

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Яремчук Антон Владимирович

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПОРТФЕЛЕМ
ЦЕННЫХ БУМАГ НА ОСНОВЕ СЦЕНАРНОГО ПОДХОДА К
ПРОГНОЗИРОВАНИЮ**

Специальность 08.00.13 – Математические и инструментальные
методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата экономических наук

Санкт-Петербург

2011

Диссертационная работа выполнена на кафедре Информационных систем в экономике экономического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

Научный
руководитель: доктор экономических наук, доцент
Халин Владимир Георгиевич
Кафедра информационных систем в экономике
Санкт-Петербургский государственный университет

Официальные
оппоненты: доктор экономических наук, профессор
Емельянов Александр Анатольевич
Московский финансово-промышленный университет
«Синергия»

доктор экономических наук
Звягинцев Александр Иванович
ЗАО «УК «Норд-Вест Капитал»

Ведущая
организация: Всероссийский научно-исследовательский институт проблем
вычислительной техники и информатизации (ВНИИ ПВТИ),
Москва

Защита состоится «___» _____ 2011 г. в 16-00 часов на заседании Совета Д
212.232.34 по защите докторских и кандидатских диссертаций при Санкт-
Петербургском государственном университете по адресу: 191123, Санкт-Петербург,
ул. Чайковского д. 62, ауд. 415

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского
государственного университета.

Автореферат разослан «___» _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
Кандидат экономических наук

В.И. Капусткин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. На сегодняшний день инвестирование в инструменты российского рынка ценных бумаг становится все более распространенным способом сохранения и преумножения капитала. Однако эти действия сопряжены с рисками, реализация которых может свести на нет ожидаемый эффект.

На протяжении двух последних десятилетий широкое распространение получили подходы, модели и методы, позволяющие в той или иной степени учитывать влияние сопутствующих рисков через их количественную оценку и прогнозировать изменение цен активов. Такие возможности предоставляют: методы стохастической финансовой математики, нейронные сети, регрессионный анализ, технический анализ, методы сценарного прогнозирования и другие.

Методы стохастической финансовой математики позволяют решать задачи, связанные с оценкой и вычислением рисков инвестиционного портфеля. Стохастический подход предполагает построение модели описывающей динамику изменения рыночных цен активов, даёт набор инструментов для оценки параметров и позволяет описывать цены и риски срочных контрактов. Основные недостатки методов, разрабатываемых в рамках данного подхода – в их математической сложности и недостаточной адекватности описания инструментов инвестирования, относящихся к разным сегментам рынка, совместного поведения цен инструментов.

К основным достоинствам подхода, основанного на нейронных сетях, следует отнести возможность самообучения, позволяющую учитывать нелинейные зависимости между переменными, давать на выходе конкретный прогноз при неизвестных базовых закономерностях между входными и выходными данными. Основным недостатком методов, основанных на нейронных сетях, является невозможность учитывать ситуации, не предусмотренные разработчиком.

Методы, основанные на регрессионном анализе, дают возможность получить прогноз и оценить его качество. Кроме этого можно установить форму и характер зависимости между входными данными и результатом. Основными недостатками данных методов прогноза цен на активы следует считать недостаточную устойчивость к изменениям входной информации, сложности, связанные с построением регрессионной модели, а также высокую чувствительность к модели распределения шума.

Основным достоинством методов технического анализа является простота интерпретации полученных результатов. К основным недостаткам можно отнести их эвристический характер и отсутствие возможности количественной оценки рисков. Предполагается, что эти методы работают хорошо потому, что их использует большое количество участников торгов.

В современных условиях, когда резко возрастает роль рисков, не только принадлежащих самой природе экономических явлений или событий, но и неопределённостям, сопутствующим этим явлениям и событиям, возникает необходимость классификации, оценки, учета и контроля рисков. Именно поэтому все чаще объектом изучения и построения становятся различные сценарии развития событий и процессов, реализация которых связана как с самими рисками, так и с вероятностью их реализации. Переход на сценарное мышление обуславливает потребность в методах и моделях, позволяющих осуществлять сценарное и ситуационное прогнозирование. Метод сценарного прогнозирования (сценарный анализ) — есть метод мониторинга и управления рисками, основанный на моделировании возможных ситуаций и построении вероятностного прогноза при помощи определенного математического аппарата с последующей количественной оценкой рисков.

