

АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

На правах рукописи

КОРОТИН

Владимир Юрьевич

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИНАНСОВО-
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НЕФТЯНОЙ
КОМПАНИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ

Специальность 05.13.18

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертация

на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор физико-математических наук,

Р.Т. Исламов

Москва -2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Обзор методов анализа и учета неопределенностей в математических моделях	13
1.1 История возникновения.....	13
1.2 Обзор методов анализа неопределенностей.....	15
1.3 Некоторые вопросы анализа неопределенностей и риск-менеджмента	20
1.4 Выводы по первой главе.....	29
Глава 2. Исследование свойств аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований	30
2.1 Метод аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований	30
2.2 Существование и единственность решения метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований	34
2.3 Исследование свойств метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований как стохастического функционала	37
2.4 Построение связи между стоимостью нефти и курсом рубля к доллару на основе метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований	41
2.5 Выводы по второй главе	45
Глава 3. Детерминистическая и стохастическая модель нефтяной компании и анализ неопределенности параметров модели.....	46
3.1 Построение детерминистической модели нефтяной компании	46
3.2 Построение стохастической модели на примере финансово-экономической модели российской нефтяной компании	49
3.3 Критерии оценки разорения нефтяной компании и оценка вероятностей разорения	56
3.4 Уравнение непрерывности.....	63
3.5 Критерии оптимизации структуры долга и поиск оптимального портфеля для случая одной точки принятия решения	68
3.6 Алгоритм решения задачи оптимизации	75
3.7 Поиск решения по оптимальному портфеля для случая нескольких точек	79
3.8 Выводы по третьей главе.....	90
Заключение	91
Список использованных источников	92

Введение

Актуальность темы

События 2 полугодия 2014 года, произошедшие на мировых товарных и валютных рынках, а именно резкое падение стоимости углеводородов и последующее снижение курсов национальных валют, а также аналогичные события 2008-2009 г.г., вновь подтвердили необходимость всестороннего учета неопределенностей различной природы как в финансово-экономических моделях, так и в различных математических моделях, зависящих от внешней конъюнктуры.

Осознав вероятностную природу кризисов, многие компании в середине 2000х годов начали отказываться от детерминистических подходов в планировании деятельности. В последнее время можно наблюдать переходный период: вместо точечных оценок используется набор сценариев. Наиболее распространенный подход, реализуемый в большинстве компаний – формирование т.н. сценариев (траекторий) развития событий, как правило, такие сценарии называются «пессимистичный», «базовый» и «оптимистичный». При этом, чаще всего забывают, что по трем точкам невозможно построить функцию распределения вероятностей случайной величины (будь то цена на нефть, курс доллар-рубли).

Отдельной и особо важной задачей является оценка интервалов возможных значений итоговой случайной величины и оценка вероятностей превышения заранее заданного критерия (например, способности рассматриваемой компании обслужить долг), а также понимание как форма распределения входящих случайных величин влияет на итоговый результат – совершенно нерешаемая в рамках «сценарного анализа».

Очень часто, из-за сложности математических моделей решение данной задачи в аналитическом виде вряд ли возможно; соответственно, решение поставленной задачи возможно исключительно путем численного моделирования того, как неопределенность параметров модели влияет на результаты. Данная работа посвящена исследованию стохастических и детерминистических моделей и последующему использованию методов анализа неопределенности.

Сложность данной задачи заключается в том, что наблюдаемые результаты параметров представляют собой, как правило, неоднородный массив реализаций случайных величин, по которым необходимо восстанавливать исходную функцию распределения либо восстанавливать зависимости между случайными величинами. Задача восстановления зависимости между случайными величинами особо важна в таком анализе, поскольку качество параметров модели однозначно влияет на итоговые результаты модели и последующие выводы, и принимаемые решения. Таким образом, при разработке методов анализа неопределённости стохастических и детерминистических моделей возникают математические задачи приближения (аппроксимации) неизвестных функций по некоторому набору точек. Данному вопросу посвящена **вторая глава представленной работы**.

В настоящее время все чаще и чаще наблюдается применение методов теории вероятности и стохастических процессов к финансово-экономическому анализу и планированию работы предприятий ТЭК России. События 1 полугодия 2014 года, а также введение со стороны США и Евросоюза секторальных санкций, направленных, в том числе, на ТЭК, вновь сделали актуальной уже подзабытую с 2008-2009г. задачу оценки вероятности дефолта

компаний ТЭК, имеющих относительно высокий уровень закредитованности.

Как показывает опыт 2008-2009 г., в целях обеспечения непрерывного финансирования в постоянно меняющейся макроэкономической ситуации необходимо осуществлять регулярный анализ и оценку финансового состояния компании на всех возможных макроэкономических сценариях и проводить перспективную оценку вероятности разорения. При нестабильности макроэкономических параметров компании ТЭК могут столкнуться с резким снижением цен на производимые товары по сравнению с ожидаемыми уровнями, что может привести к сложностям в поддержании текущей ликвидности.

Практика рефинансирований демонстрирует, что они возможны при любом рынке, но обходятся довольно дорого. Можно ли сразу выбрать такую структуру долгового портфеля, которая бы не потребовала применения такого дорогостоящего инструмента, как рефинансирование?

Исходя из этого, возникает задача оптимизации структуры валютной задолженности – одна из важных задач финансового менеджмента, особенно в кризисное время. Суть оптимизации портфеля – выбор из всевозможных наборов такого, который обеспечил бы наилучший результат при заранее известных критериях. С учетом вероятностной природы цен на нефть (и в целом на ресурсы) и курса национальных валют, компаниям требуется получить гарантированный (с определенным уровнем вероятности) финансовый результат. Таким образом, возникает задача стохастической оптимизации с критерием в форме квантили распределения финансового результата: путем выбора структуры долга финансовые риски ограничиваются на выбранном уровне при минимизации потерь. **Третья глава работы посвящена разработке и описанию вероятностной модели на примере нефтяной компании и анализу**

неопределенностей параметров модели и последующему поиску стратегий действий в зависимости от разработанных критериев в части поиска оптимальной структуры долгового портфеля. Задача оптимизации валютной структуры долга заемщика в условиях макроэкономических кризисов ставится и решается впервые.

Объектом исследования является финансово-экономическая деятельность нефтяной компании, рассматриваемая как стохастическая динамическая система.

Предметом исследования являются финансовые риски нефтяной компании, порождаемые внешней конъюнктурой и являющейся функцией структуры долга компании.

Цель диссертационной работы: разработка новых математических методов и моделей по оценке финансовых рисков в условиях неопределенности параметров и последующий поиск гарантирующих (по вероятности) решений по минимизации рисков через оптимизацию структуры долга в зависимости от степени риска и горизонта исследования.

Для достижения поставленной цели были **решены следующие задачи:**

В области численных методов:

1. Выполнен анализ моделей и методов учета неопределенностей в математических моделях, приведено сравнение и краткая классификация методов учета неопределенности в моделях, отмечено недостаточное внимание к учету неопределенностей в математических моделях и обоснована важность методических вопросов анализа неопределенностей при планировании деятельности компаний.
2. Разработан численный метод для моделирования взаимосвязи параметров модели на основе непараметрической аппроксимации и обоснован ряд его свойств.

В области математического моделирования:

3. Разработаны математические модели (детерминистическая и вероятностная), описывающие финансово-экономическое

состояние нефтяной компании, учитывающие неопределенность макроэкономических параметров.

4. Поставлены и численно решены задачи по оптимизации структуры долга на основе финансовой модели нефтяной компании.

В области создания комплексов программ:

5. Разработан комплекс программ для численного решения задачи оценки вероятности разорения и последующей оптимизации структуры долга нефтяной компании в условиях неопределенности макроэкономических параметров для целей минимизации риска разорения.

Методы исследования. В диссертационной работе используются методы теории вероятностей, стохастических процессов, математического и функционального анализа, численных методов, математической статистики, вариационного исчисления, теории оптимизации.

Научная новизна. В диссертационной работе получены новые результаты: впервые рассмотрен и формализован класс задач по оптимизации валютной структуры долга заемщика в условиях макроэкономических кризисов. Разработаны алгоритмы непараметрической аппроксимации и обоснованы некоторые свойства полученных решений. Разработаны алгоритмы для получения решения в новом классе задач оптимизации в зависимости от горизонта планирования и уровня риска. Создан комплекс программ, реализующий все положения, описываемые в диссертационном исследовании.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке теоретических подходов и критериев для поиска оптимальной структуры долга в условиях неопределенностей внешней среды.

Практическая значимость исследования заключается в применении разработанных подходов и моделей для планирования деятельности нефтяных компаний как на этапах разработки

долгосрочной стратегии отдельной взятой компании, так и на этапе экономической оценки эффективности проектов освоения нефтяных месторождений. Предложенные методы определяют решение по оптимальной структуре долга компании в зависимости от степени риска. Кроме того, доказанные свойства решений по *методу аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований* применимы для построения сложных нелинейных непараметрических зависимостей.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается использованием официальных данных о производственно-финансовой деятельности российских нефтяных компаний (ОАО НК ЛУКОЙЛ, ОАО НК БашНефть), а также использованием апробированных численных моделей, и соответствием результатов моделирования с практическим поведением российских нефтегазовых в периоды падения цен на углеводороды.

Цель диссертационной работы: разработка новых математических методов и моделей по оценке финансовых рисков в условиях неопределенности параметров и последующий поиск гарантирующих (по вероятности) решений по минимизации рисков через оптимизацию структуры долга в зависимости от степени риска и горизонта исследования.

Для достижения поставленной цели были **решены следующие задачи:**

В области численных методов:

1. Выполнен анализ моделей и методов учета неопределенностей в математических моделях, приведено сравнение и краткая классификация методов учета неопределенности в моделях, отмечено недостаточное внимание к учету неопределенностей в математических моделях и обоснована важность методических вопросов анализа неопределенностей при планировании деятельности компаний.
2. Разработан численный метод для моделирования взаимосвязи

параметров модели на основе непараметрической аппроксимации и обоснован ряд его свойств.

В области математического моделирования:

3. Разработаны математические модели (детерминистическая и вероятностная), описывающие финансово-экономическое состояние нефтяной компании, учитывающие неопределенность макроэкономических параметров.
4. Поставлены и численно решены задачи по оптимизации структуры долга на основе финансовой модели нефтяной компании.

В области создания комплексов программ:

5. Разработан комплекс программ для численного решения задачи оценки вероятности разорения и последующей оптимизации структуры долга нефтяной компании в условиях неопределенности макроэкономических параметров для целей минимизации риска разорения.

Методы исследования. В диссертационной работе используются методы теории вероятностей, стохастических процессов, математического и функционального анализа, численных методов, математической статистики, вариационного исчисления, теории оптимизации.

Научная новизна. В диссертационной работе получены новые результаты: впервые рассмотрен и формализован класс задач по оптимизации валютной структуры долга заемщика в условиях макроэкономических кризисов. Разработаны алгоритмы непараметрической аппроксимации и обоснованы некоторые свойства полученных решений. Разработаны алгоритмы для получения решения в новом классе задач оптимизации в зависимости от горизонта планирования и уровня риска. Создан комплекс программ, реализующий все положения, описываемые в диссертационном исследовании.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке теоретических подходов и критериев для поиска

оптимальной структуры долга в условиях неопределенностей внешней среды.

Практическая значимость исследования заключается в применении разработанных подходов и моделей для планирования деятельности нефтяных компаний как на этапах разработки долгосрочной стратегии отдельной взятой компании, так и на этапе экономической оценки эффективности проектов освоения нефтяных месторождений. Предложенные методы определяют решение по оптимальной структуре долга компании в зависимости от степени риска. Кроме того, доказанные свойства решений по *методу аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований* применимы для построения сложных нелинейных непараметрических зависимостей.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается использованием официальных данных о производственно-финансовой деятельности российских нефтяных компаний (ОАО НК ЛУКОЙЛ, ОАО НК БашНефть), а также использованием апробированных численных моделей, и соответствием результатов моделирования с практическим поведением российских нефтегазовых в периоды падения цен на углеводороды.

На защиту выносятся следующие основные положения:

В области численных методов:

1. Доказанные свойства и условия существования решений по методу непараметрической аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований.

В области математического моделирования:

2. Разработанный алгоритм непараметрической аппроксимации параметров модели.
3. Стохастическая финансово-экономическая модель нефтяной компании.
4. Разработанный и реализованный в комплексе программ

алгоритмический аппарат поиска гарантирующих стратегий для задачи оптимизации структуры долга с квантильным критерием в зависимости от степени риска.

5. Доказанная и реализованная в комплексе программ формула непрерывности денежного потока для динамической системы.
6. Полученные численные решения по задачам оптимизации для минимизации финансовых рисков.

В области создания комплексов программ:

7. Программный комплекс, предназначенный для решения задачи по минимизации финансовых рисков нефтяной компании в условиях неопределенности макроэкономических параметров.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах:

1. 7-м Российском нефтегазовом конгрессе в рамках 10-й Московской международной выставки «Нефть и Газ» (Москва, 2009 г.),
2. Конференции «Управление рисками в компаниях нефтегазовой отрасли» (Москва, 2010 г.),
3. Научно-практическом семинаре «Финансовые инновации» при Финансовом университете при Правительстве РФ (Москва, 2010 г.),
4. Конференциях «Энергетическое и промышленное страхование в России и СНГ» (Москва, 2012 г., 2013 г.),
5. 3-й ежегодной конференции «Риск-менеджмент 2013: перезагрузка» (Москва, 2013 г.),
6. Конференции «Корпоративное казначейство в России и СНГ» (Москва, 2014 г.),
7. 9-ой практической конференции «Корпоративное казначейство в России и СНГ» (Москва, 2014 г.),

8. Конференции «Управление корпоративными рисками» (Москва, 2014 г.),
9. Конференции «Корпоративные системы риск-менеджмента: лучшие практики», (Москва, 2014 г.),
10. Научно-методическом семинаре факультета бизнес-информатики НИУ ВШЭ для аспирантов и магистрантов «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (2014 г.),
11. Общемосковском семинаре ИПУ РАН «Экспертные оценки и анализ данных» под руководством д.т.н. Алескерова Ф.Т. , д.т.н., член-корреспондента РАН Новикова Д. А. (2015 г.)
12. Семинаре кафедры теории вероятностей Московского авиационного института под руководством проф. Кибзун А.И. (2015 г.)

Разработанные алгоритмы и методики внедрены и используются в деятельности компании ОАО «НК «РуссНефть», Институте физико-технической информатики и Международном центре по ядерной безопасности, что подтверждено соответствующими актами внедрения (Приложение 1-3).

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 10 печатных работах, из них 3 статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК, 7 статей в профессиональных журналах и научных сборниках.

Личный вклад автора. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим.

Структура и объем диссертации. Диссертация общим объемом 114 с. состоит из введения, трех глав, содержит 34 рисунка, 3 таблицы, 3 приложения и перечень используемой научно-технической литературы из 190 наименований.

Глава 1. Обзор методов анализа и учета неопределенностей в математических моделях

1.1 История возникновения

Проблема учета неопределенностей в прикладных задачах впервые была поднята экономистом Фрэнком Найтом в 1921 году [1], попытка формализации неопределенностей как меры энтропии была продолжена Шеноном [2].

Примерно в это же время появились первые работы в области оценки надежности с применением основ теории вероятностей, принадлежащие Н.Ф. Хоциалову [3] и Г. Майеру [4].

Интерес к учету неопределенностей в прикладных расчетах только возрастал. Например, уже в 1952 году Марковиц опубликовал работу по выбору оптимального портфеля [5], в которой использовались элементы анализа неопределенностей. В 50-70х г. опубликовано большое количество работ, в которых описывались аналитические исследования данной проблематики по отношению к различным отраслям науки и техники. Необходимо отметить ряд работ, ставших классическими в своих отраслях, например, работу Грайсона [6], Кауфмана [7], Козолино [8], Гарнаута [9] по принятию решений в нефтегазовой отрасли, работы Половко [10], Гнеденко [11] по теории надежности, Хинчина по теории массового обслуживания [12]. Кроме того, необходимо отметить серьезный вклад в развитие теории и практики надёжности фундаментальной работы Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляева и А.Д. Соловьёва [13].

В 60-70х г. прошлого века доктор Л. Заде разработал основы теории нечетких множеств (fuzzy sets) [14-17] которые и по сей день используются рядом авторов при анализе неопределенности, например [18-25].

Серьезным прорывом в применении математических методов при анализе неопределенностей можно считать работу доктора Расмуссена из Массачусетского технологического института, который по заказу из Комиссии по ядерному урегулированию Департамента энергетики США провел исследование рисков, связанных с эксплуатацией АЭС и впервые ввел термин «неопределенность» при анализе риска [26]. В своей работе Расмуссен использовал различные методики описания возможных сценариев, в том числе методику деревьев событий, тогда же была разработана теория деревьев отказов. За работой Расмуссена последовала работа группы ученых, возглавляемых Льюисом [27], с критикой подходов, описываемых в работе [26]. Несмотря на большое количество работ, посвященных анализу ошибок в работе Н.Расмуссена, например [28], эта работа стала базовой для всех последующих исследований по вопросу анализа неопределенностей.

С развитием вычислительной техники и проникновению математических методов в различные области экономики и финансов в конце 80-х годов начали внедряться элементы анализа неопределенностей – так называемая «стоимость под риском». Считается, что идея такой концепции принадлежит Дэннису Везерстоуну, председателю совета директоров банка J.P. Morgan, который хотел каждый день отчет о максимальных потерях по всем трейдинговым позициям в банке, ожидаемым в ближайшие 24 часа [29]. Уже позднее, был введен термин *Value at risk* [30], который стал основой для дальнейших разработок. Так, например, уже в 1994 году была разработан метод RiskMetrics [31], а в 1999 году сделано обобщение на риски нефинансовых корпораций [32].

В середине в 90-х и начале 2000х начали появляться работы, исследующие или применяющие методы анализа неопределенностей в

различных отраслях мирового топливно-энергетического комплекса. При этом стоит отметить работы по узкоспециализированным отраслям, в нефтегазовой отрасли это работы как зарубежных специалистов, таких как Роуза [33], Армстронга [34], Шойзера [35] и др., так и отечественных, например [36-41], в атомной отрасли это прежде всего работы в области надежности сложных систем, в том числе по заказу Комиссии по ядерному урегулированию Министерства Энергетики США, такие как [42-55] и МАГАТЭ, например [56-63], и др. Из отечественных авторов стоит отметить работы теоретической группы Р.Т.Исламова в области оценки риска и анализа неопределенностей [64-85] выполнявшиеся в разное время в ИБРАЭ РАН, НИЦ «Курчатовский институт» и МЦЯБ.

В последнее время ряд авторов, в том числе в нефтегазовой отрасли понимают важность и необходимость выполнения анализа неопределенностей в различных расчетах, см. например [86-91].

1.2 Обзор методов анализа неопределенностей

Математические модели включают в себя неопределенности различных типов. Неопределенности могут возникать, как и в параметрах этих моделей, так и в самих моделях. Эта глава будет посвящена критическому анализу всех существующих на данный момент методов анализа неопределенности, как качественного, так и количественного.

Для качественного понимания анализа неопределенности можно использовать т.н. правило «бритва Оккама»[92], которое заключается в следующем: более простые объяснения явлений с большей вероятностью оказываются правильными, чем более сложные.

Что касается количественного анализа неопределенности, необходимо использовать количественные методы.

Для относительно простых уравнений, описывающих сложные системы, можно использовать т.н. «метод аналитического приближения»[93-96]. В основе этого метода лежит широко известная центральная предельная теорема из курса теории вероятностей. Различные варианты метода аналитического приближения приведены в работах [97-98].

Существуют также методы, использующие преобразование Фурье (FAST), такие методы впервые были описаны в работе [99] и продолжены рядом исследователей, например [100-103]. Этот метод может быть использован для оценки чувствительности модели к выходным параметрам. Согласно исследованию [104] метод FAST работает «быстрее» чем широко известный метод Монте-Карло. Метод FAST базируется на свойствах преобразования Фурье и используется для анализа неопределенности и чувствительности параметров модели. Основным недостатком является сложность расчетов при большом количестве параметров модели. Несмотря на множество привлекательных особенностей, метод может быть неприменим из-за потенциальных проблем при обработке дискретных параметров модели. Метод FAST используется для оценки значений и дисперсии данных, полученных с помощью модели, и для оценки вклада отдельного входного параметра в дисперсию данных, полученных с помощью модели. Метод FAST не зависит от каких-либо предположений относительно модели. С помощью этого метода можно оценить как локальную чувствительность, вклад одного входного параметра, так и вклад всех изменяемых одновременно параметров модели.

Другой метод для анализа неопределенности, основанный на регрессионном анализе был предложен и описан в работах [105-110]. Главный недостаток этого метода состоит в том, что все входные параметры считаются распределенными по нормальному закону. Однако это не мешает использованию этого метода в инженерных приложениях [105].

Также существуют методы, использующие разложение в ряд Тейлора (с использованием аппарата частных производных) в окрестности исследуемой точки [111-113]. Эти методы предназначены для анализа при небольших отклонениях от исследуемого значения. Главный недостаток этих методов состоит в том, что необходимо знать конкретный вид функции, описывающий рассматриваемую систему. С помощью этих методов невозможно получить достоверный результат при больших значениях неопределенности параметров модели.

Что касается численных методов анализа неопределенности, необходимо упомянуть широко используемый метод Монте-Карло [114] и его обобщение на многомерный случай – латинский гиперкуб [115-117].

Также стоит упомянуть метод RSM - Response Surface Method [118-121], метод построения поверхности отклика, в результате которого можно получить наглядное представление взаимосвязи между входными и выходными данными модели через построение т.н. «поверхности отклика». В связи со сложностью построения поверхности данный метод может быть использован только для ограниченного числа параметров модели. Метод RSM использует не все входные данные анализируемой модели, таким образом, с помощью этого метода невозможно провести анализ чувствительности всех параметров модели.

В настоящее время также существуют и описаны «методы моментов» [122-126], методы для анализа неопределенности, основанные на элементах нечеткой логики [17-19],[127-132] и др.

В таблице 1 описаны способы применимости данных методов и их недостатки.

Таблица 1 - Сравнение методов анализа неопределенностей

Название метода	Применимость	Недостатки
Регрессионный анализ	Анализ неопределенности параметров модели/ анализ чувствительности модели.	Модель должна быть представлена в виде аналитического выражения. Время расчета зависит от способа моделирования.
Метод построения поверхности отклика	Анализ неопределенности параметров модели/ анализ чувствительности модели.	Необходимо большое количество расчетных данных для построения такой поверхности.
FAST	Анализ неопределенности параметров модели/ анализ чувствительности модели.	Метод хорошо работает на некоррелированных данных. Могут возникнуть проблемы при использовании дискретных данных.
SUAM,CSSUAM,	Анализ неопределенности	Метод обеспечивает информацию только в

	параметров модели	небольшой окрестности точки. Обычно требуется сложная процедура численного моделирования.
Монте-Карло, латинский гиперкуб	Анализ неопределенности параметров модели.	Методы требуют больших вычислительных мощностей. Не работают на «редких» событиях.
Методы моментов	Анализ неопределенности параметров модели.	Точность определяется количеством запусков этого метода.

1.3 Некоторые вопросы анализа неопределенностей и риск-менеджмента

Возрастающий интерес к анализу неопределенностей, например работы [86-91], требует формализации и разработки единого подхода к учету и моделированию неопределенностей.

Рассмотрим несколько показательных примеров. Как уже упоминалось ранее, большинство компаний ТЭК формируют несколько видов бюджетов, исходя из разных уровней цены на нефть: «пессимистичный», «базовый» и «оптимистичный».

Практически всегда, планирование капитальных расходов и объемов работ для нефтяных компаний непосредственно зависит от цены на нефть, заложенной в бюджет:

«Изменение макроэкономических факторов, таких как снижение мировых цен на углеводородымогут негативно повлиять на финансовые результаты Компании и способность осуществлять запланированные программы капитальных вложений» [133].

При этом, при анализе возможных сценариев не используется интервальный подход и анализ неопределенностей:

«В Компании применяется сценарный подход к прогнозированию макроэкономических показателей, позволяющий проводить комплексный анализ влияния макроэкономических рисков на деятельность. Такой подход позволяет выявлять наиболее чувствительные к изменению макроэкономических параметров активы и инвестиционные проекты и принимать необходимые управленческие решения, в т. ч. направленные на оптимизацию портфеля инвестиционных проектов» [133].

Очевидно, что при такой постановке задачи, по 3-м точкам невозможно построить функцию распределения вероятностей

случайной величины (цены на нефть), которая является основной при планировании деятельности.

К чему может привести такое предположение, можно видеть ниже, на Рисунке 1.

В качестве иллюстрации на Рисунке 1 показаны 2 плотности распределения $f_{\xi}(x)$ и $f_{\psi}(x)$ случайных величин ξ и ψ , определенных на одной и той же тройке (Ω, \mathcal{F}, P) и описывающих цену на нефть. Пусть сценарии, рассматриваемые в так называемом «сценарном анализе» это реализации $\{75; 90; 103\}$.

Без какой-либо гипотезы о функции (плотности) распределения случайной величины можно построить совершенно различные плотности распределения случайных величин ξ и ψ .

Считая, что реализация $\{75\}$ соответствует минимально возможному сценарию (стрес-сценарий), из рассмотрения автоматически исключаются «хвосты распределения», это наглядно демонстрирует Рисунок 1.

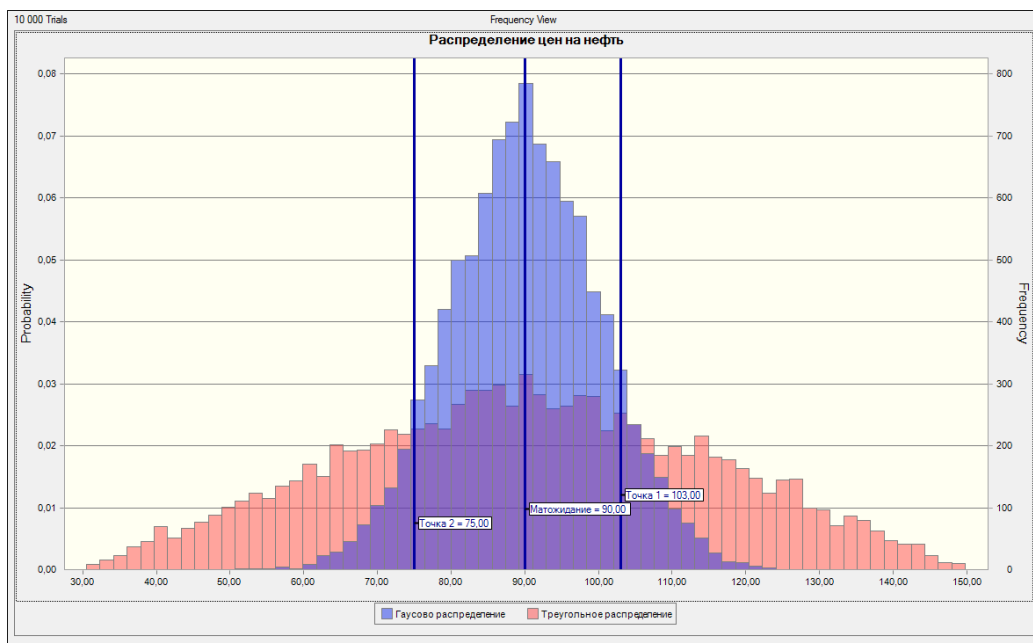


Рисунок 1 - Пример ошибки при 3-х использовании сценариев

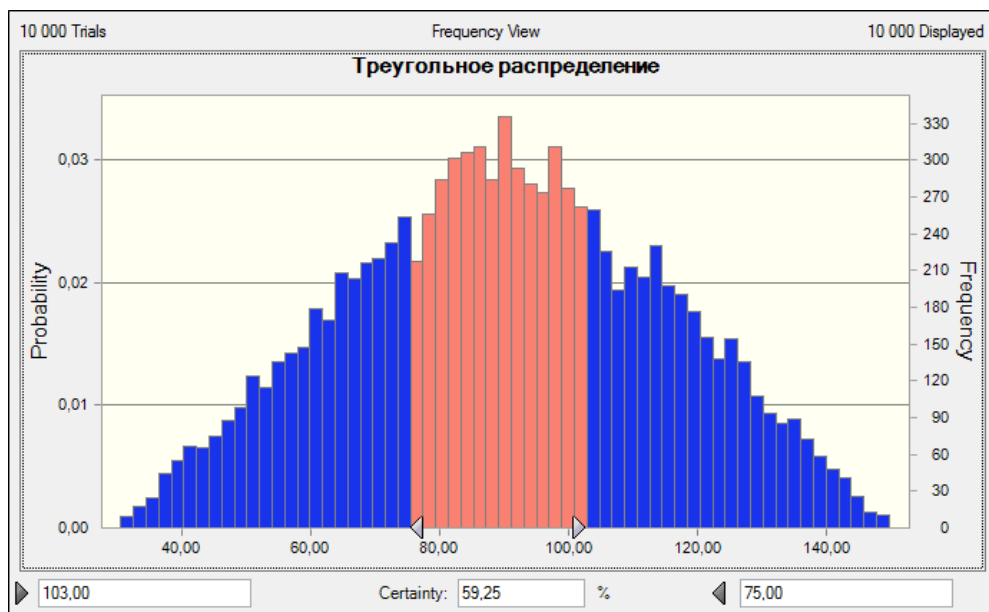


Рисунок 2 - Плотность распределения случайной величины

С формальной точки зрения, казалось бы, учтены различные сценарии, однако такой подход полностью не учитывает т.н. «хвосты» распределения, как это показано на Рисунке 2.

