(Q > Q_*)$  - ожидаемый доход по проекту при условии, что  $(Q > Q_*)$

Выражение (35) учитывает тот факт, что возможные потери по проекту складываются из двух составляющих. Во-первых, если выносится отрицательное решение по проекту, а месторождение оказывается прибыльным, то потери оцениваются как недополученная чистая прибыль. Вероятность этого события равна  $P_n$ . Во-вторых, если принимается положительное решение по проекту, а месторождение оказывается «сухим», то потери оцениваются величиной затрат по проекту, осуществленных только на следующем его этапе (после принятия решения о продолжении проекта) за вычетом дохода от продажи материальных ценностей после того, как получена информация, что эти затраты не приносят результата. Вероятность этого события равна  $P_n$ .

Показатель  $NPV_i(Q > Q_*)$  может быть оценен на основе среднего значения объема добываемого сырья, при условии, что его запасы превышают  $Q_*$ . Это среднее значение может быть получено как условное математическое ожидание на основе следующего выражения:

$$M[Q|Q > Q_*] = \frac{\int_{Q_*}^{\infty} Q f(Q) dQ}{\int_{Q_*}^{\infty} f(Q) dQ}. \quad (36)$$

В работе показано, что ожидаемые потери по проекту растут с увеличением

значения  $Q_0$ , обуславливающего рост вероятности обнаружения «сухого» месторождения.

Сопоставление оценок ожидаемых потерь из-за принятия ошибочных решений по проекту разработки месторождений с экономическим потенциалом компании позволит оценить реальный риск такой ошибки для компании. Иными словами, если ожидаемые потери являются относительно незначительными по сравнению с потенциалом компании, то ей целесообразно продолжить разведку запасов сырья. В противном случае более обоснованным выглядит решение об остановке (продаже) месторождения.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты работы.

#### Список публикаций по теме диссертации

1. Тихомиров Н. П., Тихомирова Т. М., Щербаков А. В. Верификация прогнозов на основе методов теории риска // Экономика природопользования, 2009, №1. – 1,5 п.л. (авт. – 0,5 п. л.).
2. Щербаков А. В. Проблемы учета рисков в критериях эффективности инвестиционных проектов // Экономика природопользования, 2009, №4. – 0,3 п.л.
3. Тихомиров Н. П., Щербаков А. В. Методы оценки эффективности инвестиционных проектов в условиях рисков их реализации // Экономика природопользования, №2, 2011. – 0,4п. л. (авт. – 0,2 п. л.).
4. Тихомиров Н. П., Максимов Д. А., Щербаков А. В. Верификация прогнозов на основе анализа рисков их ошибок // Вестник Российской экономической академии им. Г. В. Плеханова, №3 (39), 2011. – 0,9 п. л. (авт. – 0,3 п. л.).
5. Щербаков А. В. Критерии эффективности инвестиционных проектов при стохастической неопределенности условий их реализации. – В сб.: «Двадцать третья международные Плехановские чтения». Тезисы докладов аспирантов и магистров, 19-23 апреля 2010, М. 2010. – 0,2 п.л.
6. Тихомиров Н. П., Кешян В. Г., Щербаков А. В. Методы оценки эффективности инвестиционных проектов в условиях неопределенности уровней финансовых потоков. – В сб.: «Реструктурирование экономики: ресурсы и механизмы». Материалы международной научно-практической конференции. – СПб, 2010. – 0,3 п. л. (авт. – 0,1 п. л.).
7. Тихомиров Н. П. Максимов Д. А., Щербаков А. В. Использование методов теории риска при разработке и верификации прогнозов. – В сб.: «Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий»: Материалы международной научно-практической конференции 1-10 октября 2010г. г. Сочи. – М.: 2010. – 0,3 п.л. (авт. 0,1 п. л.).
8. Щербаков А. В. Методы оценки инвестиционных проектов в условиях рисков их реализации – В сб.: «Безопасность критичных структур и территорий». Материалы IV всероссийской конференции. 24-27 мая. 2011 г., Екатеринбург. – 0,2 п.л.

Бумага офсетная. Формат 60x84 1/16. Усл.печ.л. 1,5.  
Тираж 100 экз. Заказ № 195-з.

---

117997, Москва, Стремянный пер., 36.  
Напечатано в ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г. В. Плеханова».





102