Перспективным методом прогнозирования цен на финансовые активы на современном этапе представляется метод сценарного анализа с построением деревьев, так как он в полной мере позволяет учесть всевозможные тенденции, просчитать последовательности вариантов принятия различных решений и оценить сопутствующие риски. Вместе с тем, при принятии инвестиционных и управленческих решений достаточную значимость имеют экспертные оценки.

Совершенствование процесса поддержки принятия решений при управлении портфелем ценных бумаг предполагает разработку методов и моделей, способствующих созданию эффективного инструмента для управления рисками. Создание такого инструмента позволит оптимизировать процесс управления портфелем ценных бумаг, что определяет актуальность выбранной темы и задачи диссертационного исследования — разработать модели, методы и алгоритмы поддержки принятия решений при управлении портфелем ценных бумаг на основе сценарного подхода к прогнозированию цен на финансовые активы.

Степень разработанности задачи исследования. Теоретическим и практическим вопросам инвестирования на финансовых рынках, прогнозирования цен на финансовые ресурсы, использования различных методов построения прогноза посвящены работы зарубежных и отечественных исследователей, среди них: У. Шарп, Г. Александер, Д. Бейли, Ф. Блэк, А.А. Лобанов, А.В. Чугунов, Д. Швагер Л. Галиц, Е. Дерман, В. Той.

Сопутствующий аппарат теории вероятностей с необходимыми приложениями описан в работах В.Ю. Королёва, В.Е. Бенинга и С.Я. Шоргина. Вопросы статистического анализа финансовых и экономических временных рядов, с использованием статистических пакетов, подробно изложены в книгах Ю.Н. Тюрина и А.А. Макарова. Основы стохастической финансовой математики, аспекты её применимости для анализа рынка ценных бумаг рассмотрены в работах Р. Мертона, А.Н. Ширяева и О.В. Русакова.

Методы сценарного и имитационного моделирования, в том числе для анализа рисков недополучения прибыли при реализации экономических проектов, рассматривались в трудах А.А. Емельянова, В.Е. Лихтенштейна и Г.В. Росса. Вопросы сценарного прогнозирования и расчета вероятностей реализации различных вариантов событий на основании нечисловой, неполной и неточной информации в полной мере описаны в трудах Н.В. Хованова.

Следует отметить, что практически отсутствуют исследования, посвященные разработке методов и алгоритмов поддержки принятия решений при управлении портфелем ценных бумаг на основе сценарного подхода к прогнозированию.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является разработка и реализация в рамках сценарного прогнозирования моделей, методов и алгоритмов, направленных на поддержку принятия решений по формированию и управлению инвестиционным портфелем как юридического, так и физического лица.

Для достижения указанной цели сформулированы и решены следующие задачи:

- 1) показать взаимосвязь процесса управления портфелем ценных бумаг и современного аппарата теории вероятностей в области сценарного прогнозирования;
- 2) осуществить отбор активов для формирования модельного портфеля, взвешенного с учетом отношения «доходность»/«риск»;

- 3) построить бинарные многошаговые и тринарные деревья для расчета прогнозов и риск-характеристик;
- 4) разработать метод оценки стоимости рисков недополучения прибыли портфеля на основе теории биржевых опционов;
- 5) провести верификацию, калибровку и стресс-тестирование полученной модели;
- 6) установить соответствие логарифма цены портфеля модельным процессам стохастических финансов;
- 7) разработать алгоритм поддержки принятия решений при управлении портфелем ценных бумаг.

Предмет и объект исследования.

Объектом исследования является рынок ценных бумаг Российской Федерации.

Предметом исследования являются процессы формирования, мониторинга рисков и управления инвестиционным портфелем на современном фондовом рынке России.

Методологическая, теоретическая и эмпирическая базы исследования.

Методология исследования базируется на методах анализа макроэкономических показателей, работе с историческими данными, методах построения риск-параметров и стохастического моделирования и статистического анализа временных рядов.

Теоретическую основу исследования составили научные труды отечественных и зарубежных авторов, посвященные вопросам анализа макроэкономических показателей многомерного статистического анализа финансовых временных рядов, стохастического анализа, методов и моделей для производных ценных бумаг.

Эмпирическую базу исследования составили биржевые данные Российского фондового рынка из открытых источников.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке новых методов и моделей для обоснования комплексного экономико-математического и алгоритмического обеспечения процесса формирования, мониторинга и управления портфелем ценных бумаг, построенных на основе сценарного подхода к прогнозированию.