Действительно, оценим вероятность попадания в диапазон сценарного анализа (при гипотезе, что случайная величина имеет плотность, описываемую треугольником):

$$P\{75 < \xi < 103\} = P\{75 < \xi\} + P\{\xi > 103\} = 0,6$$

Получается, что параметры случайной величины с вероятностью 0,6 не будут учтены в планировании деятельности компании на следующие периоды. Естественно, можно даже не поднимать вопросы о качестве модели, если некачественно учтена *неопределенность параметров модели*.

Таким образом, возникает вопрос об организации работ в области учета неопределенностей и рисков. Ряд международных консалтинговых компаний периодически опрашивают руководство компаний, о том, какую пользу они хотят видеть от систем риск-менеджмента. Для примера, специально возьмем опросы,

проведенные несколько лет назад [134-135]. Результаты опросов приведены на Рисунках 3-7.



Рисунок 3 - Результаты опроса



Рисунок 4 - Результаты опроса

Независимые обзоры показывают, что основная цель управления рисками для многих компаний *едина* - улучшение процесса принятия решения. Используя методы сценарного анализа либо используя детерминистические расчеты эту цель не достичь, хотя многие пытаются это делать:

Методы оценки рисков, применяемые в компаниях

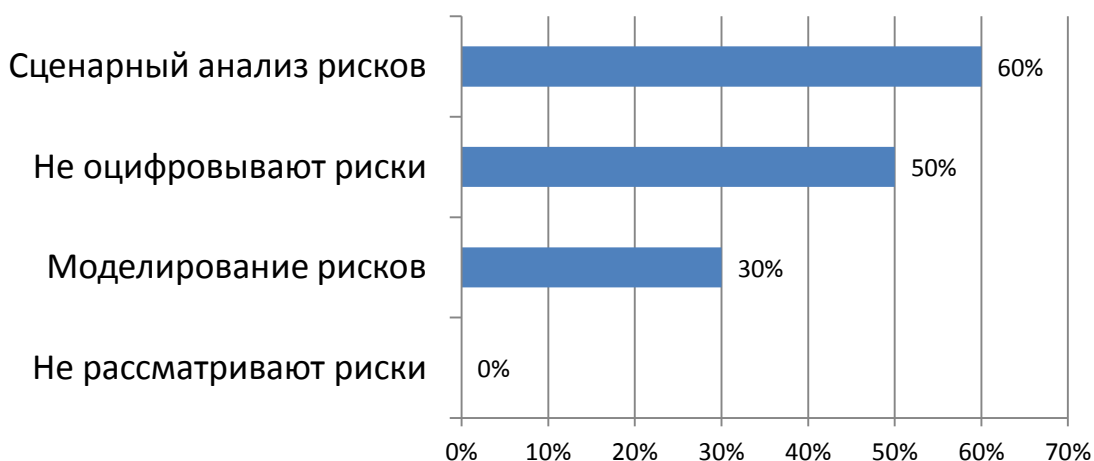


Рисунок 5 - Результаты опроса по методам оценки рисков

Кризис 2008-2009 стал катализатором исследований в области риск-менеджмента и анализа эффективности систем риск-менеджмента [136], некоторые результаты приведены Рисунках 6-7.

Проблемы корпоративного управления, выявленные финансовым кризисом

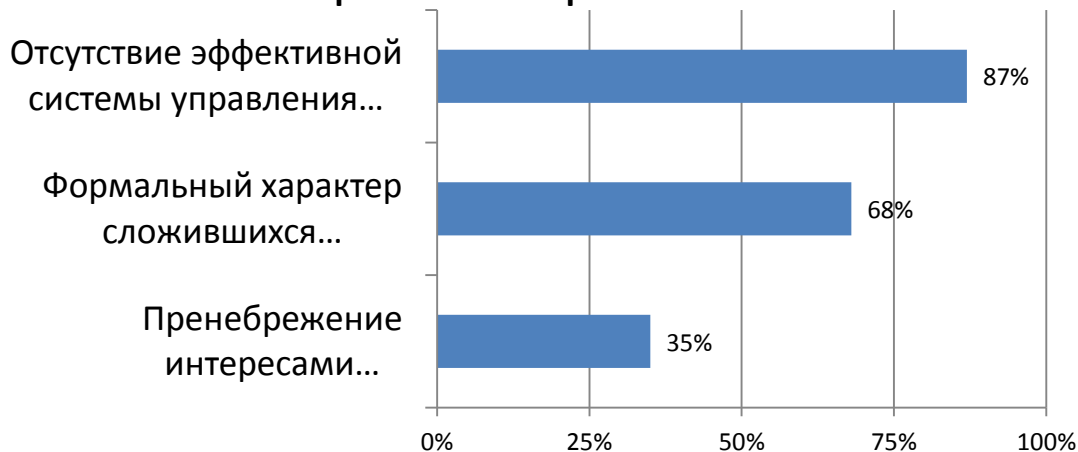


Рисунок 6 - Проблемы корпоративного управления в кризис



Рисунок 7 - Первоочередные задачи для улучшения практики управления

Согласно исследованию [136], ключевой проблемой, выявленной финансовым кризисом является отсутствие эффективной системы управления рисками. Кроме того, большинство компаний отмечают, что основной задачей для повышения качества корпоративного управления является улучшение системы управления рисками и системы внутреннего контроля.

Результаты опроса и исследований однозначно свидетельствуют о необходимости использования риск-менеджмента (в том числе анализа неопределенностей) для поддержки принятия решений. Опять же, сам по себе процесс идентификации и оценки рисков без использования результатов для принятия решений не очень то и нужен, даже не смотря на необходимость соответствия требованиям регулятора, это наглядно отображает Рисунок 7.

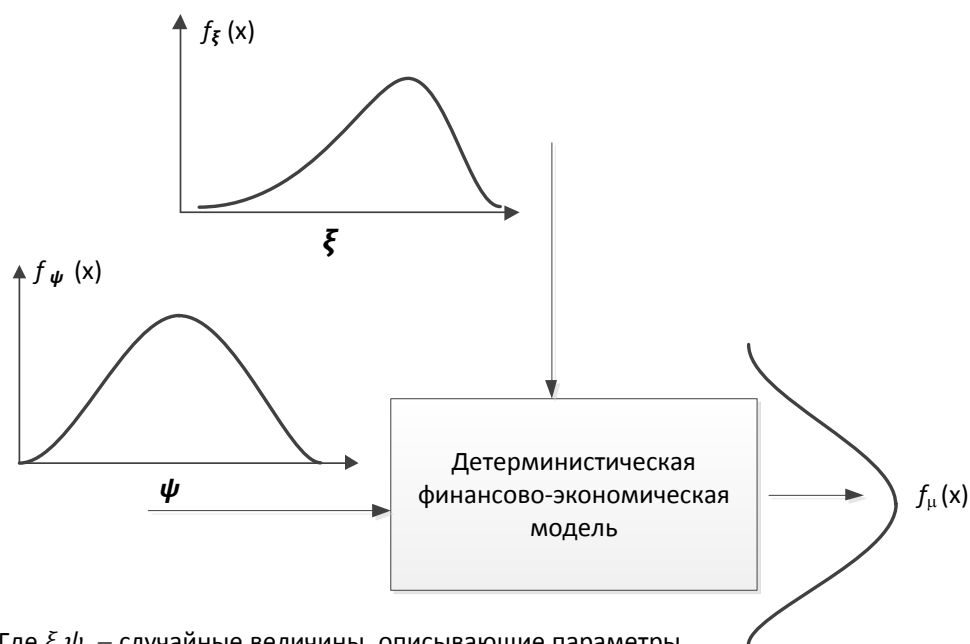
Действительно, подразделение риск-менеджмента может выполнять большой объем работы по идентификации рисков, их

обработке и анализу, однако без интеграции с процессом поддержки принятия решений этот результат вряд ли будет востребован.

Эту тенденцию давно осознали некоторые международные компании, например, компания ConocoPhillips, в организационной структуре которой существует специальная группа *Decision and Risk Analysis*, задача которой только обучать персонал основам теории вероятностей и стохастических процессов. Результат обучения стал виден только через несколько лет, и трансформировался в то, что решения, в том числе технические и финансовые принимаются с учетом анализа вероятностных распределений, и оценкой квантилей таких распределений. Принцип принятия решений на основе рисков «вшит» в действующие процедуры, подробно об этом написано в [137].

Действительно, для обеспечения непрерывного финансирования в постоянно меняющейся макроэкономической ситуации такие подходы реализуют анализ и оценку финансового состояния компании на всех возможных макроэкономических сценариях.

Из-за сложности системы налогообложения, решение данной задачи в аналитическом виде вряд ли возможно; соответственно, решение поставленной задачи возможно исключительно путем анализа того, как *неопределенность параметров модели* влияет на выходные результаты финансово-экономической модели, как показано на Рисунке 8. Устоявшийся англоязычный термин для подобного анализа - «uncertainty analysis», по которому существует довольно много работ, описывающих методы для подобного анализа, обзор таких работ представлен в разделе 1.2.



Где ξ, ψ – случайные величины, описывающие параметры модели,
 $f_{\xi}(x)$ – соответствующие им плотности распределения,
 μ – результат модели (денежный поток и др.),
 $f_{\mu}(x)$ – плотность распределения вероятностей результатов расчета.

Рисунок 8 - Анализ неопределенностей параметров модели

Говоря об анализе неопределенностей в общем случае необходимо отметить вопрос об интерпретации результатов и последующей их визуализации. Одна из насущных проблем подобных методов и риск-менеджмента в целом – усложненная интерпретация с большим количеством формул.

Действительно, известны случаи, когда расчеты и анализ явно свидетельствовал о невозможности осуществления того или иного действия, однако выводы были плохо визуализированы, либо написаны слишком техническим языком, непонятным для руководителей.

В качестве доказательства данной гипотезы можно рассматривать случай с гибелью космического корабля «Колумбия» в 2003 году. В период нахождения шаттла на орбите инженеры НАСА оценивали риски повреждения его крыла. Когда инженерный расчет и

оценка рисков завершилась, результаты были занесены в стандартный формат презентации, в результате чего важная информация была потеряна. Слайд представлял собой крайне сложную структуру с шестью уровнями расположения повторяющегося текста с использованием сложных технических сокращений. Из-за этого ценность информации была низкой, и принять какое-либо решение не представлялось возможным [138].

Говоря об анализе неопределенности в общем случае можно выделить два типа источников:

- *неопределенность исходных данных* Данная неопределённость обусловлена, как правило, недостаточностью либо даже избыточностью статистики и может быть учтена путем задания функций распределения для исходных данных.
- *неопределенность*, обусловленная принятием различного рода упрощений и допущений на всех этапах анализа; неопределённость в описании физических процессов; неопределенность, связанная с представлением функционирования объекта с помощью определённой модели и т.п.

Обзору существующих на сегодняшний день методов анализа неопределённости посвящена работа [65], в которой отмечается, что большинство методов анализа разработаны для учёта неопределённости, обусловленной неопределённостью исходных данных. Кроме того, предлагается следующая классификация задач анализа неопределённости:

1. Детерминистические расчёты:
 - а. Анализ неопределённости параметров модели (Deterministic model parameter uncertainty);

- b. Анализ неопределённости модели (Deterministic model uncertainty).
2. Вероятностные расчёты:
- a. Анализ неопределённости параметров вероятностной модели (Stochastic model parameter uncertainty);
 - b. Анализ неопределённости вероятностной модели (Stochastic model uncertainty)

Настоящая работа посвящена построению детерминистических и стохастических моделей и практическому применению методов к анализу неопределенностей параметров финансово-экономической модели нефтяной компании.

1.4 Выводы по первой главе

1. Проведён обзор литературы по истории возникновения темы исследования. Отмечен возрастающий интерес к учету неопределенностей при принятии решений.
2. Проведен обзор литературы по существующим методам учета неопределенности.
3. Приведено сравнение и краткая классификация методов учета неопределенности в моделях.
4. Рассмотрены вопросы учета неопределенности при планировании деятельности компаний. Отмечено недостаточное внимание к учету неопределенностей в работе компаний. Обоснована важность разработки методических вопросов анализа неопределенностей при планировании деятельности компаний.

Глава 2. Исследование свойств аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований

2.1 Метод аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований

Данная глава содержит в себе дальнейшее исследование метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований, предложенной Исламовым [64] и исследованной Волковым в части свойств нормы операторов отображения [83] и Высочанским в части свойств ядерных оценок [71].

В случае, когда используются результаты того или иного автора, будет сделана соответствующая ссылка на результат.

Постановка задачи состоит в следующем: пусть существуют реализации случайной величины X , $X = (x_1, \dots, x_n)$ – апостериорное множество описаний объектов, а реализация случайной величины Y – множество допустимых ответов $Y = (y_1, \dots, y_n)$ из наблюдений $(s + m)$ – мерного случайного вектора (X, Y) , где X и Y принимают значения в \mathbb{R}^s и \mathbb{R}^m соответственно, $s, m \in \mathbb{N}$.

Предполагается, что существует неизвестная функциональная зависимость между X и Y , такая что $\Phi: X \rightarrow Y$, значения которой известны только на объектах обучающей априорной выборки $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$, при этом $y_i = \Phi(x_i)$.

Требуется построить алгоритм SA, аппроксимирующий целевую зависимость $\Phi(x)$. Построенный алгоритм SA будет использоваться в дальнейшем для последующей генерации значений $y(x) = SA(x)$ для целей получения гарантированных (по вероятности) решений.

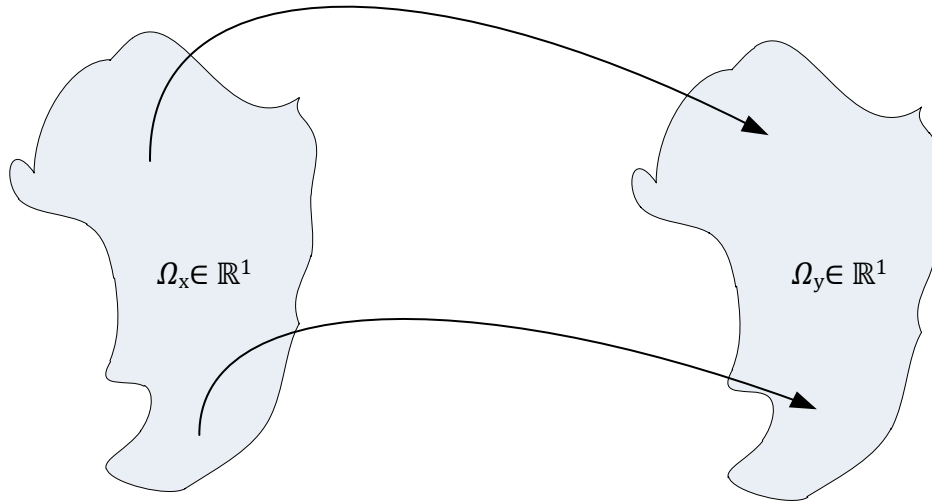


Рисунок 9 -Отображение $\Phi(x)$

Получаемое приближение для функции $\Phi: X \rightarrow Y$ должно удовлетворять условию совпадения на узлах обучающей выборки:

$$SA(x_i) = y_i \quad (2-1)$$

Построение приближения для неизвестной функции $\Phi: X \rightarrow Y$ в некоторой $x \in \Omega_x$ проводится следующим образом (Волков, Исламов):

Шаг 0. Если $x \in \{x_i\}_{i=1}^N$, то $SA(x_i = x) = \Phi(x_i) = y_i$ в соответствии с условием (1).

Шаг 1. Если $x \notin \{x_i\}_{i=1}^N$, то решение ищется в виде:

$$y = SA(x, \{x_i, y_i\}_{i=1}^N) = \sum_{i=1}^N c_i(x, x_i) y_i \quad (2-2)$$

Где:

$$c_i(x, x_i) = \frac{\|x - x_i\|_{l_1(\Omega_x)}^{-2}}{\sum_{i=1}^N \|x - x_i\|_{l_1(\Omega_x)}^{-2}} \quad (2-3)$$

а $\|\cdot\|_{l_1}$ -стандартная l_1 -норма векторного пространства Ω_x

Шаг 2. Расширение области определения Ω_x и области значения Ω_y до необходимого путем параметрической аппроксимации.

В работах Р.Т. Исламова и А.А. Волкова вводится функция потерь $L(y, y^*)$, отвечающая за отклонение ответа $y = SA(x)$ от *правильного* ответа $y^* = \Phi(x)$.

$$L(x, y, \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^N) = \left(\frac{\sum_{i=1}^N \|y - y_i\|_{l_1(\Omega_y)}}{\sum_{i=1}^N \|x - x_i\|_{l_1(\Omega_x)}} \right)^2 \rightarrow \min \quad (2-4)$$

Выбор l_1 -нормы в качестве меры расстояния диктуется наличием значительных отклонений в выборках («выбросы»), которые могут привести к некорректному учету неопределенностей для целей моделирования.

Несмотря на глубокий анализ свойств метода аппроксимации в вышеупомянутых работах, не доказаны теоремы о существовании и единственности решения и ряд других свойств для использования данного метода в целях анализа неопределенностей.

Теорема 1 (О необходимом условии существования решения метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований): Для существования решения метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований необходимо чтобы вариация функционала $L_{\|\Psi\|}$ равнялась нулю.

Доказательство: ► Пусть функционал (2-5) достигает экстремальное значение на кривой $y = y(x)$, а кривая $y = \hat{y}(x)$, близка к $y(x)$. Рассмотрим семейство функций:

$$y(x, \alpha) = y(x) + \alpha(y(x) - \hat{y}(x)) = y(x) + \alpha \delta y \quad (2-5)$$

На кривых этого семейства функционал будет просто функцией переменной α , т.е.

$$L[y(x, \alpha)] = L[\alpha] \quad (2-6)$$

Учитывая необходимые условия локального экстремума функции одной переменной при $\alpha = 0$ получим $L'[\alpha] = 0$.

Поскольку согласно представлению для вариации функционала [139]:

$$\delta L[y(x)] = \frac{\partial}{\partial x} L[y(x) + \alpha \delta y] |_{\alpha=0} = L'(\alpha) = 0, \alpha = 0 \quad (2-7)$$

отсюда следует необходимое условие экстремума функционала, а именно при $y = y_0(x)$, вариация функционала должна быть равной нулю:

$$\delta L[y_0(x)] = 0 \quad (2-8)$$

Теорема доказана. ◀

Применим условия Теоремы 1 к поиску решения аппроксимации:

$$\delta L_{\|\Psi\|}(a, b, \{(x, y)\}) |_{\alpha=0} = \frac{\partial}{\partial y^i} \left[\frac{\sum_{i=1}^N \|b - y_i\|_{L_1(\Omega_y)}}{\sum_{i=1}^N \|a - x_i\|_{L_1(\Omega_x)}} \right] = 0 \quad (2-9)$$

После дифференцирования условия (2-9) принимают вид

$$\sum_{i=1}^N \frac{y - y_i}{\|x - x_i\|_{L_1(\Omega_x)}} = 0 \quad (2-10)$$

откуда следует:

$$y = \frac{\left(\sum_{i=1}^N \|x - x_i\|_{L_1(\Omega_x)}^{-2} y_i \right)}{\sum_{i=1}^N \|x - x_i\|_{L_1(\Omega_x)}^{-2}} = \sum_{i=1}^N c_i(x, x_i) y_i \quad (2-11)$$

Тогда приближение SA будет иметь вид:

$$SA(x, \{(x_i, y_i)_{i=1}^N\}) = \sum_{i=1}^N c_i(x, x_i) y_i \quad (2-12)$$

Волковым в работе [83] исследованы свойства $c_i(x, x_i)$ и функции $SA(x, \{(x_i, y_i)_{i=1}^N\})$ такие как:

1. О непрерывности коэффициентов $c_i(x, x_i)$, (2-13)

2. О поведении коэффициентов $c_i(x, x_i)$ в окрестности (2-14)

известной точки,

3. О нормированности коэффициентов $c_i(x, x_i)$, (2-15)

4. Об асимптотическом поведении коэффициентов $c_i(x, x_i)$, (2-16)

5. Об асимптотическом поведении $SA(x, \{(x_i, y_i)_{i=1}^N\})$ (2-17)

6. Об ограниченности $SA(x, \{(x_i, y_i)_{i=1}^N\})$ (2-18)

Несмотря на глубокий анализ свойств метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований в работах [64,83] не доказаны теоремы о существовании и единственности решения.

Кроме того, уже доказана теорема о необходимом условии существования решения аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований (см. Теорема 1)

2.2 Существование и единственность решения метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований

Лемма 1. Пусть Ω_y - компакт в метрическом пространстве \mathbb{X} . Тогда для каждого $f \in \Omega_y$ - существует наилучшая аппроксимация.

Доказательство: ► Пусть $d_* = \inf\{d(f, y): y \in \Omega_y\}$ и пусть $\{y_i\}$ – последовательность, полученная в результате аппроксимации, минимизирующая расстояние (Теорема 1 и см.(2-9)) , т.е. $d(f, y_i) \rightarrow d_*$.

Поскольку Ω_y - компакт, эта последовательность имеет, по крайней мере, одну предельную точку $y_* \in \Omega_y$ и можно предположить что:

$$d(y_i, y_*) \rightarrow 0 \quad (2-19)$$

Применим неравенство треугольника, т.к. X – метрическое пространство по определению:

$$d(y_i, y_*) \leq d(f, y_i) + d(u_i, y_i) \rightarrow d_* \quad (2-20)$$

Лемма доказана. ◀

Теорема 2: Пусть Ω_y - конечномерное подпространство нормированного линейного пространства X . Тогда для каждого $f \in \Omega_y$, существует наилучшая аппроксимация.

Доказательство:

► Пусть y_0 – элемент из Ω_y , такой что $y_0 = 0$. Будем искать наилучшую аппроксимацию в наборе:

$$Y_0 = \{y: y \in \Omega_y, \|f - y\| \leq \|f - y_0\|\} \quad (2-21)$$

Область, заданная (2-21) является компактом, т.к. она ограничена и замкнутая, и является подпространством конечномерного пространства.

Поэтому, в соответствии с Лемма 1, существует элемент y_* , который является наилучшей аппроксимацией. Теорема доказана. ◀

Для доказательства единственности введем некоторые дополнительные условия на поиск решения в методе аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований.

Рассмотрим нормированное линейное пространство X и будем говорить, что такое пространство строго выпуклое, если выполняются условия:

$$\begin{aligned} \|x\| = \|y\| = 1, x \neq y \Rightarrow \left\| \frac{1}{2}(x + y) \right\| &< \frac{1}{2}\|x\| + \frac{1}{2}\|y\| \\ &= 1 \quad \forall x, y \end{aligned} \quad (2-22)$$

Лемма 2. Пусть Ω_y - строго выпуклое подпространство нормированного линейного пространства X . Тогда, для каждого

элемента $f \in \mathcal{X}$ существует хотя бы один элемент наилучшей аппроксимации.

Доказательство:

► Пусть \tilde{y} и y^* - два различных наилучших приближения метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований в пространстве Ω_y , такие что:

$$\|f - y^*\| = \rho(f, y^*) = \rho \quad (2-23)$$

$$\|f - \tilde{y}\| = \rho(f, \tilde{y}) = \rho \quad (2-24)$$

Тогда, в соответствии с (2.25):

$$\begin{aligned} \left\| f - \frac{1}{2}(y^* + \tilde{y}) \right\| &= \left\| \frac{1}{2}(f - y^*) + \frac{1}{2}(f - \tilde{y}) \right\| < \\ &< \frac{1}{2}\|f - y^*\| + \frac{1}{2}\|f - \tilde{y}\| = \frac{1}{2}\rho + \frac{1}{2}\rho = \rho \end{aligned} \quad (2-25)$$

Приходим к противоречию с условием наилучшей аппроксимацией. Лемма доказана. ◀

Теорема 3 (о существовании и единственности решения метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований). Пусть Ω_y – конечно размерное подпространство нормированного линейного пространства \mathcal{X} . Тогда для любого элемента $f \in \mathcal{X}$ решение, полученное методом аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований существует и единственно.

Доказательство:

► Доказательство вытекает из Леммы 2 и Теоремы 2. Теорема доказана. ◀

2.3 Исследование свойств метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований как стохастического функционала

Пусть задан набор реализаций случайных величин $x_i = \{X\}_{i=1}^N \subset \Omega_x$ и $y_i = \{\Phi(X)\}_{i=1}^N \subset \Omega_y$ и приближение для функции $\Phi(X)$, определяемое как $SA(x, \{(x_i, y_i)_{i=1}^N\}) = \sum_{i=1}^N c_i(x, x_i) y_i$ задает функционал $SA: \Omega_x \rightarrow \Omega_y$.

Дополнительно исследуем его свойства.

Лемма 3. Стохастический функционал $SA: \Omega_x \rightarrow \Omega_y$ является борелевской функцией.

Доказательство:

► Доказательство леммы следует из определения функционала $SA: \Omega_x \rightarrow \Omega_y$, действующего из пространства $l_1(\Omega_x)$ над полем действительных чисел \mathbb{R}^1 в нормированное пространство $l_1(\Omega_y)$ над полем действительных чисел \mathbb{R}^1 . Лемма доказана. ◀

Лемма 4. Пусть ξ случайная величина, определенная на вероятностном пространстве (Ω, \mathcal{F}, P) . Тогда стохастический функционал $SA[\xi]: \Omega_x \rightarrow \Omega_y$ тоже является случайной величиной $\eta = SA[\xi]$.

Доказательство:

► Проверим, что прообраз любого борелевского множества при отображении $SA: \Omega_x \rightarrow \Omega_y$ является событием.

Возьмем любое $\Lambda \in \mathfrak{B}(\Omega)$ и положим $\Lambda_1 = SA^{-1}(\Lambda)$. Множество Λ_1 является борелевским, т.к. $SA: \Omega_x \rightarrow \Omega_y$ является измеримой по Борелю (см. Лемма 3).

Найдем $(SA[\xi])^{-1}(\Lambda)$:

$$\{\omega | SA(\xi(\omega)) \in \Lambda\} = \{\omega | \xi(\omega) \in SA^{-1}(\Lambda) = \Lambda_1\} = \xi^{-1}(\Lambda_1) \in \mathcal{F} \quad (2-26)$$

Т.к. $\Lambda \in \mathfrak{B}(\Omega)$ и ξ - случайная величина. Лемма доказана. ◀

Лемма 5. Стохастический функционал $SA: \Omega_x \rightarrow \Omega_y$, построенный по набору известных точек (x_i, y_i) , т.е. $SA[x, \{(x_i, y_i)\}]$ не является линейным относительно x .

Доказательство:

► Пусть $x = y + z$, тогда используя (2-12) можно записать:

$$\begin{aligned} SA[x, \{(x_i, y_i)\}] &= SA[y + z, \{(x_i, y_i)\}] = \\ &= \sum_{i=1}^N c_i(y + z, x_i)y_i = \frac{\left(\sum_{i=1}^N \|y + z - x_i\|^{-2}_{\Omega_x}\right)}{\sum_{i=1}^N \|y + z - x_i\|^{-2}_{\Omega_x}} y_i \end{aligned} \quad (2-27)$$

Исходя из записи (2-27), из линейности коэффициентов c_i будет следовать линейность функционала $SA: \Omega_x \rightarrow \Omega_y$. Запишем произвольный коэффициент c_i :

$$\begin{aligned} c_i(y + z, \{x_i\}) &= \frac{\|y + z - x_i\|^{-2}_{\Omega_x}}{\sum_{i=1}^N \|y + z - x_i\|^{-2}_{\Omega_x}} \neq \\ &\neq \frac{\|y - x_i\|^{-2}_{\Omega_x}}{\sum_{i=1}^N \|y - x_i\|^{-2}_{\Omega_x}} + \frac{\|z - x_i\|^{-2}_{\Omega_x}}{\sum_{i=1}^N \|z - x_i\|^{-2}_{\Omega_x}} \end{aligned} \quad (2-28)$$

Имеет противоречие. Лемма доказана. ◀

Лемма 6. Стохастический функционал $SA: \Omega_x \rightarrow \Omega_y$, построенный по набору известных точек (x_i, y_i) , т.е. $SA[x, \{(x_i, y_i)\}]$ является монотонным на каждом промежутке $(x_i, x_{i+1}) \forall i \in [1; N]$ относительно x .

Доказательство:

► Без ограничения общности, построим стохастический функционал, отображающий 2 точки $SA: [x_1, x_2] \rightarrow [y_1, y_2]$

$$\begin{aligned}
SA[x, \{x_i, y_i\}] &= \\
&= \frac{\|x - x_1\|^{-2}}{\|x - x_1\|^{-2} + \|x - x_2\|^{-2}} y_1 \\
&\quad + \frac{\|x - x_2\|^{-2}}{\|x - x_1\|^{-2} + \|x - x_2\|^{-2}} y_2
\end{aligned} \tag{2-29}$$

Применим критерий монотонности функции на отрезке:

$$SA[x] > 0 \text{ или } < 0 \text{ для } \forall x \in [x_1, x_2] \tag{2-30}$$

Дифференцируем (2-29):

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dx} SA[x, \{x_i, y_i\}] &= \\
&= \frac{d}{dx} \left(\frac{\|x - x_1\|^{-2}}{\|x - x_1\|^{-2} + \|x - x_2\|^{-2}} y_1 \right) \\
&\quad + \frac{d}{dx} \left(\frac{\|x - x_2\|^{-2}}{\|x - x_1\|^{-2} + \|x - x_2\|^{-2}} y_2 \right)
\end{aligned} \tag{2-31}$$

Рассмотрим отдельно одно из слагаемых (2-31):

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{\|x - x_1\|^{-2}}{\|x - x_1\|^{-2} + \|x - x_2\|^{-2}} y_2 \right) = y_2 \tag{2-32}$$

Имеет что:

$$\begin{aligned}
&\frac{d}{dx} \left(\frac{\|x - x_1\|^{-2}}{\|x - x_1\|^{-2} + \|x - x_2\|^{-2}} y_1 \right) \\
&= \frac{2\|x_1 - x\|^{-3}}{(\|x - x_1\|^{-2} + \|x - x_2\|^{-2})} \\
&\quad - \frac{2\|x_1 - x\|^{-3} + 2\|x_2 - x\|^{-3}}{(\|x - x_1\|^{-2} + \|x - x_2\|^{-2})} \|x_1 - x\|^{-3}
\end{aligned} \tag{2-33}$$

Рассмотрим функцию (2-33):

$$\begin{aligned}
f(x) &= \frac{2\|x_1 - x\|^{-3}}{(\|x - x_1\|^{-2} + \|x - x_2\|^{-2})} \\
&\quad - \frac{2\|x_1 - x\|^{-3} + 2\|x_2 - x\|^{-3}}{(\|x - x_1\|^{-2} + \|x - x_2\|^{-2})} \|x_1 - x\|^{-3}
\end{aligned} \tag{2-34}$$

При стремлении к границам интервала $x \rightarrow x_1, x_2$

$$\lim_{x \rightarrow x_1, x_2} f(x) = 0 \quad (2-35)$$

При этом на промежутке $\forall x \in [x_1, x_2]$ функция знакопостоянна, т.е. критерий выполнен. Лемма доказана. ◀

Лемму 3 хорошо иллюстрирует Рисунок 10, на котором показан результат построения аппроксимации по набору точек (2-36):

$$x = \{1; 20\}, y = \{2; 30\} \quad (2-36)$$

Из Рисунка 10 видно, что первая производная знакопостоянна на заданном интервале, хотя вторая производная меняет свой знак.

Лемма 7. Стохастический функционал $SA: \Omega_x \rightarrow \Omega_y$, построенный по набору известных точек (x_i, y_i) , т.е. $SA[x, \{(x_i, y_i)\}]$ является интегрируемым по Лебегу на каждом промежутке $(x_i, x_{i+1}) \forall i \in [1; N]$ относительно x .

Доказательство:

► С учетом Леммы 4 и с учетом теоремы об интегрируемости монотонных функций на отрезке приходим к доказательству данного факта. Лемма доказана. ◀

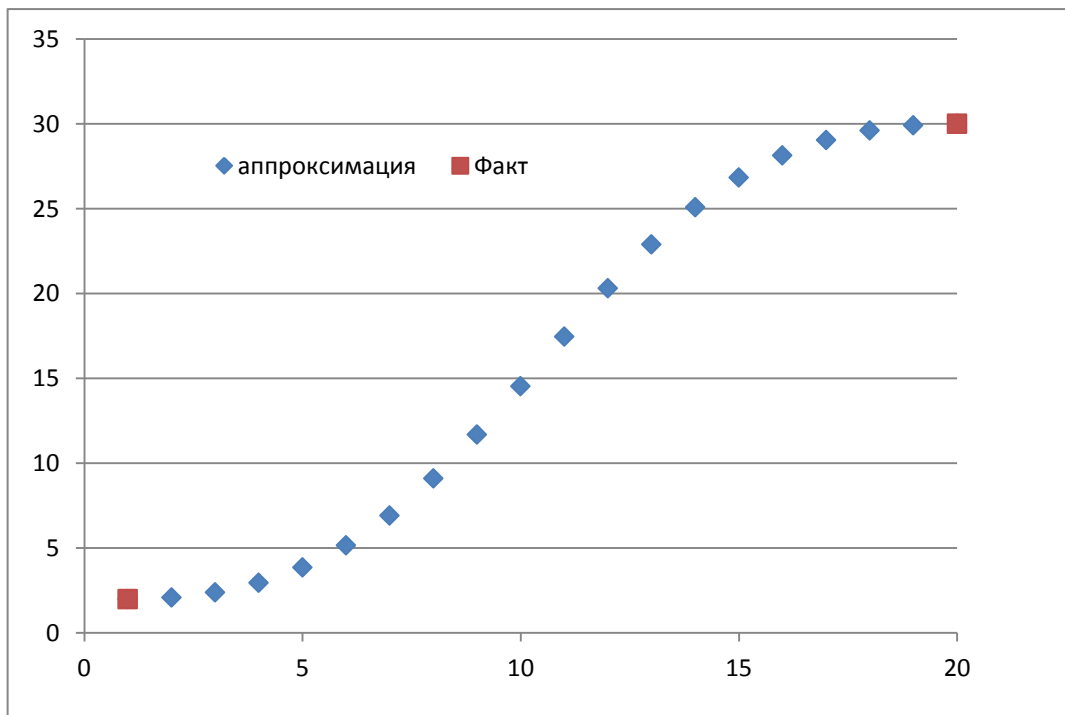


Рисунок 10 - Построение аппроксимации по 2-м точкам

2.4 Построение связи между стоимостью нефти и курсом рубля к доллару на основе метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований

В прикладных задачах очень часто требуется построить зависимость между двумя выборками случайных величин $\{X, Y\}$ и впоследствии генерировать случайные величины Y как функцию от X , т.е. $Y = f(X)$.

Согласно Леммы 4, стохастический функционал может быть использован для генерации *новой* выборки Y по задаваемым значениям X .

Тем не менее, согласно свойству (2-18) [83], стохастический функционал ограничен и необходимо доопределять его на возможных значениях, которые необходимы для анализа неопределенностей.

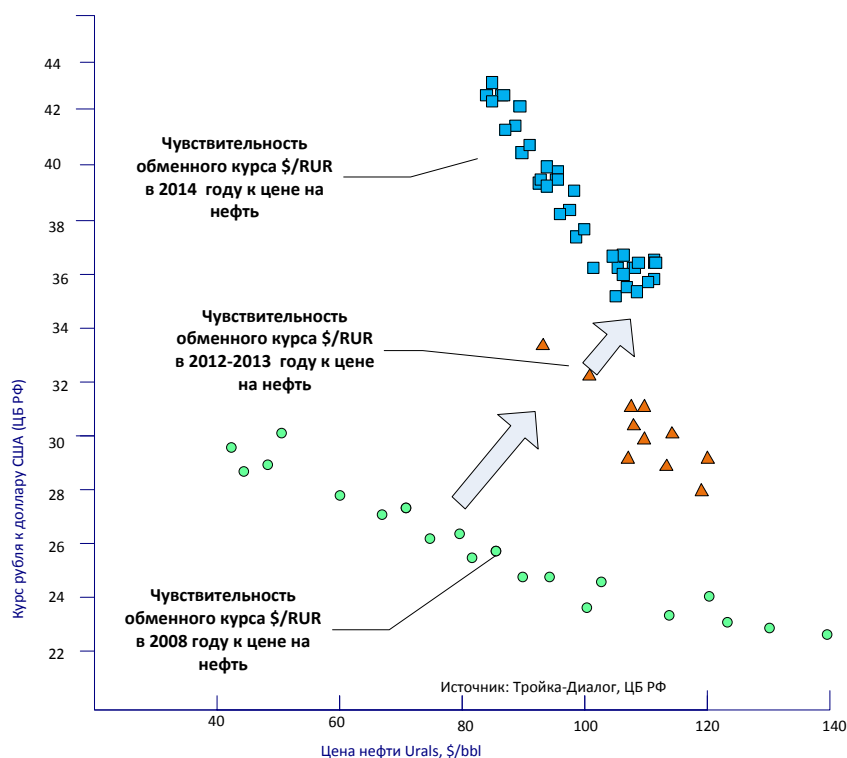


Рисунок 11 - График зависимости курса рубля от стоимости нефти

Ярким примером такой зависимости может служить связь между курсом рубля к доллару и стоимостью нефти, как это показано на Рисунке 11.

Рассмотрим график, показанный на Рисунке 11: на оси ординат отложим значения курса рубля по отношению к доллару, как он устанавливается Центральным банком РФ [140], по оси абсцисс — фактические цены сорта нефти Brent [141].

Построим стохастический функционал $SA(x, \{(x_i, y_i)_{i=1}^N\})$ по публично доступным данным [140,141] с шагом 1 день за 3 квартал 2014, т.к. цены и курс устанавливается ежедневно.

График функционала показан на Рисунке 12.

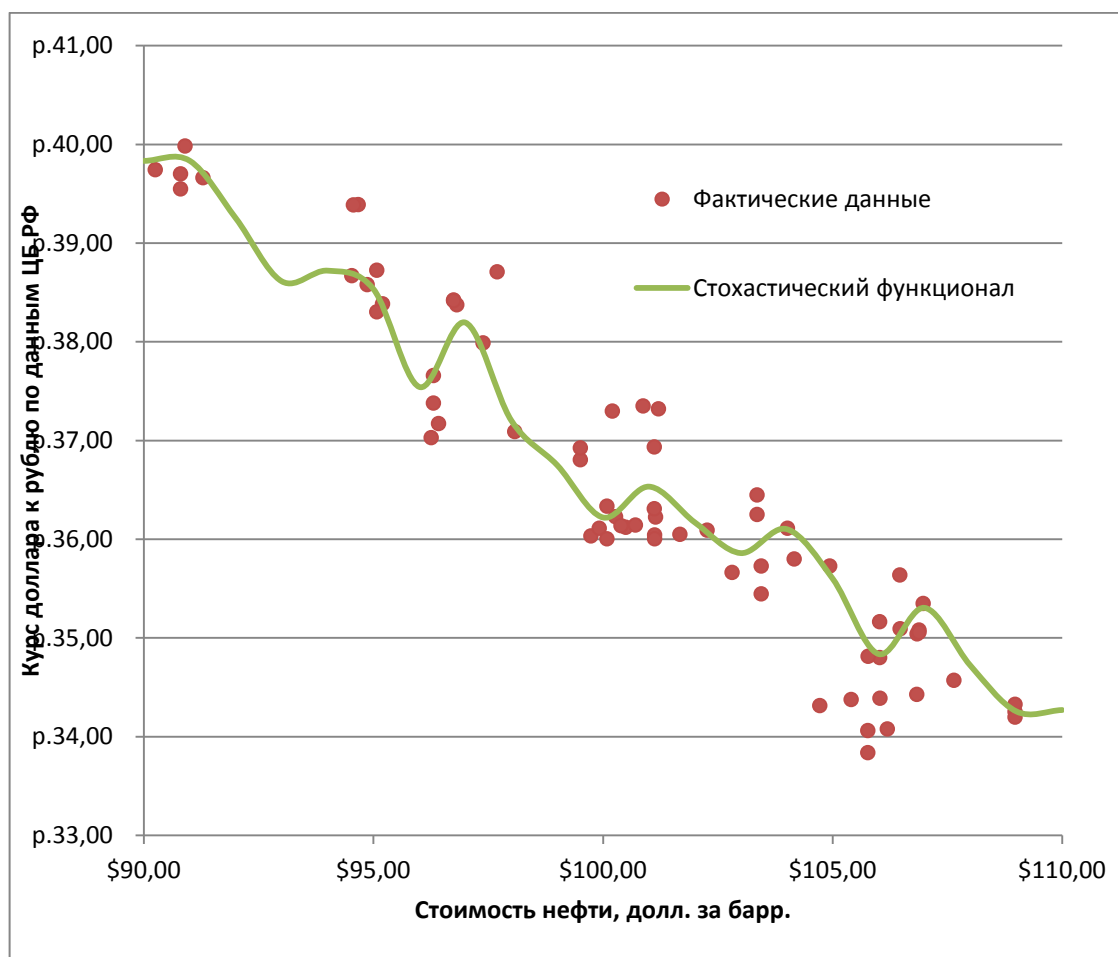


Рисунок 12 - Аппроксимация курса рубля от стоимости нефти

В связи с тем, что стохастический функционал обладает свойством ограниченности (2-18), необходимо доопределить пространство возможных значений Ω_x, Ω_y , такой что:

$$\Omega_x = \Omega_{x<\{x\}} \oplus \Omega_{\{x\}} \oplus \Omega_{x>\{x\}} \quad (2-37)$$

$$\Omega_y = \Omega_{SA(x<\{x\})} \oplus \Omega_{\{y\}} \oplus \Omega_{SA(x>\{x\})} \quad (2-38)$$

Где \oplus - прямая сумма подпространств.

Доопределение области определения и области значений необходимо для максимально полного анализа неопределенностей возможных значений (см. раздел 1.3), графически дополнение показано на Рисунке 13.

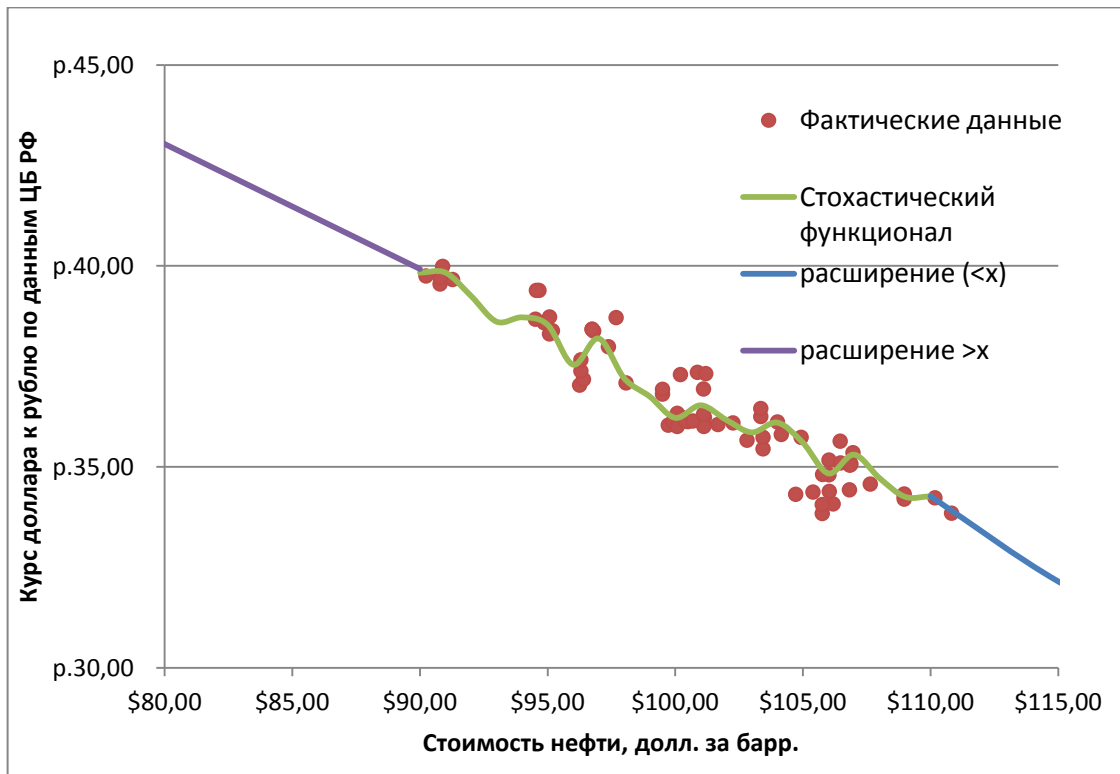


Рисунок 13 - Графическое изображение прямой суммы подпространств: доопределение областей

В целях следующих глав введем определение «естественного хеджирования».

Определение 1: В случае, когда происходит падение цены на нефть и одновременно с этим происходит ослабление курса рубля по

отношению к доллару США (Рисунок 11-13), таким образом, что уменьшающиеся доходы нефтяной компании (государства) в долларовом эквиваленте компенсируются большим объемом рублевых поступлений, называется *естественное хеджирование*.

2.5 Выводы по второй главе

1. Проведено аналитическое исследование метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований, доказаны следующие свойства:
 - 1.1 Измеримость функционала по Борелю,
 - 1.2 Нелинейность функционала,
 - 1.3 Монотонность на отрезке,
 - 1.4 Интегрируемость на всей области определения.
2. Доказаны теоремы о:
 - 1.1 Существовании и единственности решения,
 - 1.2 Необходимом условии существования решения.
3. С помощью предложенного метода построена связь между ценой на нефть и курсом рубля для использования в расчетах Главы 3.

Глава 3. Детерминистическая и стохастическая модель нефтяной компании и анализ неопределенности параметров модели

3.1 Построение детерминистической модели нефтяной компании

Детерминистическому моделированию и оценке деятельности нефтяной компании посвящена работа многих авторов, например [142-147], применяются даже методы реальных опционов [148-149] и оценки на основе мультипликаторов [150].

В целях настоящей диссертации будет использован метод денежных потоков, как базовый для любой оценки [151] с учетом вероятностной составляющей цены нефти и курса доллара [152].

Рассмотрим дискретные моменты времени $t_i \in T$, пусть цена нефти за 1 баррель сорта Urals в момент t_i равна P_i^{oil} , а курс рубля к доллару $P_i^{rur-usd}$, тогда рассматриваемая детерминистическая система, описывающая финансовое положение нефтяной компании будет описываться следующим уравнением:

$$FCF_i = CF_{sales_i} - CF_{opex_i} - CF_{gaa_i} - CF_{ex.duty_i} - CF_{met_i} - CF_{tax_i} - CF_{capex_i} - CF_{debt_i} \quad (3-1)$$

Причем излишки/дефицит покрывается из средств на балансе:

$$Cash_i = FCF_i + \sum_{j=0}^{i-1} FCF_j, \text{ где} \quad (3-2)$$

$$CF_{sales_i} \text{ — денежный поток от продажи нефти в } i\text{-й период;} \quad (3-3)$$

$$CF_{sales_i} = P_i^{oil} \cdot P_i^{rur-usd} \cdot V_{oil}, V_{oil}\text{-объем, реализуемой нефти.} \quad (3-4)$$

$$CF_{opex_i} \text{ — операционные затраты на производство нефти } i\text{-й период;} \quad (3-5)$$

$$CF_{gaa_i} \text{ — административные затраты на производство нефти } i\text{-й период;} \quad (3-6)$$

й период;

$CF_{ex.duty_i}$ — экспортная пошлина на нефть i -й период; (3-7)

CF_{met_i} — налог на добычу полезных ископаемых (далее — (3-8)

НДПИ) i -й период;

CF_{tax_i} — прочие налоги (налог на прибыль и пр.) i -й период; (3-9)

CF_{capex_i} — инвестиционный денежный поток i -й период; (3-10)

CF_{debt_i} — денежный поток для обслуживания долга (проценты (3-11)

и основной долг).

$Cash_i$ — наличные средства на счете организации в момент i (3-12)

Систему, которая описывается уравнениями (3-1)- (3-12), будем называть **системой S**.

В свою очередь, НДПИ и экспортная пошлина (в детерминистическом случае) являются кусочно-линейной функцией цены на нефть предыдущих периодов, как это показано на Рисунке 14.

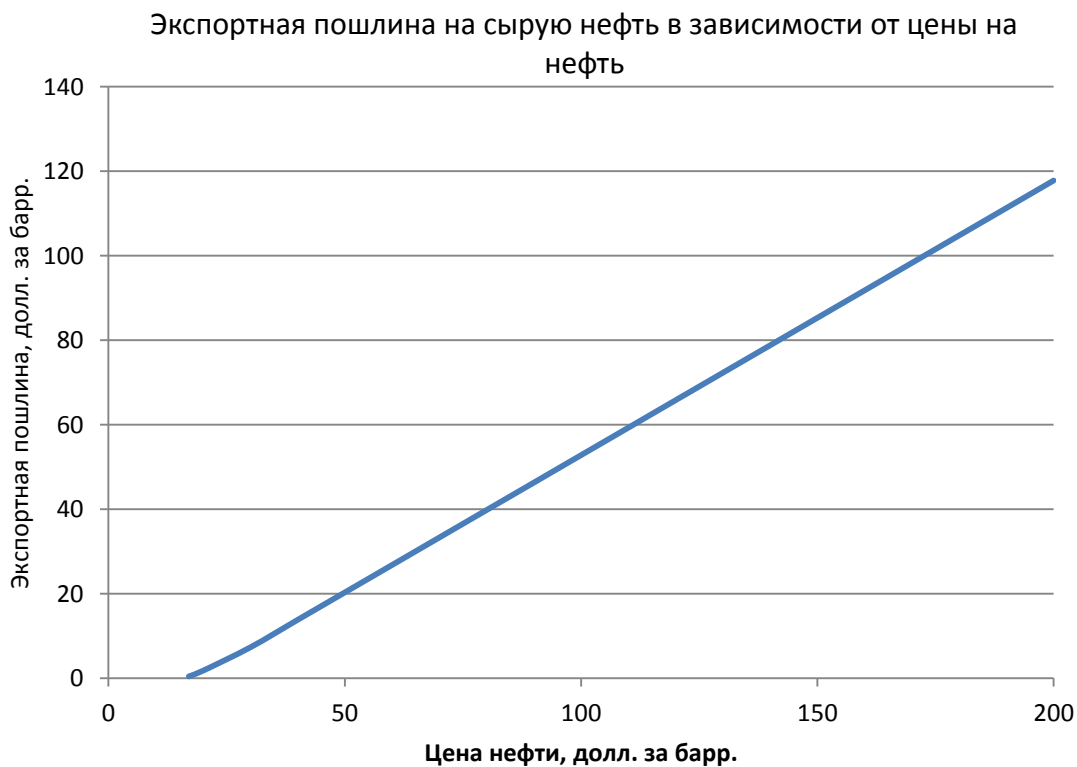


Рисунок 14 - Зависимость экспортной пошлины от цены на нефть

Экспортная пошлина растет линейно со стоимостью нефти при мировой цене российской нефти более \$15 за баррель. С ростом мировой цены на нефть доля налоговых изъятий прогрессивно растет, при этом механизм формирования экспортной пошлины устроен таким образом, что в момент резкого падения цен на нефть пошлина может быть выше фактического уровня цены на нефть.

То есть существующий механизм налогообложения нефтяных компаний устроен таким образом, что государство фактически «хеджирует» финансовый результат нефтяных компаний, изымая до 80% выручки от продаж нефти. Таким образом, основной риск от падения цен на нефть лежит, скорее, на государстве, но не на нефтяных компаниях.

Для построения финансово-экономической модели были взяты параметры расходных статей бюджета, близкие к среднеотраслевым, исходя из удельных величин операционных и капитальных затрат [153-154]. Долг рассматриваемой компании номинирован в долларах США, ставка по долгу 8% годовых, оплата процентов происходит ежемесячно, основной долг также платится ежемесячно, равными долями - так, чтобы к концу моделирования компания полностью погасила свои обязательства.

При этом текущие цены на нефть обеспечивают положительный свободный денежный поток, но не позволяют приобретать новые активы. Кроме того, для простоты моделирования при решении данной задачи подразумевалось, что компания действует в текущих условиях налогообложения. Моделируемая компания не имеет перерабатывающих и сбытовых активов, еще одно предположение состоит в том, что у компании отсутствуют операционные риски в части обеспечения необходимого уровня добычи. Тем не менее, простым введением еще одного семейства случайных величин данная

модель может быть легко обобщена и на случай наличия операционных рисков у компании.

3.2 Построение стохастической модели на примере финансово-экономической модели российской нефтяной компании

Идея рассматривать деятельность компании или государства как набор вероятностных характеристик появилась в 70-80-х годах, в работах советских ученых [155-159], которые были основаны на более ранних работах зарубежных ученых. Большой вклад в вероятностное моделирование внес Карандаш [160] и другие авторы [161-162].

При этом, и в настоящее время во многих работах подменяется понятие, когда авторы фактически работают с 2-3 сценариями, и при этом считается что выполнен всесторонний анализ неопределенностей, см. работы [163-166], или например обзор [167]. Такой подход фактически является детерминированным, см. например [168], и не учитывает все возможные варианты, как это было показано в раздел 1.3.

В соответствии с концепцией, описанной в раздел 1.3 опишем и математически формализуем неопределенность, присущую исходным данным при моделировании деятельности нефтяной компании.