Наиболее существенные новые научные результаты, полученные лично соискателем и выносимые на защиту.

1. Предложен набор критериев, позволяющих сформировать портфель, взвешенный с учетом отношения «доходность/риск» и опережающий по доходности индекс широкого рынка. Отличительная особенность предложенного подхода заключается в том, что помимо стандартных коэффициентов типа Шарпа и Сортино, отражающих отношение «доходность/риск», рассматриваются коэффициенты, в которых помимо среднеквадратичной формы придания риску численного значения используются «угловые» функции потерь и применяются квантильные методы (основанные на VAR) придания риску численного значения. Обоснованы, введены и формализованы новые отношения «информативность/риск» и «доходность/информативность», позволяющие численно измерять предсказуемость портфеля и соотносить данную предсказуемость с риском и доходностью.

2. Разработаны алгоритмы статистической обработки исторических временных рядов, основанные на построении сценариев динамики изменения цены инвестиционного портфеля в виде марковского дерева, снабженного переходными вероятностями. Особенность предложенного алгоритма заключается в том, что для построения сценариев применен метод последовательных скользящих окон, которые вкладываются в многомерное евклидово пространство. Данное вложение, путём построения необходимых разбиений, анализа условных распределений и вычисления характеристик их средних значений, позволяет строить многошаговые деревья сценариев. Используются как параметрические, так и непараметрические методы усреднения.

3. Разработан метод оценки риска недополучения прибыли инвестиционного портфеля на основе построенного бинарного сценарного прогноза, позволяющий оценить дополнительный доход или потери портфеля. Новизна метода заключается в единственности оценки риска, которая получается усреднением функции выплат типа «функций выплат по стандартным европейским опционам покупателя / продавца». Риск недополучения прибыли, основанный на функции выплат для «стандартного европейского опциона покупателя», показывает, какая доля стоимости портфеля в текущий момент соответствует стоимости дополнительной прибыли относительно риск-нейтральной ставки. Риск недополучения прибыли, основанный на функции выплат для «стандартного европейского опциона продавца», показывает, какая доля

стоимости портфеля в текущий момент соответствует стоимости компенсации потерь в случае, если прибыль по портфелю оказалась ниже риск-нейтральной ставки.

4. Предложен устойчивый, относительно случайных выбросов, способ верификации метода и верификации прогноза на основе выборочной медианы. Отличительной особенностью метода является то, что для решения проблемы верификации предложено проводить усреднения в скользящих окнах медианой, которая даёт точное значение вероятностей каждого из сценариев, равное $\frac{1}{2}$. Если сценарий подъёма реализовался практически в половине случаев, то сценарный прогноз считается верифицированным. Пользователь выбирает параметры скользящего окна с целью максимизировать уровень верификации, затем запускает процедуру построения прогноза на основе одного из предлагаемых операторов усреднения, в первую очередь, — выборочного среднего. Прогноз верифицируется на основе верификации метода. Таким образом, верификация метода, основанная на медиане, дополнительно даёт инструмент калибровки параметров прогноза.

5. Установлено соответствие поведения логарифма цены портфеля поведению процесса Орнштейна-Уленбека (ОУ) и построен статистический тест на согласие исследуемого портфеля процессу ОУ. Применён метод обобщения гауссовского процесса ОУ на случай «свободный от распределения», при котором процесс остаётся стационарным, а его ковариация убывает с показательной скоростью. На основе полученного согласования строятся точечные и траекторные прогнозы портфеля, оцениваются риски прогнозов. Полученное согласие с процессом ОУ вместе с оценкой распределения позволяет строить множественные сценарии динамики портфеля на заранее определённый срок. Особенность теста заключается в возможности оценивания параметра «вязкости» процесса ОУ — величины скорости экспоненциального убывания ковариации.

6. Разработан алгоритм поддержки принятия решений при управлении портфелем ценных бумаг, основанный на совокупности информационно-аналитических методов, разработанных в рамках диссертационного исследования. Данный алгоритм позволяет анализировать информационные потоки, планировать управление портфелем и оптимизировать риски, а также состав активов.

Обоснованность и достоверность результатов исследования.

Обоснованность результатов, выносимых на защиту, обеспечена применением научной методологии, использованием результатов стохастической финансовой математики, эконометрики, и теории вероятностей.