Рассмотрим вероятностное пространство (Ω, \mathcal{F}, P) – и семейство случайных величин $\{X(t), t \in T\}$, заданных на нем и на промежутке $T \subset \mathbb{R}$. Таким образом, имеем действительную функцию $X = X(\omega, t)$, такую что $X(\cdot, t)$ является случайной величиной при каждом $t \in T$. Параметр t будем интерпретировать как время.

При фиксированном ω , функцию $X(t) = X(\omega, \cdot)$, как это принято в теории случайных процессов будем называть траекторией (реализацией) процесса.

Пусть $T = [a, b]$, а $X = X(\omega, t)$ процесс с независимыми приращениями, т.е. для любого k и любых t_1, \dots, t_k приращения $X(t_1) - X(a)$, $X(t_2) - X(t_1)$, $X(b) - X(t_k)$ являются независимыми случайными величинами.

Пусть рассматриваемый процесс $X = X(\omega, t)$ является стационарным (однородным) (в терминах теории случайных процессов), т.е. верно следующее утверждение: Для произвольных s, t, h распределения $X(t) - X(s)$, $X(t + h) - X(s + h)$ совпадают.

Зададим распределение, описывающее данный процесс. Для этого воспользуемся следующей теоремой:

Теорема 4. Пусть случайный процесс $X(t)$ стохастически непрерывен, стационарен и имеет независимые приращения. Тогда для задания конечномерных распределений достаточно задать только одно распределение. Этим распределением может быть любое из распределений $P_{t,s}$.

Доказательство этой теоремы не представляет трудности и приведено, например в [190].

Действительно, пусть $P_{t,s} = N(0,10)$, где $N(\cdot, \cdot)$ - нормальное распределение с математическим ожиданием равным 0, и дисперсией равной 10. Этих условий будет достаточно, чтобы полностью задать стохастический процесс на интервале. Для определенности, рассмотрим дискретные целочисленные моменты $t \in [1,10]$, и пусть начало процесса выходит из точки $(0,100)$, тогда реализации описанного случайного процесса $X(\omega, \cdot)$ будут выглядеть, как это показано на Рисунке 15.

Введем дополнительные определения, принятые в мировой нефтегазовой отрасли [33] и отметим их на Рисунке 15.

Определение 2 Числом $P10=X$ будем называть квантиль распределения x_{10} , такое, что случайная величина ξ не превышает число $P10$ с вероятностью 0,1:

$$P\{\xi \leq P10\} \leq 0,1 \quad (3-13)$$

Определение 3: Число (уровень) $P90=X$ будем называть квантиль распределения $x_{0,9}$, такое, что случайная величина ξ не превышает число $P90$ с вероятностью 0,9.

$$P\{\xi \leq P90\} \leq 0,9 \quad (3-14)$$

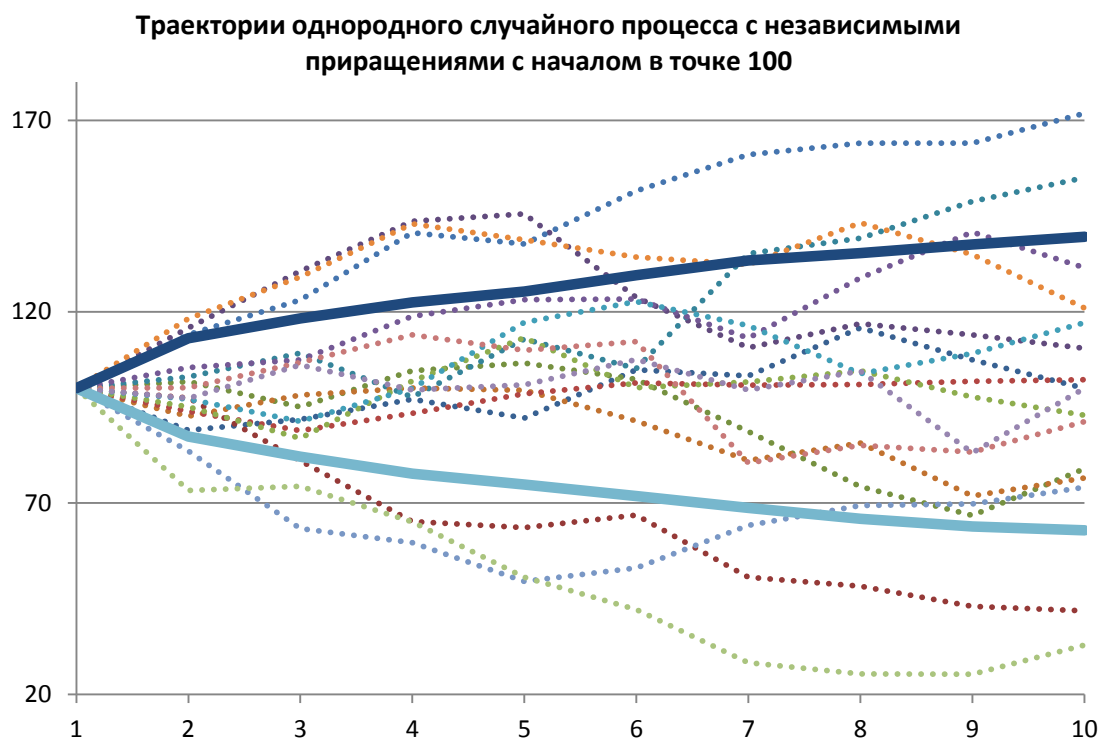


Рисунок 15 - Траектории (реализации) случайного процесса

В модель, описанную в разделе 3.1 были добавлены два случайных процесса с независимыми приращениями, стохастически стационарные, определенные на вероятностном пространстве (Ω, \mathcal{F}, P) и зависящие от времени t .

Этими процессами являются стохастические процессы, описывающие поведение цены на нефть $\xi(\omega, t)$ и курс рубля к

доллару $\psi(\omega, t)$. Подход к моделированию взаимосвязи между процессами $\xi(\omega, t)$ и $\psi(\omega, t)$ изложен в раздел 2.4.

Определим области значения стохастических процессов:

$$\xi(t) \in [0; 200] \quad (3-15)$$

$$\xi_0 = 102$$

$$\psi(t) \in [20; 100] \quad (3-16)$$

$$\psi_0 = 36,3$$

Приращения $X(t_2) - X(t_1)$ распределены нормально, как для нефти $\xi(\omega, t)$ и для курса рубля к доллару $\psi(\omega, t)$:

$$\xi(t_2) - \xi(t_1) = N(-1; 8) \quad (3-17)$$

$$\psi(t_2) - \psi(t_1) = N(0,1) \quad (3-18)$$

Где $N(\cdot, \cdot)$ - стандартное обозначения распределения Гаусса.

Графически пространство возможных реализаций случайного процесса величины $\xi(\omega, t)$ может выглядеть так, как показано на Рисунке 16. Для наглядности на Рисунке 16 показаны еще и фактические значения стоимости нефти и выделены квантили уровня 0,1 и 0,9 для каждой функции распределения F_{ξ_i} всех моментов времени.

Стоит также упомянуть, что основной сценарий исследования такова – цена на нефть в среднем постепенно падает с текущих уровней, со скоростью 1 доллар за баррель в месяц, и на конец периода моделирования медианное значение равно 40 долларов за баррель.

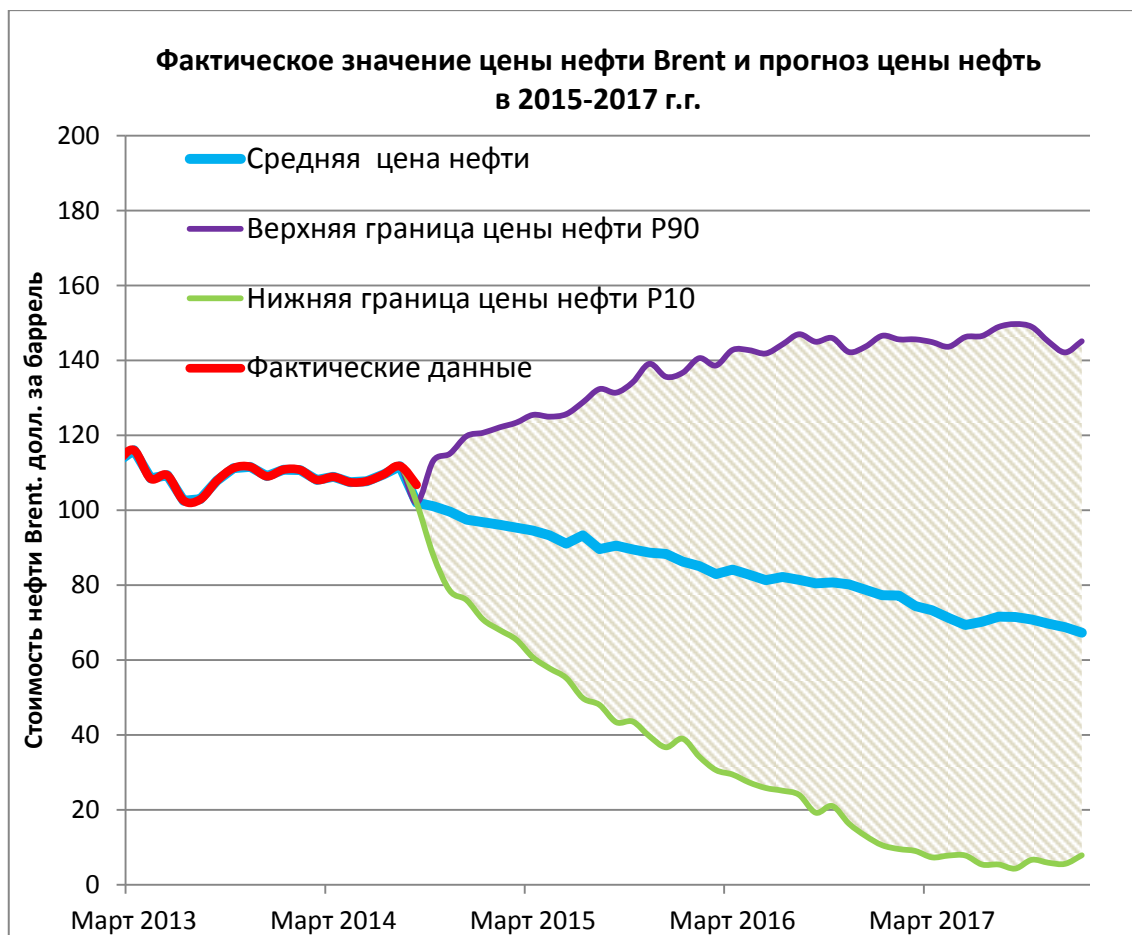


Рисунок 16 - Пространство возможных значений стоимости нефти

Изменение вида и формы функции распределения вероятностей цены на нефть наглядно представлена на Рисунке 17.

При этом, начиная с середины периода моделирования, некоторые реализации случайного процесса $\xi(\omega, t)$ становятся отрицательными, и в целях корректного учета введен барьер:

$$\xi(t) = \begin{cases} \xi(t), & \xi(t) > 0 \\ 0, & \xi(t) \leq 0 \end{cases} \quad \forall t \quad (3-19)$$

При этом каждая реализация случайных процессов $\xi(t)$ и $\psi(t)$ представляет собой отдельно взятую траекторию цены нефти и курса рубля к доллару, как это видно из Рисунка 18-19.

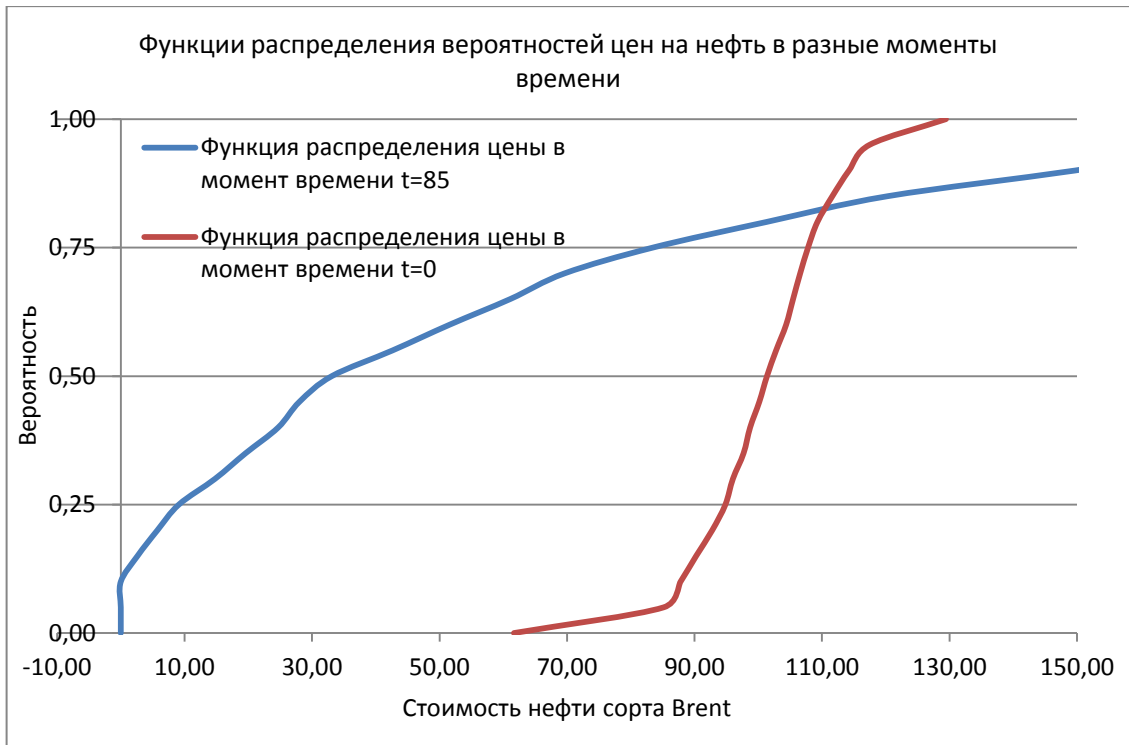


Рисунок 17- Функции распределения вероятностей цен на нефть в начальный и конечный момент моделирования

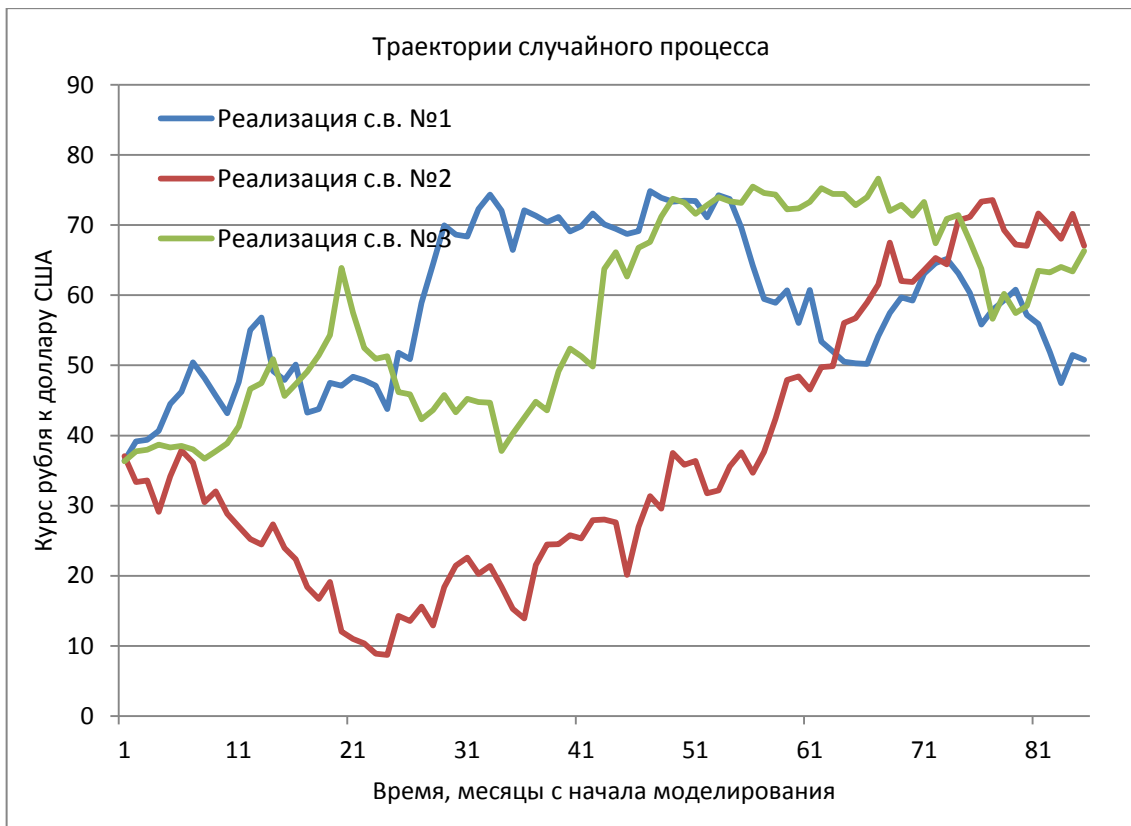


Рисунок 18- Реализации случайной величины – курс рубля к доллару

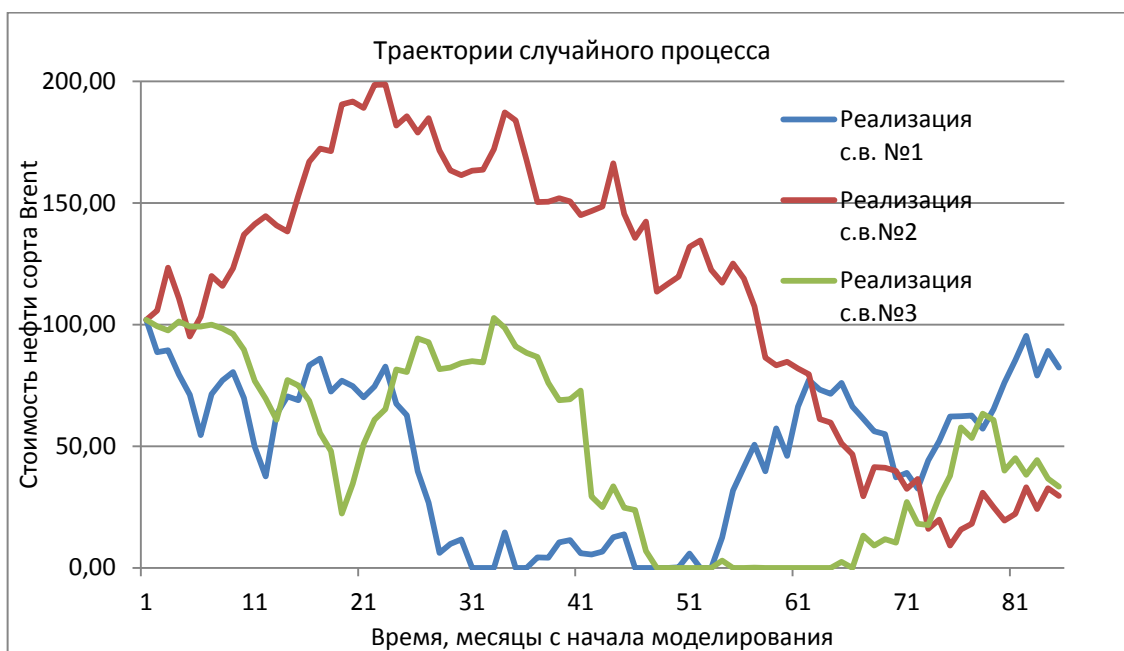


Рисунок 19- Реализации случайной величины – стоимость нефти

Из графиков курса рубля и стоимости нефти, Рисунок 18 и Рисунок 19 соответственно, видно, что модель охватывает довольно большой промежуток возможных значений; это позволяет понять, как макроэкономические параметры влияют на деятельность нефтяной компании.

Учитывая вышеизложенное, формулы (3-1)-(3-12) будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned}
 FCF(\xi(\omega, t), \psi(\omega, t)) = & \\
 = CF_{\text{sales}}(\xi(\omega, t), \psi(\omega, t)) - CF_{\text{opex}}(\psi(\omega, t)) & \\
 - CF_{\text{gaa}}(\psi(\omega, t)) - CF_{\text{ex.duty}}(\xi(\omega, t), \psi(\omega, t)) & \quad (3-20) \\
 - CF_{\text{met}}(\xi(\omega, t), \psi(\omega, t)) - CF_{\text{tax}}(\xi(\omega, t), \psi(\omega, t)) & \\
 - CF_{\text{capex}}(\xi(\omega, t), \psi(\omega, t)) - CF_{\text{debt}}(\xi(\omega, t), \psi(\omega, t)) &
 \end{aligned}$$

Все слагаемые этого уравнения являются зависимыми от соответствующих случайных величин, а например, слагаемое

$CF_{sales}(\xi(\omega, t), \psi(\omega, t))$ (выручка от продаж) – зависит и от текущего курса рубля, и от стоимости нефти.

3.3 Критерии оценки разорения нефтяной компании и оценка вероятностей разорения

В связи с тем, что принятый сценарий исследования (3-17) и (3-18) предполагает постепенное снижение цен на нефть, в определенный (неизвестный заранее) момент, нефтяная компания, описываемая уравнением (3-20) столкнется с тем, что на фоне падения цен на нефть, выручки $CF_{sales}(\xi(\omega, t), \psi(\omega, t))$ не будет хватать на обслуживание текущих нужд. В этот момент и может наступить банкротство компании.

Как можно избежать банкротства? Прежде всего, минимизируя вероятность отрицательных потоков компании. Вообще, задача оценки вероятности разорения не нова. Родоначальником в этой области принято считать Эдварда Альтмана, который одним из первых опубликовал работу [169]. По данной тематике существует большое количество работ, как посвященным общим вопросам оценки вероятности банкротства, например [170-171], так и ряд узкоспециализированных работ, посвященных исключительно нефтегазовым компаниям России, например [172-173].

Рассмотрим модель нефтяной компании, описанную в раздел 3.2. Рассматриваемая модель оценки вероятности дефолта относится к так называемому классу структурных моделей (structural models).

Как правило, в таких моделях делается допущение о том, что дефолт компании наступает в тот момент, когда накопленный свободный денежный поток (free cash flow) принимает значение отрицательное либо равное нулю (или другое аналогичное). Это вполне разумно, поскольку в таком случае без помощи внешнего

финансирования компания не сможет обслуживать существующие обязательства. Логично, что в случае с нефтяной компанией основной переменной, влияющей на величину свободного денежного потока, будет стоимость нефти.

Однако, сразу стоит оговориться что пересечение случайной величиной заранее заданного барьера не гарантирует объявление дефолта на практике. Бывает, что в реальности компания может привлечь дополнительное кредитное финансирование, существенно урезать инвестиционную программу или сократить операционные расходы.

При кредитовании компаний почти все кредитные организации для ограничения кредитного риска закладывают в кредитные договора так называемые ковенанты — «триггеры», которые срабатывают при наступлении определенных условий или событий, сигнализируя о (возможной) неспособности заемщика обслуживать свой долг. Ковенанты устанавливаются заранее, в момент подписания кредитной документации; при этом набор ковенант может быть довольно обширным. По большей части, однако, они стандартны:

- 1) долговые ковенанты запрещают заемщику увеличивать свою задолженность и привлекать другие кредиты;
- 2) финансовые ковенанты оговаривают поддержание на определенном уровне экономических показателей деятельности;
- 3) производственные ковенанты запрещают заемщику снижать уровень добычи;
- 4) макроэкономические ковенанты оговаривают действия кредитора в случае резкого снижения цен на товары.

Тем не менее, с точки зрения математической модели - ковенанты суть граничные условия задачи (математической модели), поэтому для рассматриваемого случая будем использовать следующие граничные условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} FCF_i \leq 0, i \in [0; 85], \text{ где } FCF - \text{ свободный денежный поток} \\ \quad \quad \quad i - \text{ го периода} \\ \quad \quad \quad \sum_{j=0}^i FCF_j \leq 0 \end{array} \right. \quad (3-21)$$

Иными словами, будем считать, что дефолт компании наступает в тот момент, когда свободного денежного потока не хватает для финансирования текущих операций, а «подушка» ликвидности, сформированная за предыдущие месяцы, не покрывает имеющийся дефицит.

В кризис 2008–2009 гг. компании нефтегазового сектора продемонстрировали, что сокращение инвестиционных расходов не проходит бесследно: на восстановление добычи необходимо тратитькратно большие суммы в течение нескольких лет. Обратим внимание на известный факт: нарушение норм отбора нефти, как и резкий рост добычи без соответствующей поддержки пластового давления может негативно отразиться на будущей добыче: вследствие физических свойств нефтеносных пластов может значительно сократиться общий объем извлекаемой нефти, и в, конечном итоге, резкое сокращение инвестиций может обернуться «пирровой победой», когда, сэкономив «сейчас», можно потерять в стоимости компании в результате сокращения запасов и снижения профилей добычи на средне и долгосрочном горизонте.

Поскольку основная задача данной главы - оценка вероятности дефолта компании, была рассмотрена относительно большая величина долга моделируемой компании. Так, показатель долг/прибыль до вычета процентов, налогов и амортизации (EBITDA) равен 3,5. Кроме того, предполагается, что при резком снижении цен на нефть компания не будет реализовывать антикризисную программу, как-то: сокращать капитальные вложения, сокращать операционные расходы и пр.

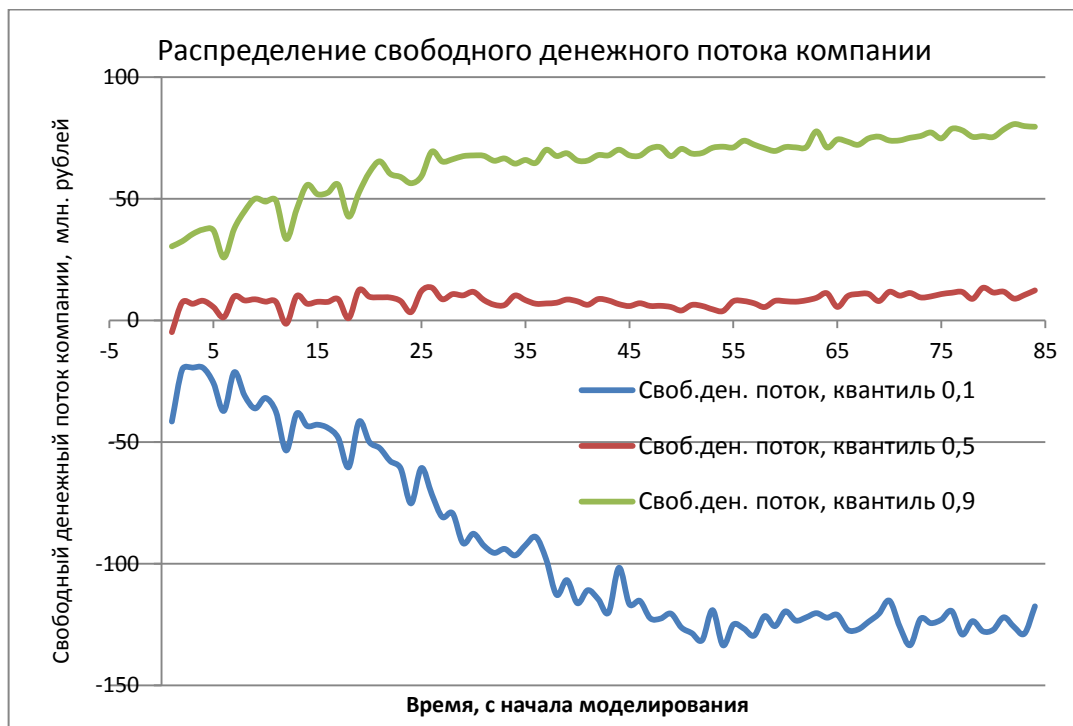


Рисунок 20- Распределение свободного денежного потока Компании

Проведя предварительные расчеты, видно, что хотя рассматриваемая нами компания «в среднем» генерирует достаточно денежных средств для обеспечения текущих платежей по долгу, даже в самом начале нашего моделирования существует ненулевая вероятность дефолта, как это показано на Рисунке 20 — около 20% (при условии полного отсутствия денежных средств на балансе на начало моделирования).

В более поздние моменты времени вероятность получения отрицательного денежного потока незначительно изменяется. Так, в момент $t = 50,85$ вероятность того, что компания будет генерировать отрицательный денежный поток, составляет около 50%.

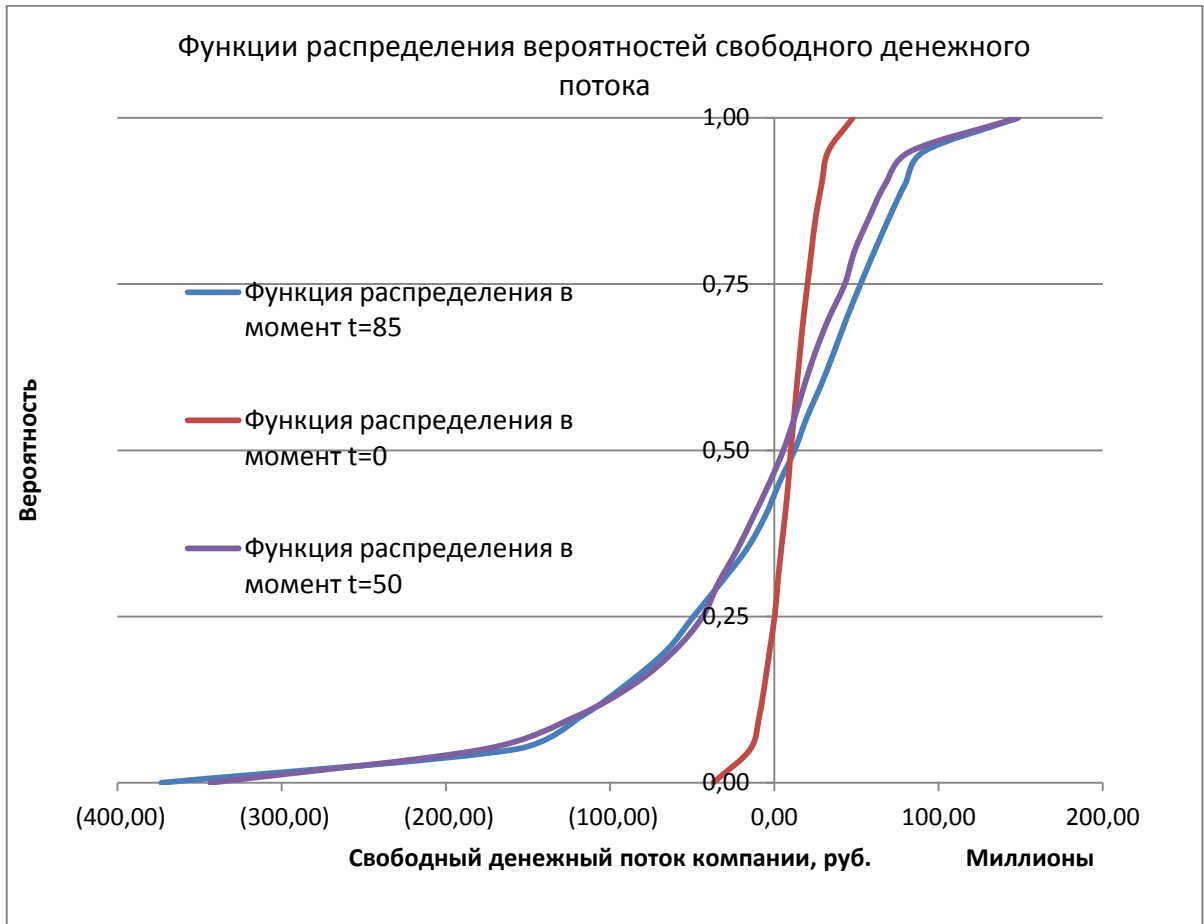


Рисунок 21-Распределение свободного денежного потока

В любом случае, даже вероятность в 15% представляется значительной и подтверждает тезис о том, что любой компании необходимо иметь запас ликвидности в объеме, достаточном для покрытия возможного дефицита бюджета.

Однако картина полностью меняется, если посмотреть на абсолютные цифры. Дефицит денежного потока в первые моменты моделирования составляет 15–20 млн. руб. в месяц при выручке около 2000 млн. руб. и затратах на обслуживание долга 181 млн. руб.

Безусловно, дефицит денежного потока в размере 15–20 млн. руб. в месяц является несущественным и вряд ли может вызвать срабатывание «ковенант».

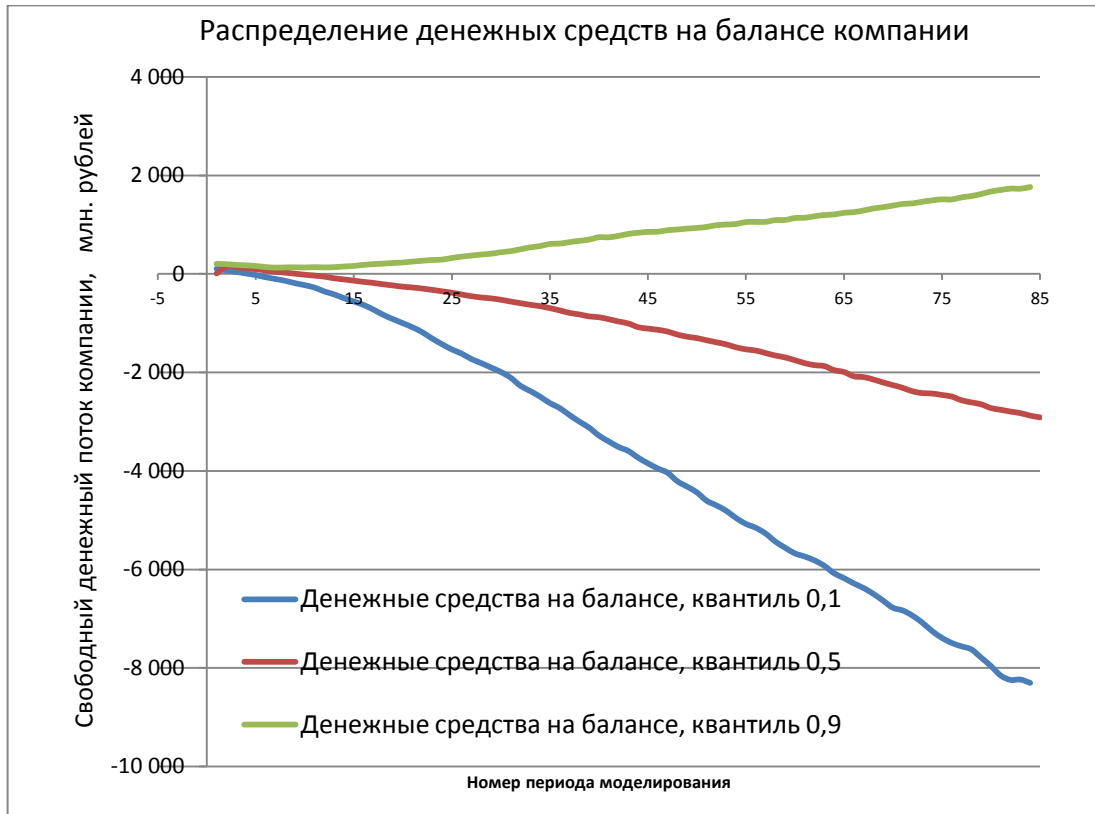


Рисунок 22-Распределение денежных средств на балансе.

Кроме того, если посмотреть на функцию распределения количества денег на балансе компании, как это показано на Рисунке 22, картина представляется гораздо более оптимистичной.

Понижительный тренд цены на нефть почти полностью компенсируется соответствующим ему повышением курса рубля, таким образом, что практически до середины периода моделирования (25-35 месяцев с начала моделирования) вероятность дефолта ничтожна, а излишки денежных средств может пойти на досрочное погашение долга.

Однако, начиная со среднесрочного периода, у распределения появляются «хвосты», которые могут обусловить дефолт компании.

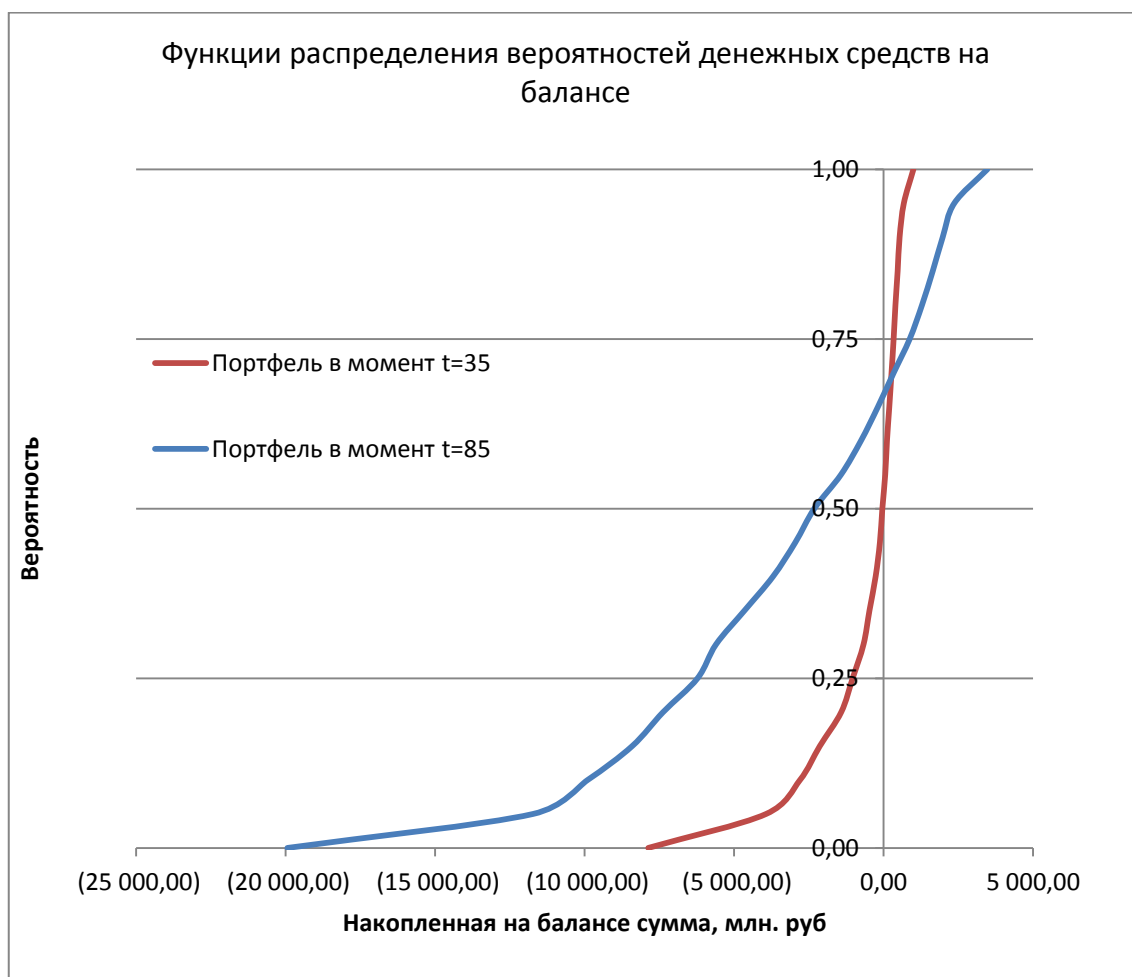


Рисунок 23-Распределение денежных средств на балансе

Таким образом, из Рисунка 23 видно, что в среднесрочном периоде при сохранении понижательной динамики цен на нефть существует 30%-ная вероятность получить кассовый разрыв в размере более 500 млн. руб., что тоже не является особо критичным, и получить дефицит потока в размере более 4000 млн. руб. с вероятностью 1–2%, что, вполне вероятно, приведет к дефолту компании.

3.4 Уравнение непрерывности

Рассмотрим стохастическую финансовую систему (модель) $S(\omega, t)$ (см. раздел 3.2), зависящую на входе от случайных процессов $\xi(t)$, $\psi(t)$, и пусть в случайный момент τ происходит внешнее возмущение случайной амплитудой A , как это показано на Рисунке 24:

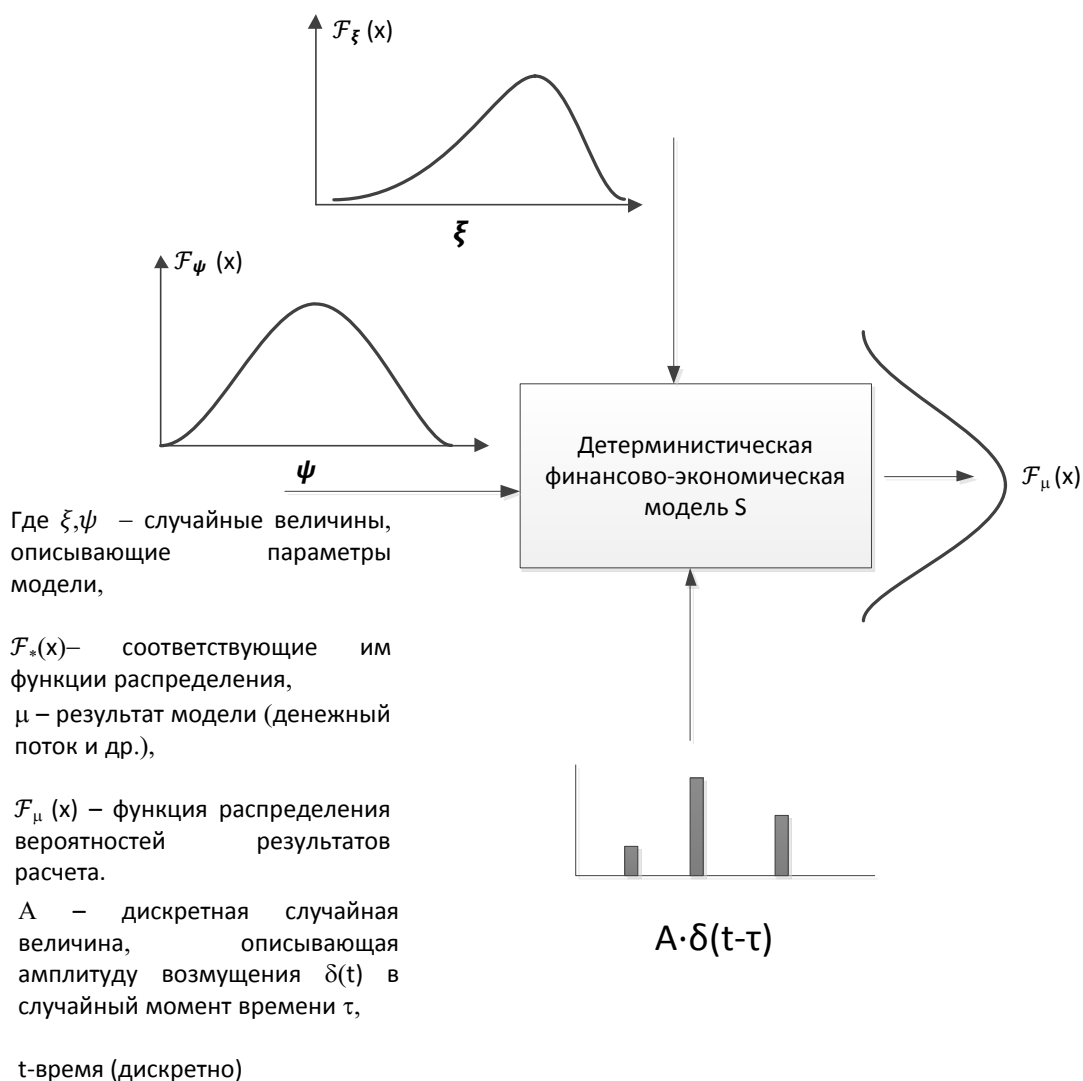


Рисунок 24- Стохастическая модель с возмущениями

Пусть выполнены следующие условия:

1. Случайные процессы $CF_{debt}(t)$, (3-22) стохастически непрерывны,

дифференцируемы, стационарны и имеют независимые приращения,

2. Случайная величина A определена на (3-23) вероятностном пространстве (Ω, \mathcal{F}, P) с функцией распределения $\mathcal{F}_A(x)$ ограничена сверху константой C , $\mathcal{F}_A(x < C) = 1$, $C = const$.
3. количество возмущений ограничено (3-24) константой $M = const$.

Теорема 5 (уравнение потока в точке рефинансирования) Если выполнены условия (3-22)-(3-24) для системы $S(\omega, t)$, уравнение описывающие поведение стохастической системы $S(\omega, t)$, то в любой момент времени:

$$\begin{cases} \text{Cash}(t) + \frac{\partial}{\partial t} CF_{debt}(t) = \sigma(\omega, t) \\ \text{Cash}(t) = \int_0^t FCF(z) dz \\ \sigma(\omega, t) = A_i \delta(t - \tau_i) \end{cases} \quad (3-25)$$

Доказательство:

► Смысл уравнения (3-25) состоит в описании момента рефинансирования, т.е. смены первоначальной валюты кредита системы $S(\omega, t)$.

В этот момент изменяется валюта кредита, будущие процентные платежи и платежи тела долга, а также уплачивается комиссия $A_i \delta(t - \tau_i)$.

Для доказательства формулы, приведем классическое уравнение непрерывности в дифференциальном виде, активно используемое в теоретической физике и механике сплошных сред. Приведем его классический вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla j = \sigma \quad (3-26)$$

где t -время, j -плотность потока, σ – источник (сток) потока, ∇ -оператор дивергенции.

Рассмотрим в окрестности точки t , 3 момента времени, до рефинансирования $t - \Delta t$, в момент рефинансирования t и в момент после рефинансирования, $t + \Delta t$, при этом будем считать что $\Delta t \rightarrow 0$

Очевидно что (при условии отсутствия издержек: спредов, иных комиссий, кроме упомянутых, и т.д.):

1. В моменты до рефинансирования, в момент рефинансирования и сразу после рублевый эквивалент общего долга не изменяется:

$$Y_{\text{debt}, t-\Delta t} = Y_{\text{debt}, t} = Y_{\text{debt}, t+\Delta t} \quad (3-27)$$

2. В противном случае, само рефинансирование теряет смысл, т.к. приводит к увеличению обязательств и к увеличению базы для расчета процентов. Конвертация в валюту или рубли происходит по текущему курсу $P_t^{rur-usd}$, который зависит от цены нефти P_t^{oil} и отличается в каждый момент времени. В расчете не принимаются во внимание различные комиссии при конвертации валюты.
3. В случае, если происходит лишь частичная конвертация, комиссия за рефинансирование и фондирование оплачивается только для этой доли, и если долю обозначить α_i , а комиссию A_i , то дополнительный отток денежных средств будет равен:

$$A_i = \begin{cases} \alpha_1 \cdot (Y_{\text{rur debt } t+\Delta t} - Y_{\text{rur debt } t-\Delta t}) + \\ \alpha_2 \cdot (Y_{\text{usd debt } t+\Delta t} - Y_{\text{usd debt } t-\Delta t}) \cdot P_t^{\text{rur-usd}} + \\ \alpha_3 \cdot (Y_{\text{eur debt } t+\Delta t} - Y_{\text{eur debt } t-\Delta t}) \cdot P_t^{\text{rur-eur}} \end{cases} \quad (3-28)$$

где Y_{debt} – долг, номинированный в рублях, долларах США и Евро соответственно. В момент $t + \Delta t$, $P_t^{\text{rur-usd}}$, $P_t^{\text{rur-eur}}$ – обменный курс соответствующей валюты к рублю.

Очевидно, что когда рефинансирование не происходит, $A_i = 0$, отсутствует и дополнительный отток,

4. В случае, если происходит рефинансирование, процентные платежи в рублевом эквиваленте должны уменьшаться, иначе смысла в таком рефинансировании нет:

$$Y_{\%, t-\Delta t} > Y_{\%, t+\Delta t}, \quad (3-29)$$

где $Y_{\%}$ –общая сумма процентных расходов, номинированная в рублях.

В случае, когда происходит рефинансирование, правая часть уравнения (3-25) становится отрицательной; и данные потери должны быть компенсированы левой частью уравнения (3-25), т.е. либо текущим денежным потоком (если он положительный), либо средствами на балансе, если такой накоплен на момент t , т.е. суммой

$$\text{Cash}_t = \sum_{j=0}^{t-1} FCF_j \quad (3-30)$$

Учитывая условия (3-23) и (3-24), можно вывести значения данных констант, и очевидно что при превышении данных констант уравнение (3-25) неверно.

Принимая во внимание все вышперечисленное, запишем уравнение в точке t :

$$\text{Cash}_t + \frac{CF_t - CF_{t-\Delta t}}{\Delta t} = A\delta(t) \quad (3-31)$$

переходя к пределам $\Delta t \rightarrow 0$ приведем уравнение (3-31) с учетом уравнения (3-30), а также учитывая условие (А) в соответствующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial t} \text{Cash} + \frac{\partial}{\partial t} CF_{debt} = \sigma(\omega, t) \\ \text{Cash} = \int_0^T FCF(t) dt \\ \sigma(\omega, t) = A_i \delta(t - \tau_i) \end{array} \right. \quad (3-32)$$

Теорема доказана. ◀

Уравнение (3-30) использовалось для «сшивки» денежных потоков в точках рефинансирования, в разделе 3.5-3.7 данной диссертации.

3.5 Критерии оптимизации структуры долга и поиск оптимального портфеля для случая одной точки принятия решения

Компании, которые активно работают на рынке капитала и используют внешнее финансирование, должны принимать решения об оптимальной структуре их долга, как по валюте, так и по срокам. Нужно ли занимать в одной валюте, а потом рефинансировать в другие валюты?

Если считать что основная задача менеджмента компании это увеличение стоимости компании, то одной из возможных подзадач – задача удешевления стоимости заимствования, в том числе нахождения оптимальной пропорции структуры долга по валютам, с учетом различных ставок.

Вопрос оптимальной структуры долга изучается давно [174-177], например, есть работы, посвященные изучению влияния структуры ставок на вероятность банкротства [178], или посвященные поиску оптимальной структуры по срокам погашения [179-181], или по количеству кредиторов [182-183].

Особо интересной задачей для финансового управления является поиск оптимальной структуры для конкретной компании. Проблема формирования оптимальной структуры долгового портфеля нефтяной компании стала актуальной в связи с введением во II квартале 2014 г. секторальных санкций, направленных, в том числе против компаний топливно-энергетического комплекса и ряда госбанков Российской Федерации.

В данном разделе представлен метод оптимизации структуры долгового портфеля нефтяной компании по квантильному критерию в условиях снижения общемировых цен на нефть и пример его фактического применения к средней нефтяной компаний (с учетом специфики российского налогообложения).

С учетом неопределенности параметров модели одним из лучших инструментов для решения подобной задачи является инструментарий теории вероятностей и стохастических процессов. Кроме того, стоит упомянуть, что именно Г. Марковицем в его работе[8] высказана идея о необходимости применения вероятностных методов для применения в теории портфельной оптимизации.

В конце 2008-го и в 2009 г. нефтяные компании столкнулись с резким снижением цен на нефть по сравнению с забюджетированными уровнями. Это, прежде всего, привело к сложностям в поддержании текущей ликвидности. Практика рефинансирований того периода продемонстрировала, что они возможны при любом рынке, но обходятся довольно дорого. Можно ли сразу выбрать такую структуру долгового портфеля, которая бы не потребовала применения такого дорогостоящего инструмента, как рефинансирование? Как выбрать оптимальную структуру долгового портфеля, которая максимизирует денежные потоки?

Ответы на эти вопросы может дать оптимизация по квантильному критерию, схематично принцип показан на Рисунке 25, основы которой были заложены в [184], и продолжены многими исследователями (см. например, обзор [185]), в том числе российскими авторами [186].

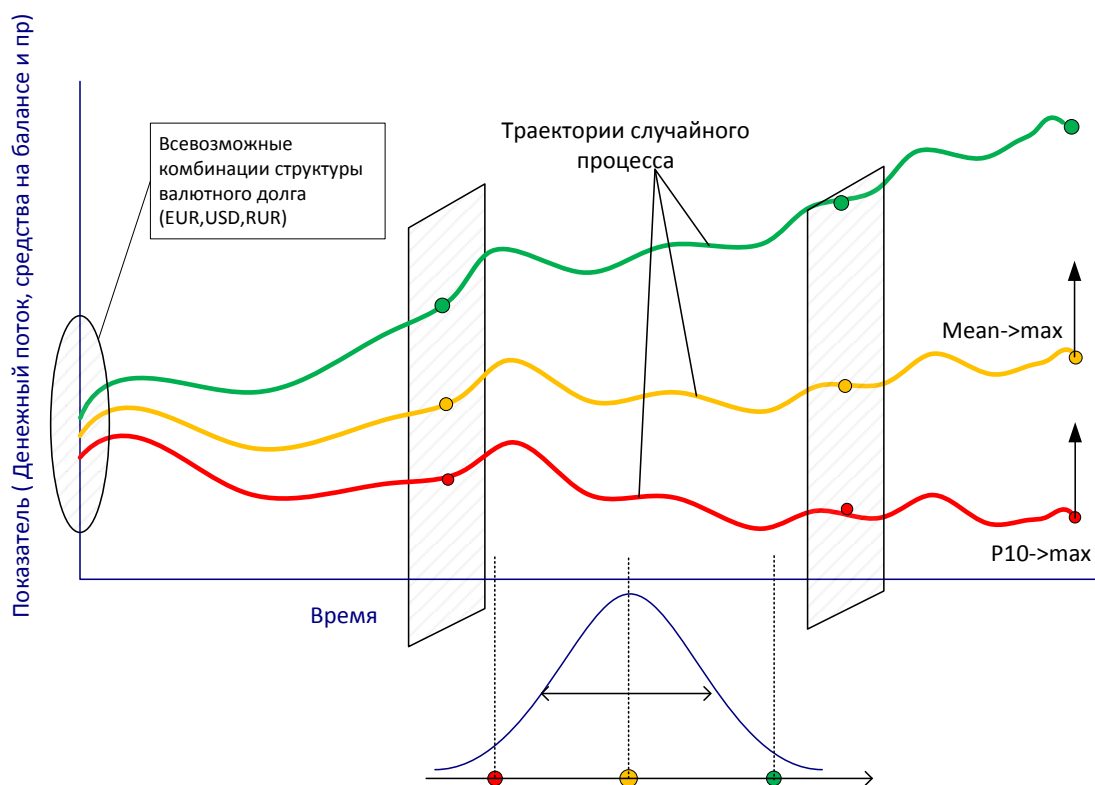


Рисунок 25- Оптимизация по квантильному критерию

Очевидно, что смысл квантильной оптимизации состоит в том, чтобы перебором выбрать такой первоначальный состав портфеля из заданных валют, чтобы достигался максимум (или минимум) заданного параметра, что наглядно иллюстрирует схема, показанная на Рисунке 25.

Постановка задачи состоит в следующем: Пусть существует нефтяная компания, финансовая деятельность которой описывается уравнением (3-20) и компания имеет возможность зафиксировать любую структуру долга момент начала моделирования t_0 при неизменном абсолютном значении. Необходимо получить решение (валютную структуру кредитов), которая гарантирует максимальный денежный поток (3-20) с заданной вероятностью на разных горизонтах планирования.

Пусть долг компании - Y_{debt} состоит из рублей (RuR), долларов (USD) и евро (EUR). Для каждой части долга назначается своя процентная ставка:

- Российский рубль: ставка 13% годовых,
- Доллар США: ставка 8% годовых,
- Евро: ставка 7% годовых.