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием реальных данных с фондовых бирж (в том числе с использованием информационного терминала Bloomberg) и теоретической обоснованностью методов их обработки.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость диссертации состоит в разработке методов построения многошаговых сценарных прогнозов при управлении портфелем ценных бумаг и создании методологической базы для дальнейших исследований.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности их применения как физическими, так и юридическими лицами при управлении портфелями ценных бумаг, что позволит:

- получить сценарный прогноз изменения цены актива / портфеля;
- снизить потенциальные убытки при управлении портфелем ценных бумаг;
- рассчитать сопутствующие риск-параметры и переформировать портфель для достижения оптимального соотношения риск-характеристик;
- рассчитать стоимость риска недополучения прибыли и принять решение о целесообразности выбора того или иного состава портфеля;
- способствовать принятию взвешенных управленческих решений.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности.

Диссертация и научные результаты, выносимые на защиту, соответствуют Паспорту специальности 08.00.13 – «Математические и инструментальные методы экономики»: пункту 1.6. «Математический анализ и моделирование процессов в финансовом секторе экономики, развитие метода финансовой математики и актуарных расчетов» соответствуют пункты 2, 3, 5 научных результатов; пункту 2.3. «Разработка систем поддержки принятия решений для рационализации организационных структур и оптимизации управления экономикой на всех уровнях» соответствуют пункты 1 и 6 научных результатов.

Апробация и реализация результатов исследования.

Апробация. Результаты диссертации доложены на ряде международных научных конференций и научных семинаров, среди них:

- международная научная конференция «Мировой экономической кризис и Россия: причины, последствия, пути преодоления». – Санкт-Петербург, 2009;
- XV международная конференция молодых ученых-экономистов «Предпринимательство и реформы в России» – Санкт-Петербург, 2009;
- межкафедральный научный семинар экономического факультета СПбГУ – Санкт-Петербург, 2010, 2011.

Реализация результатов. Результаты диссертационной работы внедрены в деятельность одной из компаний, управляющей финансовыми активами, а также в учебные процессы ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет» и ФГБОУ ВПО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ» при преподавании дисциплин «Практические инструменты работы на рынке ценных бумаг» и «Анализ инструментов фондового рынка».

Публикации. По теме исследования опубликовано 5 печатных работ общим авторским объемом 1,03 п.л., в том числе в изданиях, рекомендуемых ВАК для публикаций результатов диссертационных исследований, — 2 работы авторским объемом 0,73 п.л.

Объём и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы (115 наименований), 3 приложений, 4 таблиц и 18 рисунков. Общий объем работы составляет 139 страниц (Таблица 1).

Таблица 1 – Структура и объём диссертации

Главы	Параграфы
Введение (11 с.)	
Глава 1. Портфель ценных бумаг. Теория и практика (37 с.)	1.1. Принципы, методы и стратегии управления портфелем ценных бумаг.
	1.2. Мониторинг инвестиционных рисков при формировании и управлении портфелем ценных бумаг.
	1.3. Применение фундаментального и технического анализа

	1.4. Методы оценки качества управления портфелем ценных бумаг на основе анализа исторических данных.
Глава 2. Методы формализации риск-характеристик портфеля и внешней среды (25 с.)	<p>2.1. Измерение риска и подходы к алгоритмизации вычислений риск-характеристик. Отношения «информативность/риск» и «доходность/информативность».</p> <p>2.2. Разработка методов формализации рисков на основе использования аппарата деревьев.</p> <p>2.3. Модели формализации зависимостей между предметами и факторами риска.</p> <p>2.4. Методы построения деревьев динамики портфеля, основанные на модели процесса Орнштейна-Уленбека.</p>
Глава 3. Применение информационно-аналитических методов и алгоритмов для сценарного прогнозирования при управлении портфелем ценных бумаг (26 с.)	<p>3.1. Алгоритмы построения одношаговых сценарных прогнозов.</p> <p>3.2. Метод оценивания риска недополучения прибыли на основе рациональной цены опциона для бинарного одношагового дерева.</p> <p>3.3. Алгоритмы построения двухшагового сценарного прогноза.</p> <p>3.4. Задача верификации сценарного прогноза и её решение через верификацию метода.</p> <p>3.5. Проверка соответствия поведения логарифма цены портфеля модели процесса Орнштейна-Уленбека.</p> <p>3.6. Алгоритмы построения точечных и множественных сценарных прогнозов и оценка их рисков на основе согласия с модельным процессом Орнштейна-Уленбека, свободным от распределения.</p> <p>3.7. Разработка прототипа системы поддержки принятия решений. Оценка результатов внедрения.</p>
Заключение (3 с.)	
Литература (9 с.)	
Приложение (28 с.)	

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Критерии формирования портфеля. Формализация отношений «информативность/риск» и «доходность/информативность». Проводя предварительный фундаментальный анализ, необходимо отметить, что в настоящий момент перед мировой экономикой стоят серьезные вызовы (преддефолтное состояние некоторых европейских государств, новые пузыри, слабая макроэкономическая статистика). На этом фоне, сценарный подход к прогнозированию цен приобретает все большую актуальность, так как потенциально помогает снизить возможный ущерб при наступлении неблагоприятных событий.

Основные критерии составления портфеля в текущей рыночной ситуации:

- 1) абсолютная ликвидность позиции;
- 2) диверсификация по всем типам рынков;
- 3) квазигосударственный статус эмитента (для акций; для снижения политических рисков);
- 4) использование инструментов хеджирования;
- 5) отсутствие риска ликвидности (комфортное управление портфелем до 100 млн. долл. при равномерном распределении по долям).

На основе данных критериев предлагается выбрать в равных пропорциях следующие активы:

- акции: Газпром, Лукойл, Сбербанк, ГМК Норильский Никель, МТС;
- облигации UST-10;
- сырье: Нефть марки Brent;
- металлы: Медь, Золото;
- фьючерс на индекс S&P-500.

На рисунке 1 представлены графики доходности составленного портфеля (1) и индекса S&P-500 (2) за период с 25.09.2007 по 10.06.2010. Видно, что имеет место тенденция опережающей динамики портфеля по сравнению с индексом S&P-500.

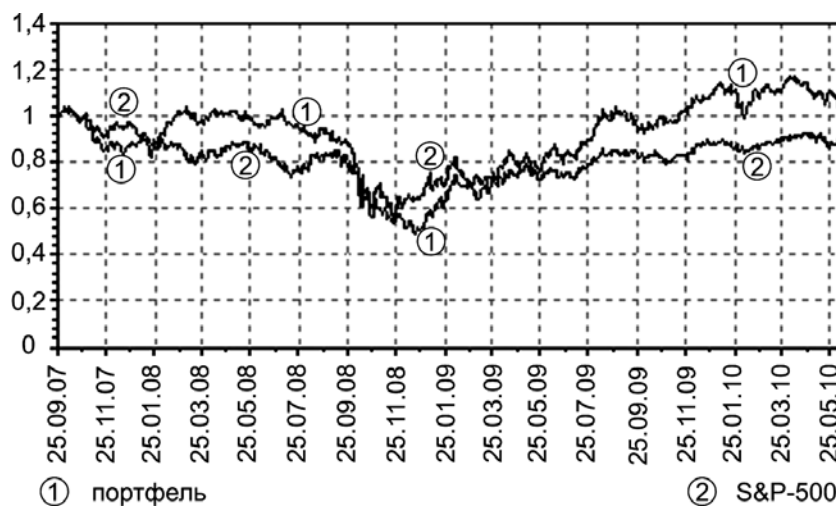


Рисунок 1 – сравнение доходности портфеля и доходности индекса S&P-500

В таблице 2 представлены значения доходности рассматриваемого портфеля и индекса S&P-500, а также среднеквадратичное отклонение доходностей портфеля и индекса.

Таблица 2 – сравнение доходности портфеля и индекса S&P-500

Период	25.09.2007 – 10.06.2010
Доходность портфеля	5.95%
Доходность индекса	-10.66%
СКО	1.62%

Исходя из представленных данных, видно, что портфель инструментов, составленный в рамках предложенных критериев, показывает доходность выше, чем доходность индекса S&P-500.

Классический коэффициент баланса: отношение «доходность/риск» — в инженерной терминологии «сигнал/шум», в терминологии теории управления финансовыми рисками (Риск Менеджмент) — коэффициент Шарпа:

$$\text{Sharp Ratio} = \frac{R}{\sigma}. \tag{1}$$

В коэффициенте Шарпа рассматривается корень из дисперсии — квадратичный риск, вычисленный усреднением квадратичной функции потерь. Классические коэффициенты риска — это вариации коэффициента Шарпа, связанные с рассмотрением различных доходностей и различных способов описания динамики.