Поскольку компания действует в условиях российского налогообложения, денежные потоки выражены в рублях и долг компании может быть записан в виде следующей системы:

$$Y_{debt} = \alpha_1 RuR + \alpha_2 Y_{usd\ debt} Fx_{usd \rightarrow rur} + \alpha_3 Y_{eur\ debt} Fx_{eur \rightarrow rur} \quad (3-33)$$

Где α_i -доли валютного долга, Fx_* - курс обмена на момент t_0 .

В качестве целевой функции рассматривается свободный денежный поток (3-20), который описывает остаток денежных средств после всех операций в рассматриваемый период времени t :

$$F(\xi_t, \psi_t) \stackrel{\text{def}}{=} FCF_t(\xi(\omega, t), \psi(\omega, t), \vec{x}) \quad (3-34)$$

где \vec{x} – оптимизационная стратегия: вектор $\vec{x} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ подлежащий выбору и описывающий валютную структуру долга (3-33), $\xi(t), \psi(t)$ – реализации стохастических процессов в момент t .

Дополнительные ограничения на оптимизационную стратегию записываются в виде функции:

$$Q \stackrel{\text{def}}{=} \|\vec{x}\|_{l_1}, \alpha_k \in [0; 1] \quad (3-35)$$

Рассмотрим вероятность события, такого, что целевая функция (3-34) превышает заранее определенный порог φ и при этом выполнено дополнительное ограничение, т.е.

$$P_\varphi(\vec{x}, t) \stackrel{\text{def}}{=} P\{F_t(\xi_t, \psi_t, \vec{x}) \geq \varphi, Q=1\}.$$

Для получения численных решений вводится критерии оптимизации на кратко-, средне и долгосрочный горизонт планирования t с использованием функции квантили F_u , описывающий некоторый заранее определенный порог φ в момент t :

$$F_u(\vec{x}, t) \stackrel{\text{def}}{=} \max \{ \varphi : P_\varphi(\vec{x}, t) \geq u \}, \quad (3-36)$$

где u - заранее выбранный уровень доверительной вероятности.

Для целей получения адекватных результатов оптимизации теперь необходимо разобраться в структуре доходов и расходов. Общее правило говорит - в какой валюте доходы, в такой же валюте должны быть расходы. Но это правило действует тогда, и только тогда, когда нет «естественного хеджирования»: моделируемая компания является «долларовой» компанией, т.к. вся выручка привязана к цене на нефть, а она номинирована в долларах¹.



Рисунок 26- Доля расходов и доходов в зависимости от валюты

¹ Действительно, внутренние цены на нефть – формально – устанавливаются в рублях. Однако, «рублевыми» цены будут только от 30 до примерно 34-35 дней – с момента установления цен до окончания месяца, на который такие цены устанавливаются

Рассмотрим подробнее структуру доходов и расходов на Рисунке 26. Согласно этим данным, расходы, в основном, рублевые и, следовательно, ослабление рубля будет только на пользу. Однако вопрос касательно структуры долга остается открытым.

Конечно, в реальной ситуации выплата процентов происходит ежеквартально, и у заемщика может быть *grace period* по выплате основного долга (отсрочка погашения тела долга) либо любые другие послабления от кредиторов, однако при решении задачи по оптимизации валютной структур кредитов на настоящем этапе это не рассматривается.

Для исключения эффектов спекуляции, моделируемая компания не может получать прибыль за счет разницы в процентных ставках по различным валютам. Соответствующая детерминистическая поправка была введена при моделировании курса доллара и курса евро.

Исходя из постановки задачи, множество допустимых стратегий является тетраэдром с вершинами $(0,0,1)$, $(0,1,0)$, $(1,0,0)$, это видно из Рисунка 27.

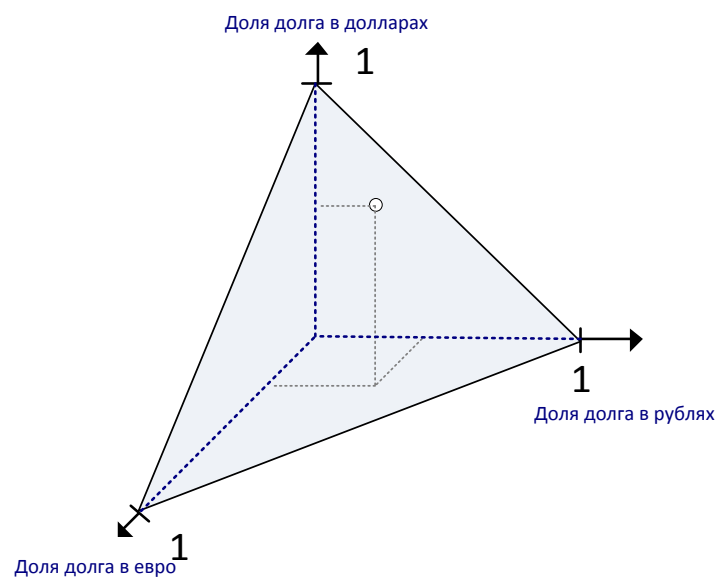


Рисунок 27- Пространство всевозможных решений

Окончательно задача стохастической оптимизации с критерием в форме квантили формулируется следующим образом:

$$\vec{x}_u = \operatorname{argmax}_{x \in Q} F_u(\vec{x}, t) \quad (3-37)$$

где u - заранее выбранный уровень доверительной вероятности.

При условии существования решения задачи оптимизации \vec{x}_0 , оптимальное значение критерия $\varphi_u = F_u(\vec{x}_0)$

Для решения прикладной задачи по оптимизации валютной структуры долга заемщика в условиях макроэкономических кризисов поставим 5 различных задач, в зависимости от степени риска и горизонта оптимизации $t = 12, 24, 48$:

1. Задача поиска структуры портфеля $\vec{x} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, максимизирующего медиану $F_{0.5}(\xi_t, \psi_t, \vec{x})$ в моменты $t = 12, 24, 48$:

$$\vec{x}_{0,5} = \operatorname{argmax}_{x \in Q} F_{0,5}(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t), t = 12, 24, 48 \quad (3-38)$$

2. Задача поиска структуры портфеля $\vec{x} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, максимизирующего 0.1 квантиль $F_{0.1}(\xi_t, \psi_t, \vec{x})$ в моменты $t = 12, 24, 48$:

$$\vec{x}_{0,1} = \operatorname{argmax}_{x \in Q} F_{0,1}(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t), t = 12, 24, 48 \quad (3-39)$$

3. Задача поиска структуры портфеля $\vec{x} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, минимизирующего дисперсию в моменты $t = 12, 24, 48$:

$$\vec{x}_D = \operatorname{argmax}_{x \in Q} D(F(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t)), t = 12, 24, 48 \quad (3-40)$$

где D – дисперсия

4. Задача поиска структуры портфеля $\vec{x} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, максимизирующего медиану суммы $\Theta(\xi_t, \psi_t, \vec{x}) = \sum_{i=0}^t F(\xi_i, \psi_i, \vec{x})$ в моменты $t = 12, 24, 48$:

$$\vec{x}_{0,5} = \operatorname{argmax}_{x \in Q} \Theta_{0,5}(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t), t = 12, 24, 48 \quad (3-41)$$

5. Задача поиска структуры портфеля $\vec{x} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, максимизирующего 0.1 квантиль суммы $\Theta(\xi_t, \psi_t, \vec{x}) = \sum_{i=0}^t F(\xi_i, \psi_i, \vec{x})$ в моменты $t = 12, 24, 48$:

$$\vec{x}_{0,1} = \operatorname{argmax}_{x \in Q} \Theta_{0,1}(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t), t = 12, 24, 48 \quad (3-42)$$

3.6 Алгоритм решения задачи оптимизации

Шаг 1: Фиксация координат вектора $\vec{x} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ с условием $\|\vec{x}\|_{l_1} = 1$,

Шаг 2: Генерация цены на нефть - траектория случайного процесса $\{\xi(t)\}$ методом Монте-Карло,

Шаг 3: Генерация курса рубля к доллару через непарам. аппроксимацию $\{\psi(t) = SA(\xi(t))\}$,

Шаг 4: Вычисление траектории случайного процесса - $\{F(\xi_t, \psi_t, \vec{x})\}$ –целевой функции,

Шаг 5: Генерация 10 000 траекторий для каждого набора $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ п.2-4 с шагом 0,1 по каждому α_i с условием $\|\vec{x}\|_{l_1} = 1$,

Шаг 6: Выбор такого набора $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, который максимизирует u -квантиль распределения целевой функции $F(\xi_t, \psi_t, \vec{x})$ в заранее выбранный период времени.

Результаты численного моделирования по оптимизации портфеля в зависимости от принятых критериев приведены в таблице 1. Состав портфеля обозначается в виде вектора $\vec{x} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, где α_1 это доля рублей, α_2 это доля долларов, α_3 обозначает доля евро в рассматриваемом портфеле.

Таблица 2- Результаты расчетов

Критерий	t=12	t=24	t=48
$\vec{x}_{0,5} = \operatorname{argmax}_{x \in Q} F_{0,5}(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t)$	(0,0,1)	(0,0,1)	(1,0,0)
$\vec{x}_{0,1} = \operatorname{argmax}_{x \in Q} F_{0,1}(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t)$	(0,0.5,0.5)	(0,0.6,0.4)	(0,0,1)
$\vec{x}_D = \operatorname{argmin}_{x \in Q} D(F(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t))$	(0.2,0.7,0.1)	(0.5,0.5,0)	(0,0,1)
$\vec{x}_{0,5} = \operatorname{argmax}_{x \in Q} \theta_{0,5}(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t)$	(0,0,1)	(0,0,1)	(0,0,1)
$\vec{x}_{0,5} = \operatorname{argmax}_{x \in Q} \theta_{0,1}(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t)$	(0,0.7,0.3)	(0,0.6,0.4)	(0,1,0)

Какой основной вывод можно сделать на основе результатов моделирования? Он таков: ключевое значение для компании,

имеющей большой долг имеет эффективная ставка, по которой обслуживается долг. При этом в начальный период валюта заимствования не так важна, а для минимизации рисков кассового разрыва можно скомбинировать несколько валют (см. портфель по критерию (3-37) через 12 месяцев). Таким образом, в начальную фазу кризиса (первые 12 месяцев), эффект от естественного хеджирования, в соответствии с Рисунком 28 довольно слаб, и не будет компенсировать разность ставок.

Однако, начиная со среднесрочного периода, эффект от девальвации, связанной с падением цен на нефть, начинает работать на пользу нефтяной компании; соответственно, необходимо рассматривать варианты рефинансирования валютного долга в рублевой и активно пользоваться естественным хеджированием.

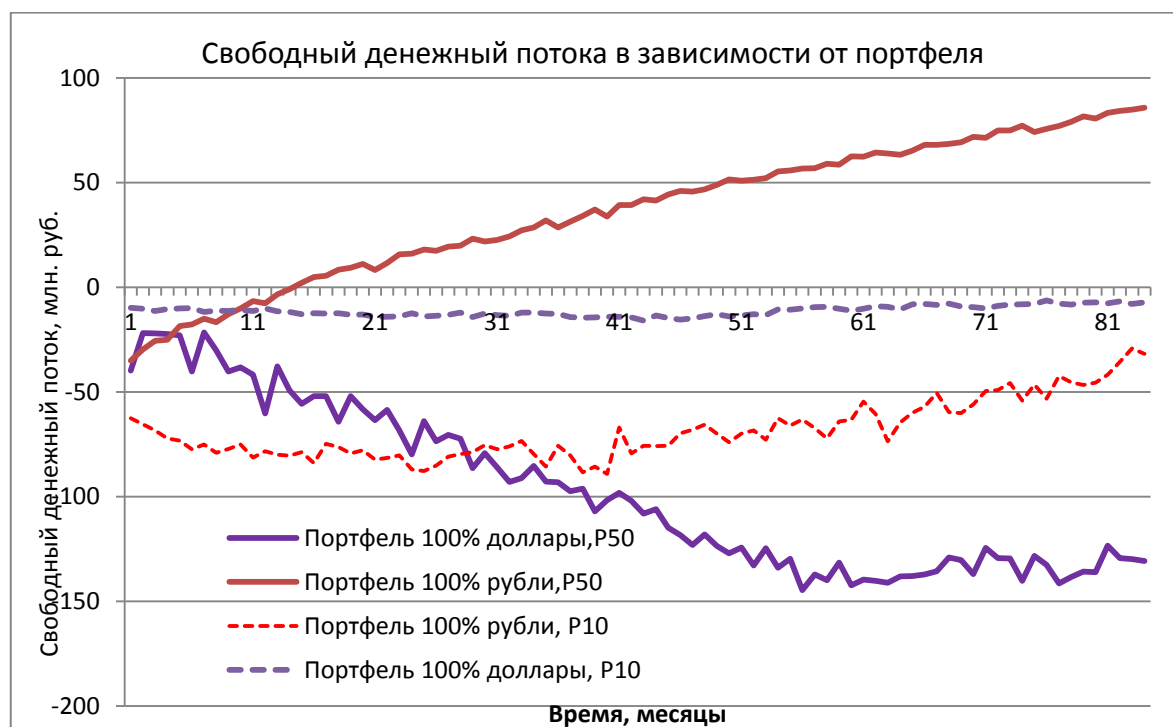


Рисунок 28- Свободный денежный поток в зависимости от долгового портфеля

С определенного момента, а этот момент наступает где-то с 30 месяца, заимствования в валюте рискованнее рублей, это наглядно видно на Рисунке 28 поскольку:

$u_{0.1}(F_{FCF_{30}(0,1,0)}) < u_{0.1}(F_{FCF_{30}(1,0,0)})$, где $u_{0.1}$ - соответствующие квантили распределений.

Иными словами, начиная с 30 месяца, вероятность кассового разрыва при долларовом портфеле выше, чем вероятность кассового разрыва при полностью рублевом портфеле.

Все вышеизложенное, очевидно, верно на среднесрочном горизонте планирования, однако планирование на такой горизонт имеет смысл, если в текущий момент времени $t=0$, платежи по кредитам производятся регулярно и в срок, без нарушений графика платежей с минимальной вероятностью дефолта, как это видно из Рисунка 29.

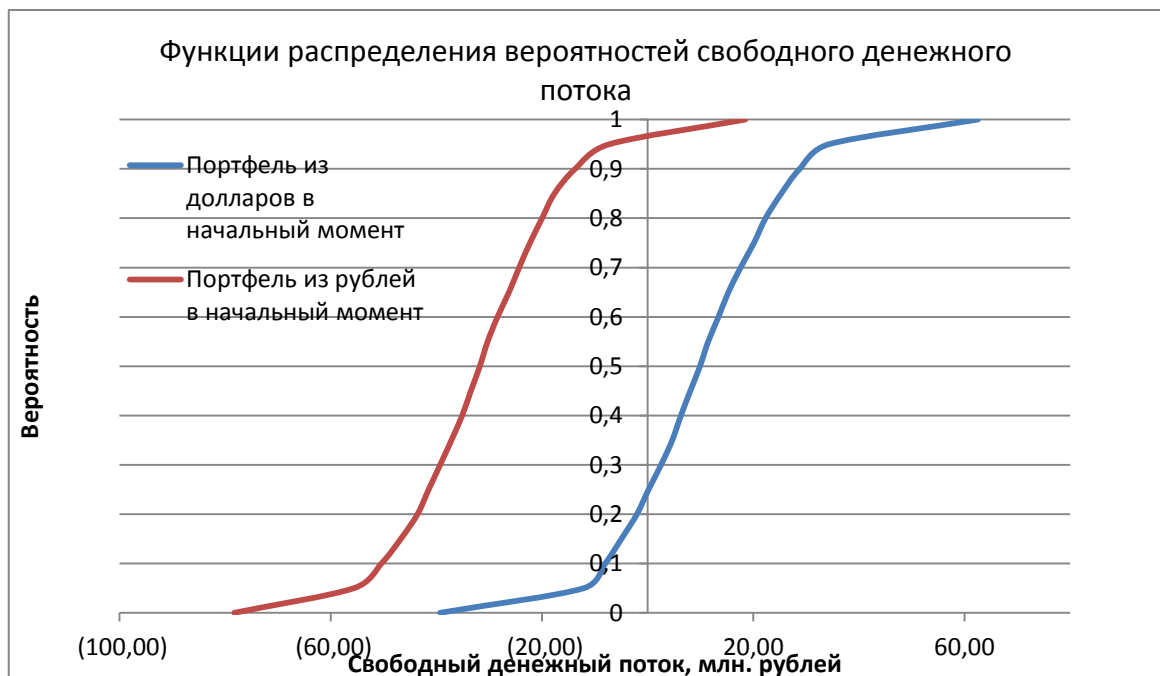


Рисунок 29- Функция распределения вероятности свободного денежного потока для двух портфелей в начальный период времени

Вероятностные вычисления в начальный момент времени показывают, что изменять валюту заимствования с долларов на рубли – в начальный момент кризиса – очень рискованная позиция. Без средств на балансе, такая стратегия с вероятностью, близкой к 1, приведет к отрицательному денежному потоку, это видно из Рисунка 29. Это связано с большей ставкой в рублях. Однако, стоит отметить и тот факт, что долларовый долг тоже полностью не спасает, вероятность дефицита потока в начальный момент времени около 0.2.

Для минимизации вероятности дефолта необходимо иметь минимальный запас ликвидности для покрытия локального дефицита потока, либо иметь гарантированные кредитные линии в банках для подобных случаев.

В качестве подтверждения последнего вывода, хочется привести статистику по привлечению корпоративного долга [188], согласно которой рынок рублевых облигаций во 2-м квартале 2014 по сравнению с 2 кварталом 2013 сократился практически в 6 раз, выпуска еврооблигаций не было, а синдицированного кредитования не было вообще, что означало фактическое закрытие рынков капитала для российских компаний, и заставило российские нефтегазовые компании использовать собственные средства для обслуживания текущих потребностей для обслуживания долга.

В соответствии с Рисунком 28 необходимо исследовать вопрос возможности замены валютного долга на рублевый долг в среднесрочном периоде, этому вопросу посвящен следующий раздел.

3.7 Поиск решения по оптимальному портфелю для случая нескольких точек

Нестационарность полученных решений $\vec{x} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ в зависимости от горизонта планирования приводит к задаче о поиске точки смены структуры кредита, такой что, начиная с этого момента эффект ослабления курса рубля полностью компенсирует падение стоимости нефти.

В ходе анализа будет использована модель, использованная в разделах 3.2 - 3.5 со следующими изменениями: начальный период моделирования (первые 24 месяца) разбивается на отрезки по 6 месяцев (4 точки принятия решений).

По результатам каждого периода принимается решение о том, рефинансировать долг или нет, и если рефинансировать, то в какой валюте и в каком процентном соотношении. Поскольку рефинансирование не может происходить мгновенно и на это требуется какое-то время, само рефинансирование длится 1 месяц.

Пусть существует нефтяная компания, финансовая деятельность которой описывается уравнением (3-20) и компания имеет возможность зафиксировать любую структуру долга в моменты $t = 0; 6; 12; 18; 24$. Необходимо получить решение (валютную структуру кредитов), которая гарантирует максимальный денежный поток (3-20) с заданной вероятностью на разных горизонтах планирования.

Пусть долг компании - Y_{debt} состоит из рублей (RuR), долларов (USD) и евро (EUR). Для каждой части долга назначается своя процентная ставка:

- Российский рубль: ставка 13% годовых,
- Доллар США: ставка 8% годовых,
- Евро: ставка 7% годовых.

Поскольку компания действует в условиях российского налогообложения, денежные потоки выражены в рублях и долг компании может быть записан в виде следующей системы:

$$Y_{debt} = \alpha_1 RuR + \alpha_2 Y_{usd\ debt} Fx_{usd \rightarrow rur} + \alpha_3 Y_{eur\ debt} Fx_{eur \rightarrow rur} \quad (3-43)$$

Где α_i -доли валютного долга, Fx_* - курс обмена на момент t .

В качестве целевой функции рассматривается свободный денежный поток (3-20), который описывает остаток денежных средств после всех операций в рассматриваемый период времени t :

$$F(\xi_t, \psi_t, \vec{x}(t)) \stackrel{\text{def}}{=} FCF_t(\xi(\omega, t), \psi(\omega, t), \vec{x}(t)) \quad (3-44)$$

где $\vec{x}(t)$ – оптимизационная стратегия: вектор $\vec{x}(t) = (\alpha_1(t), \alpha_2(t), \alpha_3(t))$ подлежащий выбору и описывающий валютную структуру долга, $\xi(t), \psi(t)$ – реализации стохастических процессов в момент t .

Дополнительные ограничения на оптимизационную стратегию записываются в виде функции:

$$Q \stackrel{\text{def}}{=} \|\vec{x}(t)\|_{l_1}, \alpha_k(t) \in [0; 1] \quad (3-45)$$

Рассмотрим вероятность события, такого, что целевая функция превышает заранее определенный порог φ и при этом выполнено дополнительное ограничение, т.е. $P_\varphi(\vec{x}, t) \stackrel{\text{def}}{=} P\{F_t(\xi_t, \psi_t, \vec{x}) \geq \varphi, Q=1\}$.

Для получения численных решений вводится критерии оптимизации на кратко-, средне и долгосрочный горизонт планирования t с использованием функции квантили F_u , описывающий некоторый заранее определенный порог φ в момент t :

$$F_u(\vec{x}(t), t) \stackrel{\text{def}}{=} \max \{\varphi: P_\varphi(\vec{x}(t), t) \geq u\}, \quad (3-46)$$

где u - заранее выбранный уровень доверительной вероятности.

Окончательно задача стохастической оптимизации с критерием в форме квантили формулируется следующим образом:

$$\vec{x}_u(t) = \operatorname{argmax}_{x \in Q} F_u(\vec{x}(t), t) \quad (3-47)$$

где u - заранее выбранный уровень доверительной вероятности.

При условии существования решения задачи оптимизации $\vec{x}(t)$, оптимальное значение критерия $\varphi_u = F_u(\vec{x}(t))$.

Как было показано в предыдущем разделе, на Рисунке 27, графически возможные наборы долгового портфеля могут быть отображены в виде основания тетраэдра с вершинами $(0,1,0)$, $(1,0,0)$, $(0,0,1)$. При этом в ходе решение задачи (3-47), полученное решение генерирует радиус-вектор с уравнением $\vec{r} = \alpha_1 \vec{i} + \alpha_2 \vec{j} + \alpha_3 \vec{k}$, который вырисовывает на поверхности тетраэдра годограф, как это видно из Рисунка 30. Понятно, что случай, когда одна или более координат принимает отрицательное значение, соответствует вкладу в связанной с ней валюте; однако, это соответствовало бы очевидной спекуляции, и поэтому такая возможность исключена.

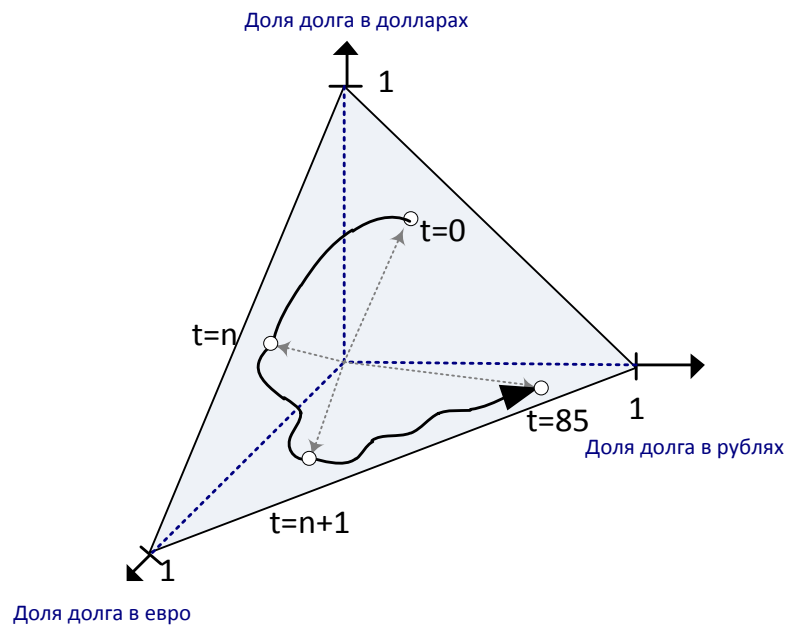


Рисунок 30- Пространство всевозможных решений

Вернемся, однако, к некоторым теоретическим вопросам рефинансирования. В ходе анализа результатов раздела 3.5, было выяснено, что в реальности не существует «бесплатного» рефинансирования, т.к. многие банки вводят заградительные комиссии для того, чтобы не потерять доходы и чтобы не сталкиваться с риском ре-инвестирования. В связи с этими результатами, были введены комиссии, которые уплачиваются при погашении (комиссия за досрочное погашение) и при привлечении новых средств (комиссия за фондирование). Введение на данном этапе комиссии составляют:

- Комиссия за досрочное погашение: 2% от суммы погашения
- Комиссия за фондирование: 1,5% от суммы привлечения

По мнению опрошенных аналитиков, такие заградительные комиссии могут существенно повлиять на стратегию рефинансирования.

Таким образом, задача (3-47) отличается от задачи (3-37) наличием штрафа в моменты смены структуры долга, который описывается уравнением (3-25).

Для решения прикладной задачи по оптимизации валютной структуры долга заемщика в условиях макроэкономических кризисов поставим 5 различных задач, в зависимости от степени риска и горизонта оптимизации $t = 12, 24, 48$:

1. Задача поиска структуры портфеля $\vec{x}(t) = (\alpha_1(t), \alpha_2(t), \alpha_3(t))$, максимизирующего медиану $F_{0,5}(\xi_t, \psi_t, \vec{x})$ в моменты $t = 12, 24, 48$:

$$\vec{x}_{0,5}(t) = \operatorname{argmax}_{x \in Q} F_{0,5}(\vec{x}(t), \xi_t, \psi_t, t), \quad t = 12, 24, 48 \quad (3-48)$$

2. Задача поиска структуры портфеля $\vec{x} = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, максимизирующего 0.1 квантиль $F_{0.1}(\vec{x}(t), \xi_t, \psi_t, t)$ в моменты $t = 12, 24, 48$:

$$\vec{x}_{0,1} = \operatorname{argmax}_{x \in Q} F_{0,1}(\vec{x}(t), \xi_t, \psi_t, t), t = 12, 24, 48 \quad (3-49)$$

3. Задача поиска структуры портфеля $\overrightarrow{x(t)} = (\alpha_1(t), \alpha_2(t), \alpha_3(t))$, минимизирующего дисперсию в моменты $t = 12, 24, 48$:

$$\vec{x}_D = \operatorname{argmin}_{x \in Q} D(F(\vec{x}(t), \xi_t, \psi_t, t)), t = 12, 24, 48 \quad (3-50)$$

где D – дисперсия

4. Задача поиска структуры портфеля $\overrightarrow{x(t)} = (\alpha_1(t), \alpha_2(t), \alpha_3(t))$, максимизирующего медиану суммы $\Theta(\xi_t, \psi_t, \vec{x}) = \sum_{i=0}^t F(\xi_i, \psi_i, \vec{x})$ в моменты $t = 12, 24, 48$:

$$\vec{x}_{0,5} = \operatorname{argmax}_{x \in Q} \Theta_{0,5}(\vec{x}(t), \xi_t, \psi_t, t), t = 12, 24, 48 \quad (3-51)$$

5. Задача поиска структуры портфеля $\overrightarrow{x(t)} = (\alpha_1(t), \alpha_2(t), \alpha_3(t))$, максимизирующего 0.1 квантиль суммы $\Theta(\vec{x}(t), \xi_t, \psi_t, t) = \sum_{i=0}^t F(\vec{x}(t), \xi_t, \psi_t, t)$ в моменты $t = 12, 24, 48$:

$$\vec{x}_{0,1} = \operatorname{argmax}_{x \in Q} \Theta_{0,1}(\vec{x}(t), \xi_t, \psi_t, t), t = 12, 24, 48 \quad (3-52)$$

Иными словами, реализована возможность динамической оптимизации структуры долгового портфеля в заранее выбранные моменты времени внутри периода моделирования исходя из конечной цели менеджмента.