Актуальность модификаций и обобщений коэффициента Шарпа определяется использованием более устойчивых к выбросам характеристик распределений, нежели стандартное отклонение и аппроксимацией более простыми распределениями.

Так как шум (в смысле ошибки прогноза, в том числе, и сценарного) может быть определён моделью и описан с большей или меньшей точностью, то автором предлагаются следующие вариации группы коэффициентов «сигнал/шум»:

$$\text{«Доходность/информативность»} = \frac{R}{\sigma_{\text{прогноза}}}, \quad (2)$$

$$\text{«Информативность/риск»} = \frac{\sigma_{\text{прогноза}}}{\sigma_{\text{портфеля}}}. \quad (3)$$

«Информативность» отражает соответствие аппроксимации или модельного распределения распределению реального шума.

2. Построение двухшагового сценарного прогноза с помощью метода многомерных окон. Используются последовательные скользящие окна путем применения прямого произведения множеств, представляемые в виде прямоугольников. Множество значений, пробегающее первое окно, условно обозначается через X , а множество значений, пробегающее второе окно, — через Y . Значения для первого шага сценариев получаются усреднением по координате X наблюдений по областям разграниченным средним значением \bar{X} , а вероятности — отношением значений считающей меры каждой из этой области к количеству пар в двух окнах N .

Значения и вероятности на втором шаге сценариев получаются по следующим формальным формулам:

$$Z_{D|D} = \frac{\sum_{j=1}^N Y_j \cdot \mathbf{I}\left(Y_j < \bar{Y}_j, X_j < \bar{X}\right)}{\sum_{j=1}^N \mathbf{I}\left(Y_j < \bar{Y}_j, X_j < \bar{X}\right)}, \quad (4)$$

$$Z_{U|D} = \frac{\sum_{j=1}^N Y_j \cdot \mathbf{I}\left(Y_j \geq \bar{Y}_j, X_j < \bar{X}\right)}{\sum_{j=1}^N \mathbf{I}\left(Y_j \geq \bar{Y}_j, X_j < \bar{X}\right)}, \quad (5)$$

$$Z_{U|U} = \frac{\sum_{j=1}^N Y_j \cdot \mathbf{I}\left(Y_j \geq \bar{Y}_j, X_j \geq \bar{X}\right)}{\sum_{j=1}^N \mathbf{I}\left(Y_j \geq \bar{Y}_j, X_j \geq \bar{X}\right)}, \quad (6)$$

$$Z_{D|U} = \frac{\sum_{j=1}^N Y_j \cdot \mathbf{I}\left(Y_j < \bar{Y}_j, X_j \geq \bar{X}\right)}{\sum_{j=1}^N \mathbf{I}\left(Y_j < \bar{Y}_j, X_j \geq \bar{X}\right)}. \quad (7)$$

Здесь $\mathbf{I}(A)$ обозначает индикаторную функцию события A . Выражения с чертой наверху обозначают усреднённые значения, взятые по соответствующим выборкам.

Условные вероятности сценариев определяются как условные эмпирические вероятности попадания в каждый из четырёх прямоугольников, при условии попадания в левый и правый прямоугольники, соответственно.

$$Pr(Down | Down) = \frac{\sum_{j=1}^N Y_j \cdot \mathbf{I}\left(Y_j < \bar{Y}_j, X_j < \bar{X}\right)}{\sum_{j=1}^N \mathbf{I}\left(X_j < \bar{X}\right)}, \quad (8)$$

$$Pr(Up | Down) = \frac{\sum_{j=1}^N Y_j \cdot \mathbf{I}\left(Y_j \geq \bar{Y}_j, X_j < \bar{X}\right)}{\sum_{j=1}^N \mathbf{I}\left(X_j < \bar{X}\right)}, \quad (9)$$

$$Pr(Up | Up) = \frac{\sum_{j=1}^N Y_j \cdot \mathbf{I}\left(Y_j \geq \bar{Y}_j, X_j \geq \bar{X}\right)}{\sum_{j=1}^N \mathbf{I}\left(X_j \geq \bar{X}\right)}, \quad (10)$$

$$Pr(Down | Up) = \frac{\sum_{j=1}^N Y_j \cdot \mathbf{I}\left(Y_j < \bar{Y}_j, X_j \geq \bar{X}\right)}{\sum_{j=1}^N \mathbf{I}\left(X_j \geq \bar{X}\right)}. \quad (11)$$

Безусловные вероятности сценариев по двум последовательным шагам получаются по формуле полной вероятности.

3. Метод расчета цены риска недополучения прибыли портфеля. Зададим некоторый интервал J спектра значений наблюдений (X_j) . Пусть наблюдение с минимальным значением, попавшее в интервал J , есть $\underline{X} = X_{(m(J))}$, а наблюдение с максимальным значением, попавшее в интервал J , есть $\overline{X} = X_{(M(J))}$. Обозначим мощность интервала J , то есть количество наблюдений, попавших в данный интервал, как $L = L(J) = \#(J) = M(J) - m(J) + 1$, где знак $\#$ обозначает мощность множества. Тогда основные статистические характеристики эмпирического распределения, построенного по наблюдениям, попавшим в интервал J , вычисляются по стандартным формулам:

$$\bar{X}_J = \frac{1}{L} \sum_{i=m(J)}^{M(J)} X_{(i)} \quad \text{— для выборочного среднего;} \quad (12)$$

$$S_J^2 = \frac{1}{L} \sum_{i=m(J)}^{M(J)} \left(X_{(i)} - \bar{X}_J\right)^2 \quad \text{— для выборочной дисперсии.} \quad (13)$$

Вероятность интервала J определяется как значение эмпирической частоты $P(J) = \#(J)/\Theta$. (14)

Таким образом, для одношагового дерева сценариев имеем следующие характеристики:

- 1) прогнозируемое значение сценария есть \bar{X}_J (Mean);
- 2) среднеквадратичный риск отклонения сценария равен S_J (St.Dev);
- 3) вероятность реализации сценария равна $P(J)$ (Prob).

В таблице 3 представлены характеристики трех бинарных сценариев типа «оптимистический — пессимистический» (Up-Down) десятидневного прогноза:

- 1) для доходностей больше или меньше нуля;
- 2) для доходностей больше или меньше безрисковой ставки;
- 3) два равновероятных сценария.

Видно, что среднеквадратичные риски сценариев мало отличаются во всех трех случаях, и отклонение от прогнозируемого значения в пессимистическом случае примерно на 35% меньше. При этом, в первом случае мы наблюдаем максимальную разницу между вероятностями реализации событий Up и Down.

Таблица 3 – Характеристики бинарных сценариев

[X_MIN,0]		[X_MIN,Rf]		[X_MIN, Med]	
MEAN [Down]	-3,82%	MEAN [Down]	-3,62%	MEAN [Down]	-3,40%
ST_DEV [Down]	3,82%	ST_DEV [Down]	3,82%	ST_DEV [Down]	3,82%
PROB [Down]	44,81%	PROB [Down]	47,19%	PROB [Down]	50,00%
(0,X_MAX]		(Rf, X_MAX]		(2half, X_MAX]	
MEAN [Up]	3,59%	MEAN [Up]	3,75%	MEAN [Up]	3,94%
ST_DEV [Up]	2,87%	ST_DEV [Up]	2,84%	ST_DEV [Up]	2,80%
PROB [Up]	55,19%	PROB [Up]	52,81%	PROB [Up]	50,00%

Вычислим цену риска недополучения прибыли на примере рассматриваемого портфеля, опираясь на построенное бинарное дерево прогноза. Недополучение прибыли рассмотрим относительно риск-нейтральной ставки. Для этого будем

использовать данные из средней колонки таблицы 3. Цену риска мы возьмем равной цене стандартного европейского опциона покупателя (StEuC), вычисленной в модели одношагового бинарного дерева. Напомним, что StEuC опцион имеет функцию выплат $(S_T - K)_+$, где T — момент исполнения опциона, K — цена исполнения (strike), S_t — цена основного актива в момент времени t , $(a)_+ = \max\{0, a\}$. Рациональная цена опциона определяется как математическое ожидание от дисконтированной функции выплат, вычисленной по вероятностям, нейтральным относительно риска, а дисконтирование проводится по риск-нейтральной ставке. В качестве «пороговой» точки минимальной величины прибыли, то есть величины K , мы берем значение портфеля, который рос в соответствии с риск-нейтральной ставкой, рассчитанное на 10 дней вперед. После надлежащего дисконтирования на ту же риск-нейтральную ставку мы имеем функцию выплат $(S_l - S_0)_+$, где дисконтированная цена прогноза на лаг l вперед ($l = 10$ дням в нашем случае) по сценариям принимает два значения: S_0U и S_0D с соответствующими вероятностями осуществления оптимистического (Up) и пессимистического (Down) сценариев. В данном случае S_0 обозначает цену портфеля в последнюю дату наблюдений перед построением прогноза, а $U > 1$ и $D < 1$ — коэффициенты подъема и падения цены относительно риск-нейтральной ставки. Вероятности, нейтральные относительно риска, для дисконтированного случая вычисляются по формулам:

$$\tilde{p} = \frac{1 - D}{U - D}, \quad (15)$$

$$\tilde{q} = \frac{U - 1}{U - D}, \quad (16)$$

для случаев подъема и падения, соответственно.