Лучше всего вышеописанный подход иллюстрирует следующий Рисунок 30.

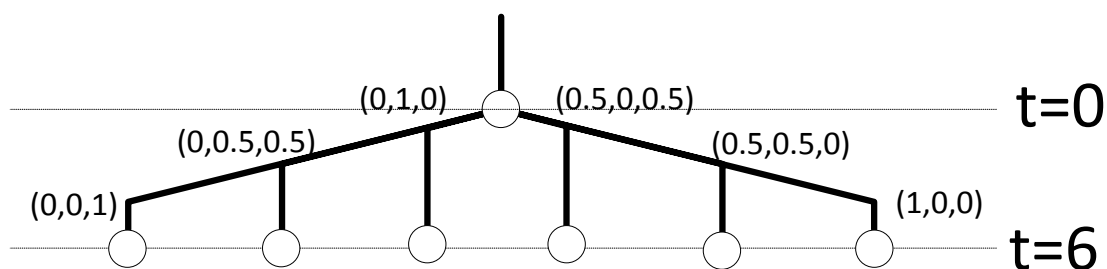


Рисунок 31- Фрагмент дерева решений на 1 шаге

Рассмотрим дерево всевозможных решений в начальный момент и в момент времени $t=6$.

Для решения рассматриваются все возможные комбинации долгового портфеля компании:

$$\begin{aligned}
 Y_{\text{debt}} &= \alpha_1 RuR + \alpha_2 Y_{\text{usd debt}} Fx_{\text{usd} \rightarrow \text{rur}} \\
 &\quad + \alpha_3 Y_{\text{eur debt}} Fx_{\text{eur} \rightarrow \text{rur}} \quad (3-53) \\
 \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 &= 1, \alpha_i \in [0; 1]
 \end{aligned}$$

Так, при шаге перебора значений портфеля, равным 0,5 (при решении задачи использовался шаг 0,25) уже на первой точке принятия решения возникает $N=6$ комбинаций. Принимая во внимание тот факт, что точек принятия решения в рассматриваемой задаче 4, количество всевозможных комбинаций решений равно $N = n^4$, или в нашем случае $N=1296$. Даже такое количество комбинаций предоставляет собой серьезную вычислительную задачу, особенно с учетом того, что каждый сценарий – это расчет более большого числа случайных величин² со своими функциями распределения. Для упрощения задачи учтем определение предела последовательности из курса математического анализа [189] и применим его к задаче:

² В модели содержится 702 случайные величины

$$\forall \varepsilon > 0 \exists N \forall n > N \exists \text{ набор } (\alpha_1(N), \alpha_2(N), \alpha_3(N)),$$

(3-54)

такой что верно

$$|\Phi(\alpha_1(N), \alpha_2(N), \alpha_3(N)) - \Phi(\alpha_1(n), \alpha_2(n), \alpha_3(n))| < \varepsilon$$

Тогда будем говорить, что решение задачи есть $\Phi(\alpha_1(N), \alpha_2(N), \alpha_3(N))$.

Иными словами, это значит что, начиная с некоторого числа N , любой другой портфель из валют $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ не улучшает решение, найденное на шаге N . В качестве наглядного доказательства приведем результаты расчета, они показаны на Рисунке 31.

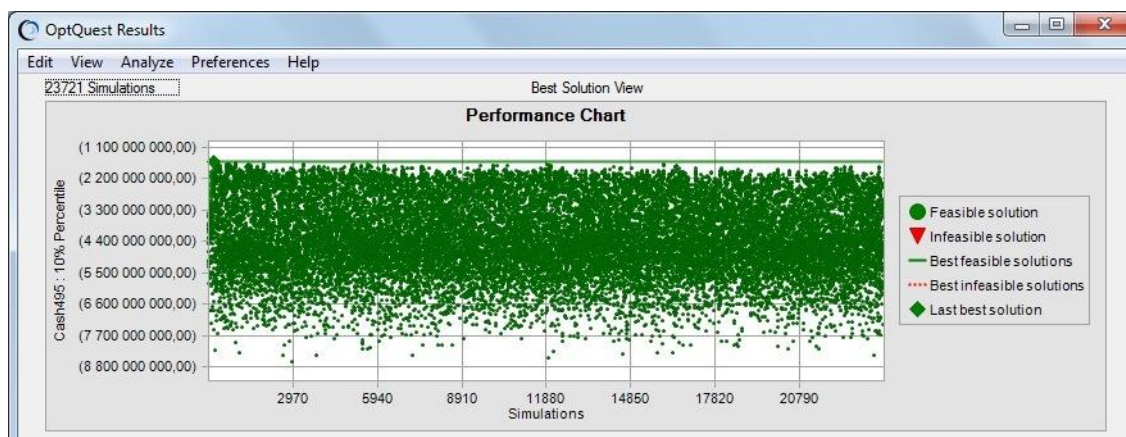


Рисунок 32- Пространство портфелей в системе Crystal Ball

Каждая точка на Рисунке 31 это результат выбора одного из портфелей.

В целях продолжения исследования, в начале моделирования был зафиксирован портфель из 100% долларов, т.е. портфель $(0,1,0)$. Шаг по каждому элементу портфеля составил 0,25 при 10 000 итераций для каждой тройки $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$. Алгоритм поиска аналогичен алгоритму, описанному в разделе 3.6.

Результаты оптимизации портфеля в зависимости от принятых критериев приведены в таблице 3. Состав портфеля обозначается в виде вектора $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$, где α_1 это доля рублей, α_2 это доля долларов, α_3 обозначает доля евро в рассматриваемом портфеле.

Таблица-3 Результаты расчетов

Критерий	t=12	t=24	t=48
$\vec{x}_{0,5} = \underset{x \in Q}{argmax} F_{0,5}(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t)$	(0,1,0) (1,0,0) (0,0,1) (0,0,1) (0,0,1)	(0,1,0) (1,0,0) (0,0,1) (0,0,1) (0,0,1)	(0,1,0) (0.5,0.5,0) (0.5,0.5,0) (0.5,0.5,0) (0.5,0.5,0)
$\vec{x}_{0,1} = \underset{x \in Q}{argmax} F_{0,1}(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t)$	(0,1,0) (1,0,0) (0,0,1) (0,0,1) (0,0,1)	(0,1,0) (1,0,0) (0,0,1) (0,0,1) (0,0,1)	Рефинансирование в рубли на 1 шаге
$\vec{x}_D = \underset{x \in Q}{argmin} D(F(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t))$	(0,1,0) (1,0,0) (0,1,0) (0,1,0) (0,1,0)	(0,1,0) (0.5,0.5,0) (0.5,0.5,0) (0.5,0.5,0) (0.5,0.5,0)	(0,1,0) (0.5,0.5,0) (0.5,0.5,0) (0.5,0.5,0) (0.5,0.5,0)
$\vec{x}_{0,5} = \underset{x \in Q}{argmax} \theta_{0,5}(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t)$	Рефинансирования нет		
$\vec{x}_{0,1} = \underset{x \in Q}{argmax} \theta_{0,1}(\vec{x}, \xi_t, \psi_t, t)$	Рефинансирования нет		(0,1,0) (0.5,0.5,0) (0.5,0.5,0) (0.5,0.5,0) (0.5,0.5,0)

Основной вывод, который можно сделать на основе результатов таков: критерии по остаткам денежных средств на балансе компании (3-51) и (3-52) являются более сильными, нежели критерии по денежному потоку (3-48)-(3.50). Этот факт довольно очевиден, поскольку средства на балансе играют роль в некотором роде «памяти» прошлых периодов, и любые действия в прошлом отражаются на количестве накопленных денежных средств, что в случае свободного денежного потока вовсе не так.

Действительно, свободный денежный поток показывает финансовое состояние компании в настоящий момент времени и зависит, в широком смысле, только от макроэкономических параметров в рассматриваемый момент времени. Таким образом, критерии по денежному потоку являются «дифференциальным», а критерии по остаткам средств на балансе – «интегральными». Какие критерии принимать во внимание – интегральные или дифференциальные – каждый менеджер решает в зависимости от ситуации.

А что же по поводу заградительных комиссий? Как и предполагалось ранее, комиссии кардинально влияют на стратегию рефинансирования, перекрывая положительный эффект естественного хеджирования большими единовременными оттоками. Чем выше такие комиссии, тем позже эффект девальвации начинает работать «в плюс» рассматриваемой компании.

Комиссии прекрасно справляются со своей основной задачей - удержания заемщика и активно препятствуют частым сменам кредитора, сводя на нет всю потенциальную выгоду от рефинансирования в другие валюты.

Это наглядно видно на Рисунке 33, на нем показано сравнение результатов двух моделей, одна из которых состоит полностью из долларового портфеля, другая – с рефинансированием 100% долларового долга в рубли на 12 месяце с начала моделирования.

На Рисунке 33 видно, как начинает «работать» естественное хеджирование, это видно из формы кривой, т.к. производная по времени в конце срока моделирования по квантили 0,9 и 0,1 в рефинансируемом портфеле явно выше, чем в портфеле без

рефинансирования. Но, при этом, скорость роста денег на балансе не успевает за первоначальным разрывом, покрываемым из денежных средств на балансе.

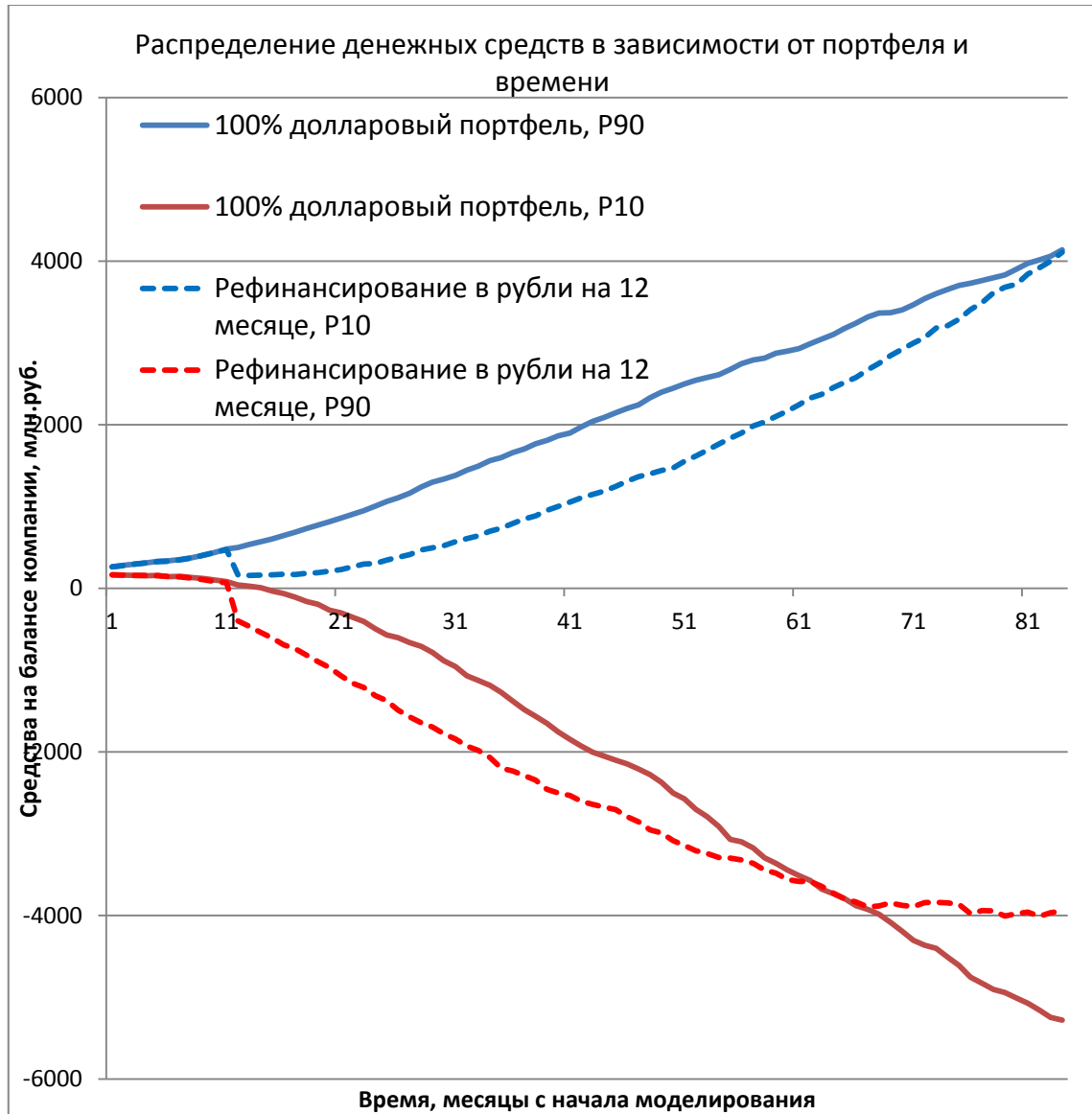


Рисунок 33- Распределение денежных средств на балансе компании в зависимости от времени и портфеля

Разрыв в денежном потоке, описываемый уравнением в соответствии с разделом 3.4, продемонстрирован на Рисунке 34.

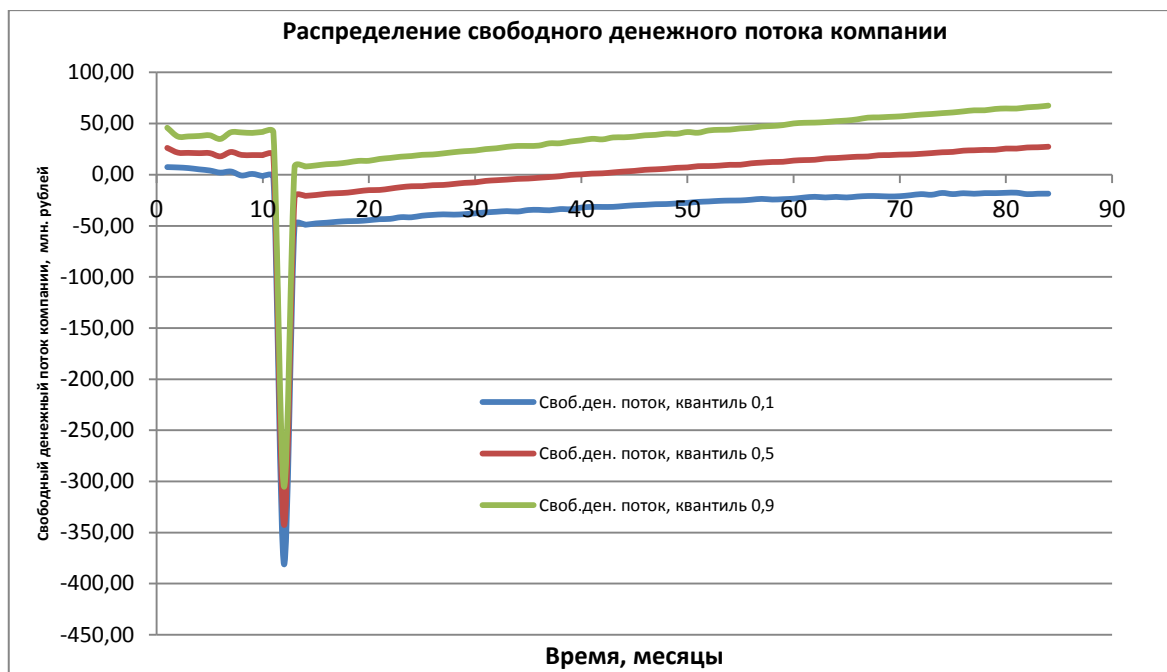


Рисунок 34- Распределение свободного денежного потока

В рассматриваемом случае такой эффект компенсации рефинансирования наблюдается лишь при оптимизации портфеля по критерию квантили 0.1 распределения денежных средств в конце периода, и то, при условии что все условия, кроме макроэкономических, остаются неизменными.

В целом, лишь частично подтвержден вывод исследования, приведенного в раздела 3.5, в начальную фазу кризиса (первые 12-24 месяца) эффект от естественного хеджирования довольно слабый, а комиссии только ухудшают финансовое положение компании. Однако начиная со среднесрочного периода, эффект от девальвации, связанной с падением цен на нефть, начинает работать на пользу нефтяной компании. В этом случае имеет смысл рассматривать рефинансирования части долга в рубли при условии отмены либо незначительности комиссии за рефинансирование.

3.8 Выводы по третьей главе

1. Разработана финансово-экономическая детерминистическая модель нефтяной компании.
2. На базе детерминистической модели создана вероятностная модель, учитывающая неопределенность макроэкономических параметров.
3. На основе анализа неопределенностей разработаны:
 - Алгоритм поиска гарантирующего (по вероятности) решения для нового класса задач по поиску оптимальной структуры долга в условиях неопределенности параметров модели
 - Критерии для оценки вероятности разорения, в зависимости от времени.
 - Критерии для оптимизации валютной структуры долга как в одной точке, так и в нескольких
4. Для вероятностной модели доказана теорема о непрерывности денежного потока с последующим применением результатов в модели.
5. На основе критериев и алгоритма поиска получены решения, минимизирующие риски дефолта компании.

Заключение

В рамках методологии анализа неопределённости детерминистических и стохастических моделей, исследованы свойства метода аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований, позволяющие использовать его для аппроксимации зависимости между случайными величинами.

Для предложенного метода приведены доказательства существования и единственности решения, доказано необходимое условие существования решения, обоснованы свойства функционала аппроксимации детерминистических моделей с помощью стохастических преобразований, такие как измеримость по Борелю, нелинейность, монотонность на отрезке, интегрируемость.

С помощью метода аппроксимирована зависимость между курсом рубля и стоимости нефти, которая в дальнейшем использовалась при решении задачи оптимизации структуры долга и оценке вероятности разорения.

Для задачи оптимизации структуры долга разработан и реализован алгоритм по поиску решения, минимизирующие риски дефолта с учетом неопределенностей параметров модели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Knight, Frank H. Risk, Uncertainty, and Profit. Boston, MA: Hart, Schaffner & Marx; Houghton Mifflin Co. 1921. Library of Economics and Liberty [Online] available from <http://www.econlib.org/library/Knight/knRUP.html>; accessed 6 October 2014; Internet.
2. Shannon, C.E. (1948), "A Mathematical Theory of Communication", Bell System.
3. Хоциалов Н.Ф. Запасы прочности / Н.Ф. Хоциалов // Строительная промышленность, 1929.-№10.-С. 840-844.
4. Maier Die Sicherheit der Bauwerke und ihre Berechnung nach Grenzeruften anstatt nach zulassigen Spannugen. Berlin, Springer- Verlag, 1926.- 513 .
5. Markowitz Harry M. Portfolio Selection // Journal of Finance. 1952. 7. № 1 pp. 71-91.
6. GRAYSON, C. J . : Decisions under Uncertainty: Drilling Decisions by Oil and Gas Operators. Cambridge, Massachusetts: Graduate School of Business, Harvard University, 1960.
7. Kaufman G. M. Statistical Decision and Related Techniques in Oil and Gas Exploration. - Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, Co., 1963.
8. Cozzolino, J. M., 1977, Management of oil and gas exploration risk: West Berlin, NJ, Cozzolino Associates. .
9. Garnaut R., Ross A. C. Uncertainty, risk aversion and the taxing of natural resource projects //The Economic Journal. – 1975. – С. 272-287.
10. Половко А.М. Основы теории надёжности. М.: Наука, 1964 – 446 с.
11. Гнеденко Б.В. О ненагруженном дублировании. // Изв. АН СССР. Техн. кибернет. – 1964, №4, с. 3-12.

12. А. Я Хинчин «Работы по математической теории массового обслуживания», 1963.
13. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьёв А.Д. Математические методы в теории надёжности. – М.: Наука, 1965 – 524 с.
14. Zadeh L.A. Fuzzy Sets// Information and Control. –1965. – Vol.8. – P. 338-353. .
15. Zadeh L.A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes// IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. –1973. – Vol. SMC-3. – P. 28-44. .
16. Zadeh L.A. Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility// Fuzzy Sets and Systems. – 1978. – Vol.1. – P. 3-28.
17. Probability Measures of Fuzzy Events// Journal of Mathematical Analysis and Applications. – 1968. – Vol.10. – P. 421-427.
18. Чернов В. Г., Дорохов А., Дорохова Л. Неопределенность как фактор принятия инвестиционных решений и применение теории нечетких множеств для ее моделирования//Montenegrin journal of economics. – 2010. – №. 11. – С. 17.
19. Дыбов А. М. Особенности оценки инвестиционных проектов с учетом факторов риска и неопределенности //Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право. – 2010. – №. 2. – С. 7-14.
20. Копылов А. В., Санжапов Б. Х. Модель принятия решения задачи определения параметров стратегического потенциала предприятия в условиях неопределенности.
21. Zaychenko Y., Esfandiaryfard M. Optimization of the Investment Portfolio in the Conditions of Uncertainty. – 2008.

22. Зайченко Ю. П., Есфандиярфард М. Оптимизация инвестиционного портфеля в условиях неопределенности //Системні дослідження та інформаційні технології. – 2008.
23. Bonissone P. P. Uncertainty in Kbs (Expert Systems) //Expert Systems in Structural Safety Assessment. – Springer Berlin Heidelberg, 1989. – С. 93-112.
24. Camerer C., Weber M. Recent developments in modeling preferences: Uncertainty and ambiguity //Journal of risk and uncertainty. – 1992. – Т. 5. – №. 4. – С. 325-370.
25. Liu B. Uncertainty theory. – Springer Berlin Heidelberg, 2007. – С. 205-234.
26. Rasmussen, Professor Norman C.; et al. (1975-10). "Reactor safety study. An assessment of accident risks in U. S. commercial nuclear power plants. Executive Summary.". WASH-1400 (NUREG-75/014). Rockville, MD, USA: Federal Government of the United States,.
27. Lewis, H.W.; Budnitz, R.J.; Kouts, H.J.C.; Loewenstein, W.B.; Rowe, W.D.; von Hippel, F.; Zachariassen, F.Risk Assessment Review Group report to the U. S. Nuclear Regulatory Commission.
28. Analysis of some methodological errors in the WASH-1400 property damage model. Author, J. Eric Humphreys. Publisher, Humphreys, 1977.
29. Лукашов А. В. Риск-менеджмент и количественное измерение финансовых рисков в нефинансовых корпорациях //Управление корпоративными финансами. – 2005. – №. 5. – С. 43-60.
30. Group of Thirty, International Swaps, Derivatives Association. Derivatives: practices and principles: follow-up surveys of industry practice. – Group of Thirty, 1994. – Т. 4.
31. J.P. Morgan. (1995). RiskMetrics™ Technical Document, 3rd ed. New York.

32. RiskMetrics, (1999). CorporateMetrics™ Technical Document, New York: RiskMetrics Group.
33. Rose P. R. Risk analysis and management of petroleum exploration ventures. – Tulsa, OK : American Association of Petroleum Geologists, 2001. – Т. 12.
34. Armstrong M. et al. Incorporating technical uncertainty in real option valuation of oil projects //Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2004. – Т. 44. – №. 1. – С. 67-82.
35. Schiozer D. J. et al. Use of representative models in the integration of risk analysis and production strategy definition //Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2004. – Т. 44. – №. 1. – С. 131-141.
36. Максимов Ю. И. Учет качественных факторов и неопределенности при планировании развития нефтегазовых комплексов. – ИЭиОПП СО АН СССР, 1982.
37. Алтунин А. Е., Семухин М. В. Расчеты в условиях риска и неопределенности в нефтегазовых технологиях. – Тюмень : Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2005.
38. Краснов О. С. Теория и практика вероятностной оценки геологических рисков и неопределенности при подготовке запасов нефти и газа //Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2009. – Т. 4. – №. 1. – С. 1-6.
39. Богаткина Ю. Г., Пономарева И. А., Еремин Н. А. Применение теории нечетких множеств при оценке эффективности и риска в нефтегазовых инвестиционных проектах.
40. оглу Алиев А. Г., оглу Алиев Н. М. Некоторые особенности экономической неопределенности и риска в геолого-экономическом анализе //elm və innovasiya. – С. 70.

41. Шохор С. Л. О влиянии опционной техники на выбор инвестиционных решений //Журнал Экономика и математические методы (ЭММ). – 2006. – Т. 42. – №. 1.
42. PRA Procedures Guide: A Guide to the Performance of Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plants. — NUREG/CR-2300. — January, 1983.
43. Vesely W. E., Rasmuson D. M. Uncertainties in nuclear probabilistic risk analyses //Risk Analysis. – 1984. – Т. 4. – №. 4. – С. 313-322.
44. Jackson P. S., Hockenbury R. W., Yeater M. L. Uncertainty analysis of system reliability and availability assessment //Nuclear Engineering and Design. – 1982. – Т. 68. – №. 1. – С. 5-29.
45. Breeding R. J. et al. Summary description of the methods used in the probabilistic risk assessments for NUREG-1150 //Nuclear Engineering and Design. – 1992. – Т. 135. – №. 1. – С. 1-27.
46. Paté-Cornell M. E. Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment //Reliability Engineering & System Safety. – 1996. – Т. 54. – №. 2. – С. 95-111.
47. Hora S. C., Iman R. L. Expert opinion in risk analysis: the NUREG-1150 methodology. – Hawaii Univ., Hilo (USA), 1988.
48. Morgan M. G., Small M. Uncertainty: a guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis. – Cambridge University Press, 1992.
49. Parry G. W. The characterization of uncertainty in probabilistic risk assessments of complex systems //Reliability Engineering & System Safety. – 1996. – Т. 54. – №. 2. – С. 119-126.
50. Boyack B. E. et al. Quantifying reactor safety margins part 1: an overview of the code scaling, applicability, and uncertainty evaluation

methodology //Nuclear Engineering and Design. – 1990. – T. 119. – №. 1. – C. 1-15.

51. Winkler R. L. Uncertainty in probabilistic risk assessment //Reliability Engineering & System Safety. – 1996. – T. 54. – №. 2. – C. 127-132.

52. McKay M. D., Morrison J. D., Upton S. C. Evaluating prediction uncertainty in simulation models //Computer Physics Communications. – 1999. – T. 117. – №. 1. – C. 44-51.

53. Buslik A. A Bayesian approach to model uncertainty. – 1994.

54. Suresh P. V., Babar A. K., Raj V. V. Uncertainty in fault tree analysis: a fuzzy approach //Fuzzy Sets and Systems. – 1996. – T. 83. – №. 2. – C. 135-141.

55. Helton J. C. Uncertainty and sensitivity analysis in the presence of stochastic and subjective uncertainty //Journal of Statistical Computation and Simulation. – 1997. – T. 57. – №. 1-4. – C. 3-76.

56. Iman R. L., Helton J. C. Comparison of uncertainty and sensitivity analysis techniques for computer models. – Sandia National Labs., Albuquerque, NM (USA), 1985.

57. Cox N. D. Comparison of two uncertainty analysis methods. – 1977.

58. Helton J. C. et al. Uncertainty and sensitivity analysis results obtained in a preliminary performance assessment for the Waste Isolation Pilot Plant. – 1993.

59. Kučera J., Bode P., Stvpánek V. The 1993 ISO guide to the expression of uncertainty in measurement applied to NAA //Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2000. – T. 245. – №. 1. – C. 115-122.

60. Helton J. C. et al. Uncertainty and sensitivity analysis of a model for multicomponent aerosol dynamics. – 1986.

61. Winkler R. L. Model uncertainty: probabilities for models?. – 1994.
62. Bean J. E. et al. Uncertainty and Sensitivity Analysis Results Obtained in the 1996 Performance Assessment for the Waste Isolation Pilot Plant. – Sandia National Labs., Albuquerque, NM (United States), 1998.
63. Andsten R. S., Vaurio J. K. Sensitivity, uncertainty, and importance analysis of a risk assessment. – 1992.
64. Islamov R. Uncertainty Analysis. Report for US Nuclear Regulatory Commission. — 1998.
65. Dmitriev A., Islamov R., Korotin V., Petrov D. Probabilistic Risk Assessment – Uncertainty Analysis. Report for US NRC. IBRAE RAS, 2003.
66. Papushkin V., Islamov R., Volkov A. Development of Standard Probabilistic Risk Uncertainty Analysis. Report for US NRC. IBRAE RAS, 2003.
67. NSI-Predraft-Report-1999, «Development of Standard Probabilistic Risk Assessment (PRA) Procedure Guide. System modeling», Dr. V.Papushkin, Dr. R.Islamov, A.A.Volkov, January 1999, Russian Academy of Science, Nuclear Safety Institute.
68. Islamov, R.T. 1998. Development of Standard Probabilistic Risk Assessment Procedure Guides: Quantification Uncertainty and Sensitivity Analysis. Report for US Department of Energy.
69. Исламов Р.Т., Полищук А.А. и др., Вероятностный анализ безопасности проекта хранилища отработанного топлива завода РТ-2 и подготовка исходных данных в обеспечение проведения вероятностного анализа безопасности и экологического риска проекта завода РТ-.
70. Гупало Т.А., Исламов Р.Т. и др. Технико-экономическое исследование создания временного хранилища отверждённых пульп

САО Красноярского ГХК в существующих подземных выработках. – М.: Фонды ВНИПИ промышленной технологии, 1993, - 160 с.

71. Высочанский В.Б., Исламов Р.Т. Зависимость коэффициента стохастической аппроксимации от множества точек. Препринт ИБРАЭ №ИВРАЕ-2003-02, М., ИБРАЭ РАН, 2003, 200 с.

72. Исламов Р.Т., Полищук А.А., Дмитриев А.В., Агапитов В.Е., Высочанский В.Б., Волков А.А., Коротин В.Ю., Петров Д.А. Аналитические и статистические методы и их применение для анализа безопасности объектов атомной энергетики // Известия РАН Энергетика,.

73. Волков А.А., Исламов Р.Т. “Моделирование отказов по общим причинам при проведении вероятностного анализа безопасности объектов атомной энергетики”, Известия РАН Энергетика, 2001, №2.

74. Islamov R., Ustinov V. Uncertainty analysis and stochastic approximation “ //Proc. Int. Conf." Best-Estimate" Methods in Nuclear Installation Safety Analysis (BE-2000), Washington, USA, November. – 2000. – С. 13-17.

75. Islamov R. Russian Nuclear Submarine Utilization Probabilistic Risk Assessment //Analysis of Risks Associated with Nuclear Submarine Decommissioning, Dismantling and Disposal. – Springer Netherlands, 1999. – С. 17-18.

76. Islamov R. T. Tendency of method development and application of probabilistic safety and risk assessment in nuclear industry //safety science and technology. – С. 923-928.

77. Islamov R. T. et al. Comparison of two methods for determining defects in technical systems //Atomic energy. – 2011. – Т. 110. – №. 6. – С. 369-375.

78. Islamov R. Uncertainty analysis of deterministic model in probabilistic risk assessment //Proceedings of the Second International Symposium on Safety Science and Technology (2000 ISSST) Part A. – 2000.

79. Islamov R., Ustinov V. Computer program praise. Uncertainty analysis of heat exchanger three-dimensional flow speed model //Safety Engineering and Risk Analysis. – 2000. – С. 177.

80. Islamov R. T. Tendency of method development and application of probabilistic safety and risk assessment in nuclear industry //Safety science and technology. – С. 923-928.

81. Исламов Р.Т. Аналитические и статистические методы анализа надежности систем и безопасности объектов атомной энергетики: дис. доктора физ.-мат. наук. — М., 1995.

82. Исламов Р.Т., Деревянкин А.А., Жуков И.В., Берберова М.А., Глухов И.В., Исламов Д.Р. Оценка риска для АЭС // Атомная энергия. — Декабрь-2010. — Т. 109, вып. 6. —С. 307.

83. Волков А.А. Разработка математических моделей и методик стохастического моделирования для вероятностного анализа безопасности и надежности объектов энергетики. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. М. 2004.

84. Коротин В.Ю., Петров Д.А. Исламов Р.Т., Дмитриев А.В., Тепло гидравлические расчеты кода RELAP5 в поддержку анализа неопределенности аварийных последовательностей (Large LOCA, Surry, Unit1). б.м. : «Проблемы снижения риска при использовании атомной энергии» М., Изд-во ИБРАЭ РАН, 2004, стр. 163.

85. Коротин В.Ю., Петров Д.А. Исламов Р.Т., Дмитриев А.В., Анализ неопределенности аварийных последовательностей на примере аварии с потерей теплоносителя (Large LOCA, Surry, Unit1) .

б.м. : «Проблемы снижения риска при использовании атомной энергии» М., Изд-во ИБРАЭ РАН, 2004, стр. 163.

86. Кошовкин И. Н. и др. Анализ неопределенностей при моделировании водогазового воздействия на нефтяной пласт с применением нейронных сетей //Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – №. 1.

87. Сидельников К. А., Васильев В. В. Анализ современных способов увеличения эффективности моделирования нефтяных месторождений //ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО. – 2005. – Т. 1.

88. Пинус О. В. и др. Применение комплексного подхода для геологического моделирования трещиноватых коллекторов Западно-Сибирского фундамента (на примере Малоичского месторождения) //Геология нефти и газа. – 2006. – №. 6. – С. 38-42.

89. Черкас Е. О., Антоненко Д. А., Ставинский П. В. Определение рисков при бурении скважин и учет неопределенностей геологических моделей (на примере Ванкорского месторождения) //Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть. – 2008. – №. 3. – С. 6-10.

90. Бобылев О. А., Леви В. Б., Назметдинов Р. М. Опыт многовариантного моделирования и анализа неопределенностей на примере одного из месторождений западной сибери //Нефтяное хозяйство. – 2009. – №. 12. – С. 37-40.

91. Степанов А.В., Сурков А.Ю., Басыров М.А., Кундин А.С. Анализ неопределенностей на примере адаптации модели реального месторождения //нефтепромысловое дело. – 2013. – №. 2. – С. 8-12.

92. Е.Д. Солженцев, «Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике» Спб: Бизнес-Пресса, 2004.

93. Morgan M. G., Henrion M. Uncertainty: a Guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis Cambridge University Press //New York, New York, USA. – 1990.
94. Martz, H. F. and Waller, R. A. 1982. Bayesian Reliability Analysis. John Wiley & Sons, New York.
95. International Atomic Energy Agency (IAEA). 1989. Evaluating the Reliability of Predictions Made Using Environmental Transfer Models. IAEA Safety Series 100. Vienna, Austria.
96. Hoffman, F. O. and Gardner, R. H. 1983. Evaluation of Uncertainties in Radiological Assessment Models. Chapter 11 of Radiological Assessment: A textbook on Environmental Dose Analysis. Edited by Till, J. E. and Meyer, H. R. NRC Office of Nuclear Reactor R.
97. Hoffman, F. O. and Gardner, R. H. 1983. Evaluation of Uncertainties in Radiological Assessment Models. Chapter 11 of Radiological Assessment: A textbook on Environmental Dose Analysis. Edited by Till, J. E. and Meyer, H. R. NRC Office of Nuclear Reactor R.
98. J. S. Hammonds, F. O. Hoffman, S. M. Bartell, An Introductory Guide to Uncertainty Analysis in Environmental and Health Risk Assessment, Oak Ridge National Laboratory, 1994.
99. Cukier, R.I., C.M. Fortuin, K.E. Shuler, A.G. Petschek, and J.H. Schailby (1973), “Study of the Sensitivity of the Coupled Reaction Systems to Uncertainties in Rate Coefficients: I.Theory,” Journal of Chemical Physics, 59(8):3873-3878.
100. Saltelli, A., and R. Bolado (1998), “An Alternative Way to Compute Fourier Amplitude Sensitivity Test (FAST),” Computational Statistics and Data Analysis, 26(4):445-460.
101. Chan K. S. Tarantola, A. Saltelli, I. M. Sobol', Variance based methods, in A. Saltelli, K. Chan, M. Scott (Editors), Sensitivity Analysis, Wiley. 2000, 167-197.

102. Karen Chan, Andrea Saltelli, Stefano Tarantola. Sensitivity analysis of model output: variance-based methods make the difference Environment Institute, European Commission Joint Research Centre TP272, 21020I spra (VA), ITALY, 1997.
103. Xiaoping Du and Wei Chen Raman Garimella Propagation and Management of Uncertainties in Simulation-Based Collaborative Systems Design, University of Illinois at Chicago, Chicago, IL 60607-7022, 1999.
104. McRae, G.J., J.W. Tilden, and J.H. Seinfeld (1982), "Global Sensitivity Analysis – A Computational Implementation of the Fourier Amplitude Sensitivity Test," Computers and Chemical Engineering, 6(1):15-25.
105. Iman, R.L., M.J. Shortencarier, and J.D. Jhonson. "A FORTRAN 77 Program and Users Guide for the Calculation of Partial Correlation and Standardized Regression Coefficients." Report No. SAND85-0044, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, 1985.
106. Neter, J., M.H. Kutner, C.J. Nachtsheim, and W. Wasserman. Applied Linear Statistical Models. Fourth Edition. McGraw-Hill: Chicago, IL, 1996.
107. Sen, A., and M. Srivastava. Regression Analysis: Theory, Methods, and Applications. Springer-Verlag: New York, 1990.
108. Steel, R.G.D., J.H. Torrie, and D.A. Dickey (1997). Principals and Procedures of Statistics A Biometric Approach. 3 rd Edition. WCB McGraw-Hill: Boston, Massachusetts.
109. Draper, N.R., and H. Smith. Applied Regression Analysis. Second Edition. John Wiley and Sons: New York, 1981.
110. Hosmer, D.W., and S. Lemeshow. Applied Logistic Regression. John Wiley: New York, 1989.
111. Xiaoping Du and Wei Chen. An efficient approach to probabilistic uncertainty analysis in Simulation-based multidisciplinary

design. Department of Mechanical Engineering University of Illinois at Chicago, Chicago, Illinois 60607.

112. B. D. Hall, Calculating uncertainty automatically in instrumentation systems. Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Lower Hutt, New Zealand, 2002.

113. Barry N. Taylor and Chris E. Kuyatt. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. Physics Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899-0001, 1994.

114. Rubinstein, R. Y. 1981. Simulation and the Monte Carlo Method. 278 pgs. Wiley, New York.

115. Mckay, M.D.;Beckman,R.J. & Conover, W.J., A Comparison of three Methods for Selecting Values of Input Variables in Analysis of Output from a Computer Code –Technometrics V.21-N.2 pp.239-245. 1979.

116. Stein, M. Large sample properties of simulations using Latin hypercube sampling. Technometrics, 29(2):143–151, 1987.

117. Tietjen, G. L. A Topical Dictionary of Statistics. Chapman and Hall, New York, 1986.

118. Myers, R.H., and D.C. Montgomery. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. Wiley and Sons Ltd.: New York, 1995.

119. Khuri, A.J., and J.A. Cornell. Response Surfaces. Marcel Dekker, Inc.: New York, 1987.

120. Ronald L. Iman and Jon C. Helman. An Investigation of Uncertainty and Sensitivity Analysis Techniques for Computer Models, 1986.

121. Vidmar, T.J., and J.W. McKean, "A Monte Carlo Study of Robust and Least Squares Response Surface Methods," *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 54(1):1-18. 1996.
122. Bobba, A.G., V.P. Singh, and L. Bengtsson. Application of First-Order and Monte Carlo Analysis in Watershed Water Quality Models. *Water Resources Management*. 10: 219-240, 1996.
123. Yen, B.C., S.-T. Cheng, and C.S. Melching. First Order Reliability Analysis. In: *Stochastic and Risk Analysis in Hydraulic Engineering*. B.C. Yen, editor. Pp 1-36. Water Resources Publications. Littleton, Colorado, 1986.
124. Rosenblueth, E. Point Estimates for Probability Moments. *Proceedings, National Academy of Science*, 72(10):3812-3814, 1975.
125. Rosenblueth, E. Two-Point Estimates in Probabilities. *Applied Mathematical Modelling*, 5, 329-335, 1981.
126. Ditlevsen, O. *Uncertainty Modeling*. McGraw-Hill, Inc. New York. 412 pp. 1981.
127. Xiaoping Du and Wei Chen, "An efficient approach to probabilistic uncertainty analysis in simulation-based multidisciplinary design", Department of Mechanical Engineering, University of Illinois at Chicago.
128. B. D. Hall, "Calculating uncertainty automatically in instrumentation systems", Measurement Standards Laboratory of New Zealand Lower Hutt, New Zealand 2002.
129. Dubois D., Lang J., Prade H. (1991) Handling uncertainty, context, vague predicates, and partial inconsistency in possibilistic logic. Preprints of the Fuzzy Logic in Artificial Intelligence Workshop held in conjunction with IJCAI'91, Sydney, Austral.

130. Dubois D., Prade H., Rossazza J.P. (1991) Vagueness, typicality and uncertainty in class hierarchies. *Int. J. of Intelligent Systems*, 6, 167-183.
131. Van Gyseghem, N., De Caluwe, R. and Vandenberghe, R. UFO: uncertain and fuzziness in an object-oriented model. In *Proceedings of the 2 nd IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 773-778. 1993.
132. Dubois D., Prade H. (with the collaboration of Farreny H., Martin-Clouaire R., Testemale C.) (1988a) *Possibility Theory : an Approach to Computerized Processing of Uncertainty*. Plenum Press, New York.
133. Отчет о деятельности ОАО НК "ЛУКОЙЛ" за 2013 г. [В Интернете]
http://www.lukoil.ru/materials/doc/AGSM_2014/GO_Book_rus.pdf.
134. Turning risks into returns - an Enterprise Risk Management (ERM) survey. .
135. Servaes H., Tufano P. The theory and practice of corporate risk management policy //Global Markets Liability Strategies Group, Deutsche Bank AG. – 2006.
136. Исследование KPMG и НСКУ «Корпоративное управление в условиях финансово-экономического кризиса».
137. Project Risk Management. A Study on the risk management approach utilized by ConocoPhillips Capital Projects.
138. Report of Columbia Accident Investigation Board, Volume I. [В Интернете] http://s3.amazonaws.com/akamai.netstorage/anon.nasa-global/CAIB/CAIB_lowres_full.pdf.
139. Алексеев В. М., Тихомиров В. М., Фомин С. В. *Оптимальное управление*. — М.: Наука, 1979.

140. Веб-сайт Центрального банка Российской Федерации (<http://www.cbr.ru/>). [В Интернете]
141. Веб-сайт U.S. Energy Information Administration (<http://www.eia.gov/petroleum/>). [В Интернете]
142. Чухланцев Д. О. Моделирование финансовых потоков в вертикально интегрированной компании и рационализации ее взаиморасчетов с контрагентами: Диссерт.... канд. экон. наук. 08.00. 13–математические и инструментальные методы экономики //М.: Финансовая академия.
143. В. Е. Кривоножко, В. П. Мангазеев, А. И. Пропой, “Моделирование развития вертикально-интегрированных компаний”, Автомат. и телемех., 1999, № 11, 123–137.
144. Паньшин О. Оценка вертикально интегрированной нефтяной компании доходным подходом по ее производственным показателям на примере ОАО "Сибнефть" //Рынок ценных бумаг. – 2002. – №. 10. – С. 38-42.
145. Мишняков В., Миловидов К. Использование отраслевого мультипликатора" капитализация/запасы" в оценке стоимости нефтяных компаний //Рынок ценных бумаг. – 2000. – №. 1. – С. 47-51.
146. Чижиков С. В., Дубовицкая Е. А. Новый подход к оценке и управлению стоимостью нефтегазовых проектов //Нефтяное хозяйство. – 2012. – Т. 9. – С. 99.
147. Соломонович К. А. Системный подход к созданию стоимости нефтегазовой компании //Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. – 2011. – №. 10.
148. Выгон Г. В. Оценка фундаментальной стоимости нефтяных месторождений: метод реальных опционов //Журнал Экономика и математические методы (ЭММ). – 2001. – Т. 37. – №. 2.

149. Выгон Г.В. Методы оценки нефтяных компаний в условиях неопределенности диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Москва, 2000 .
150. Мишняков В., Миловидов К. Использование отраслевого мультипликатора" капитализация/запасы" в оценке стоимости нефтяных компаний //Рынок ценных бумаг. – 2000. – №. 1. – С. 47-51.
151. Брейли Р., Майерс С. Принципы корпоративных финансов. – М. : Олимп-бизнес, 1997.
152. Лабскер Л. Г. Вероятностное моделирование в финансово-экономической области. – 2002.
153. Справочник аналитика ОАО НК ЛУКОЙЛ <http://www.lukoil.ru/static.asp?id=133> (дата обращения: 03.11.2014). [В Интернете]
154. Справочник аналитика ОАО НК Башнефть http://www.bashneft.ru/files/iblock/ce8/Databook_2Q_2014_MULTI_RUS.xl sx (дата обращения: 03.11.2014). [В Интернете]
155. Антанавичюс К. А. Многоуровневое стохастическое моделирование отраслевых плановых решений. – Мокслас, 1977.
156. Максимов Ю.И. Стохастическое моделирование в планировании. Новосибирск, Наука, 1981. 285 с, .
157. Голенко Д. И., Семен Е. Л., Кеслер С. Ш. Статистическое моделирование в технико-экономических системах: управление разработками. – Изд-во Ленинградского университета, 1977.
158. Багиров И. Г. Статистическое моделирование управляемых экономических процессов с помощью стохастических уравнений диффузионного типа //Экономико-статистические модели в прогнозировании и планировании промышленного производства. Новосибирск: Наука. – 1978.

159. Аркин В. И., Евстигнеев И. В. Вероятностные модели управления и экономической динамики. – Наука, 1979.
160. Кардаш В.А. Об одном подходе к постановкам стохастических задач оптимизации производства // Экономика и математические методы. 1977.-Т.13, Выш.6.-С. 312-316.
161. Мирзоахмедов Ф. Математические модели и методы управления производством с учетом случайных факторов. - Киев: Наукова думка, 1991.
162. Ермольев Ю.М., Мирзоахмедов Ф. Прямые методы стохастического программирования в задачах планирования запасов // Кибернетика. - 1976. -.
163. Mercer D. Scenarios made easy, Long Range Planning. — Vol. 28. — № 4. — 1995. — Pp. 81—86.
164. Schnaars S.P. How to Develop Business Strategies from Multiple Scenarios In: Guth, W.D. Handbook of Business Strategy,.
165. Van der Heijden K. Scenarios, Strategies and the Strategy Process Nijenrode University Press, 1997.
166. Mercer D. Scenarios made easy, Long Range Planning. — Vol. 28. — № 4. — 1995. — Pp. 81—86.
167. Лаева Т. В. Сценарный анализ как основа стратегического планирования в организации // Менеджмент в России и за рубежом. – 2006. – №. 2. – С. 56-63.
168. Багриновский К. А., Егорова Н. Е. Имитационные системы в планировании экономических объектов. - М: Наука, 1980.
169. Altman E.I. Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy // Journal of Finance 22, 1968.
170. Новоселов А. А. Математическое моделирование финансовых рисков. Теория измерения. — Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН. — 2001. — 102 с.

171. Бородин А. И., Кулакова И. С. Математическое моделирование процессов финансовой устойчивости предприятия в условиях рисков //Журнал исследований социальной политики. – 2013.
172. Макеева Е. Ю., Бакурова А. О. Прогнозирование банкротства компаний нефтегазового сектора с использованием нейросетей //Законодательство и экономика. – 2013. – №. 5. – С. 55-61.
173. Зубарева В.Д., Мурадов Д.А. Анализ использования различных подходов к оценке степени банкротства компании. // Нефть Газ и Бизнес. 2006, №7. – С. 35–39.
174. Smith, Clifford W., Jr., and Warner, Jerold B. "On Financial Contracting: An Analysis of Bond Covenants." *Journal of Financial Economics* 7 (June 1979): 117-61.
175. Hart O., Moore J. Default and renegotiation: A dynamic model of debt. – National Bureau of Economic Research, 1997. – №. w5907.
176. CHEN G., ZHOU J. A Research on Enterprise Debt Structure—A Theoretical Analysis Based on Agency Cost [J] //The Study of Finance and Economics. – 2004. – Т. 2. – С. 007.
177. Yun S. et al. Capital structure optimization for build-operate-transfer (BOT) projects using a stochastic and multi-objective approach //Canadian Journal of Civil Engineering. – 2009. – Т. 36. – №. 5. – С. 777-790.
178. von Thadden E. L., Berglöf E., Roland G. The design of corporate debt structure and bankruptcy //Review of Financial Studies. – 2010. – С. hhq019.
179. Barclay M. J., Smith C. W. The maturity structure of corporate debt //the Journal of Finance. – 1995. – Т. 50. – №. 2. – С. 609-631.

180. Brick I. E., Ravid S. A. Interest rate uncertainty and the optimal debt maturity structure //Journal of Financial and Quantitative Analysis. – 1991. – Т. 26. – №. 01. – С. 63-81.
181. Diamond D. W. Debt maturity structure and liquidity risk //The Quarterly Journal of Economics. – 1991. – С. 709-737.
182. Bolton P., Scharfstein D. S. Optimal debt structure and the number of creditors //Journal of Political Economy. – 1996. – С. 1-25.
183. Bolton P., Scharfstein D. S. Optimal debt structure with multiple creditors. – European Science Foundation Network in Financial Markets, c/o CEPR, 77 Bastwick Street, London EC1V 3PZ, 1993. – №. 0032.
184. Kataoka S., “On a Stochastic Programming Model”, *Econometrica*, 31 (1963), 181–196.
185. Dupačová J., “Portfolio Optimization via Stochastic Programming: Method of Output Analysis”, *Math. Meth. Oper. Res.*, 50 (1999), 245–270.
186. Григорьев П.В, Ю. С. Кан “Оптимальное управление по квантильному критерию портфелем ценных бумаг” *Автоматика и телемеханика*, 2004, вып. 2, 179–197.
187. Taleb N. N. *The Black Swan:: The Impact of the Highly Improbable Fragility.* – Random House LLC, 2010.
188. Anankina Elena, “S&P view on the Russian Oil and Gas Industry”, June 2014.
189. Курс математического анализа в трёх томах Автор: Кудрявцев Л.Д. Издательство: Высшая школа, М. Год: 1981.
190. Булинский А. В., Ширяев А. Н. Теория случайных процессов //М.: Физматлит. – 2003. – Т. 399

Приложение 1. Акт о внедрении результатов диссертации в ОАО
«РуссНефть»


ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
НЕФТЕГАЗОВАЯ КОМПАНИЯ
«РУССНЕФТЬ»
(ОАО НК «РуссНефть»)
115054, Россия, Москва, ул. Патницкая, д. 69
Тел.: (495) 411-63-09, факс: (495) 411-63-25
E-mail: russneft@russianoil.ru
от 23.03.15 № 12-1774
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ:

Вице-президент по финансам ОАО
НК «РуссНефть»



Д.В. Устинов

2015

А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Коротина Владимира Юрьевича

Комиссия в составе: председатель – А.М. Ульченков, Директор департамента корпоративных финансов ОАО «НК «РуссНефть», А.А.Сметанин, начальник Отдела управления рисками и страхования ОАО «НК «РуссНефть», И.В.Стрельбицкая, начальник Отдела внутригруппового финансирования ОАО «НК «РуссНефть», Е.О. Никитина, Старший менеджер ОАО «НК «РуссНефть», составила настоящий акт о том, что алгоритмы и методики моделирования финансовой деятельности и анализа рисков, разработанные В.Ю. Коротиним в рамках диссертационной работы «Математическое моделирование финансово-экономической деятельности нефтяной компании в условиях неопределенности параметров модели», внедрены и используются в деятельности компании ОАО «НК «РуссНефть», что отражено в приказе №12 от 12.03.2012 г. об утверждении «Политики управления рисками ОАО НК «РуссНефть» и «Методики описания и оценки рисков», приказе №87 от 22.11.2012 «Об утверждении финансовой Политики».

Председатель комиссии

Члены комиссии:



А.М. Ульченков

А.А. Сметанин

И.В. Стрельбицкая

к.э.н. Е.О. Никитина

Приложение 2. Акт о внедрении результатов диссертации в ИФТИ



ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИКИ
142281, Московская обл, Протвино, Заводской проезд 6, ИНН 5037002412



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИФТИ по науке

Слободюк Е.А.

23» марта 2015 г.

Акт №2303/01-к

об использовании результатов кандидатской диссертационной работы Коротина Владимира Юрьевича

Экспертная комиссия в составе:

Карпенко А.С. — директор по экономике и финансам, председатель комиссии

Борисов Т.Н. — главный научный сотрудник, д.т.н., член комиссии

Азарова А.П. — главный бухгалтер, член комиссии

Экспертная комиссия Института физико-технической информатики рассмотрела результаты практического использования диссертационного исследования Коротина В.Ю. по теме «Математическое моделирование финансово-экономической деятельности нефтяной компании в условиях неопределенности параметров модели» по вопросу разработки методов, алгоритмов, структур данных и программных средств и установила следующее:

1. Положение, разработки и научно-практические рекомендации кандидатской диссертации использованы в проекте «Программно-аппаратный комплекс для анализа многомерных данных с использованием визуальной аналитики, виртуального окружения и современных инструментов взаимодействия человека с компьютером», поддержанном грантом РФФИ 14-07-00362. Разработанный комплекс алгоритмов и программ внедрен для демонстраций на действующей установке виртуального окружения.
2. Практическое внедрение научных результатов по теме диссертации осуществлялось Коротиним В.Ю. под научным руководством Борисова Т.Н., д.т.н.
3. Комиссия отмечает целесообразность использования положений, разработок и практических рекомендаций кандидатской диссертации Коротина В.Ю. при разработке приложений программно-аппаратных комплексов для анализа многомерных данных, систем моделирования и визуальной аналитики.

Председатель комиссии

Член комиссии

Член комиссии

А.С. Карпенко

Т.Н. Борисов

А.П. Азарова

Приложение 3. Акт о внедрении результатов диссертации в МЦЯБ



Международный Центр по Ядерной Безопасности
(МЦЯБ)

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель директора
АНО МЦЯБ, д.т.н.



Буторин С.Л.

«24» марта 2015 г.

об использовании результатов кандидатской диссертационной работы Коротина Владимира Юрьевича

Экспертная комиссия в составе:

- Денисов И.Н. - заместитель директора АНО МЦЯБ, к.т.н., председатель комиссии
- Дмитриев А.В. - старший научный сотрудник, к.т.н., член комиссии
- Цыкало В.А. - старший научный сотрудник, член комиссии.

Экспертная комиссия АНО МЦЯБ рассмотрела результаты практического использования исследования Коротина В.Ю. по теме «Математическое моделирование финансово-экономической деятельности нефтяной компании в условиях неопределенности параметров модели» и установила следующее:

1. Результаты разработки и научно-практические рекомендации диссертации использованы при разработке методических руководств по выполнению задач в рамках вероятностного анализа безопасности уровней 1 и 2 для всех эксплуатационных состояний и категорий инициирующих событий энергоблоков АЭС с РБМК-1000 (договор № 2008/4.1.1.1.2.4/30811 (33-08))
2. Практическое внедрение научных результатов по теме диссертации осуществлялось Коротиним В.Ю. под научным руководством Исламова Р.Т., д.ф.-м.н.
3. Комиссия отмечает целесообразность использования положений, разработок и практических рекомендаций кандидатской диссертации Коротина В.Ю. при выполнении анализа неопределенности параметров модели.

Председатель комиссии

И.Н.Денисов

Член комиссии

А.В.Дмитриев

Член комиссии

В.А.Цыкало