Так как в нашем случае цена исполнения опциона лежит в пределах между верхними значениями сценария, то для искомой цены риска x используется формула:

$$x = \tilde{p}(S_0U - S_0) = (S_0U - S_0) \frac{1 - D}{U - D}. \quad (17)$$

Остается дисконтировать значения сценариев и вычислить величины U и D . Итоговую цену риска мы получим в виде x/S_0 , то есть в долях от последней известной цены портфеля. Для вычисления рациональной цены опциона физические (рыночные) вероятности событий не нужны, если они не нулевые.

В представленном примере риск-нейтральные вероятности получаются равными $\tilde{p} \cong 0,4887$ и $\tilde{q} \cong 0,5113$, а итоговая цена риска $x/S_0 \cong 1,75\%$. Таким образом, мы платим 1,75% от портфеля, для того, чтобы иметь возможность получить доходность по портфелю выше безрисковой ставки.

4. Способ верификации метода и верификации прогноза. Способ верификации метода и верификации прогноза основан на выборочной медиане. Так как основной прогноз в виде сценариев строится по историческим данным путем проведения усреднений по скользящим окнам, когда усреднения производятся выборочным средним, то вероятности сценариев и сами значения сценариев имеют переменные во времени значения. И так как бинарное сценарное прогнозирование не подразумевает точности, близкой к абсолютной, то встаёт проблема верификации.

Мы строим бинарный прогноз, в котором события Up и Down должны реализовываться ровно с 50% вероятностью. Построение осуществляется на основе вычисления выборочной медианы по скользящему окну.

Верификация метода производится по заранее определённом верификационному множеству, состоящему из исторических данных, стоящих в конце имеющегося ряда (обычно, 50-100 наблюдений). Пошагово проходим по верификационному множеству, каждый раз обновляя сценарный прогноз и вычисляя количество реализованных сценариев Up и Down. Качество прогноза вычисляется как мера отклонения доли реализованных прогнозов Up минус 50%.

5. Соответствие поведения логарифма цены портфеля процессу Орнштейна-Уленбека. Процесс Орнштейна-Уленбека (ОУ) определяется как стационарный, гауссовский, марковский процесс. На нём основывается современная теория математических моделей процентных ставок и стохастической волатильности. В данной диссертационной работе используется обобщение этого процесса на сохраняющий марковское свойство случай, «свободный от распределения», предложенное О.В. Русаковым¹. Данное обобщение позволяет сохранять следующее важное свойство процесса ОУ: свойство притягивания к среднему. Это свойство заключается в том, что траекторию процесса линейным образом, относительно зафиксированного значения, «стягивает» к среднему значению a :

¹ O.V. Rusakov Sums of Independent Poisson subordinators and their connection with strictly α -stable processes of Ornstein-Uhlenbeck type // Journal of Mathematical Sciences.- 2009.- Vol. 159, №3, p. 350-357

$$E(U_\lambda(t+s)|U_\lambda(s)=x) = x \exp(-\lambda t) + a, \quad t \geq 0, s \geq 0, x \in R. \quad (18)$$

Свойство притягивания к среднему позволяет строить точечные (траекторные) прогнозы, оптимальные с точки зрения квадратичных рисков прогноза.

Разработана процедура проверки исторических цен построенного портфеля обобщённой моделью процесса ОУ. Данная процедура основывается на свойстве притягивания к среднему.

При исследовании зависимости приращений логарифма цены от самого логарифма цены в программной среде «R» (глубина памяти – 600 наблюдений) получены значимые показатели коэффициента согласия R^2 (от 60% до 80%). На рисунке 2 крестиками обозначены условные (переходные) средние, которые «ложатся» на прямую линию, что и подтверждает соответствие поведения логарифма цены портфеля поведению процесса ОУ.

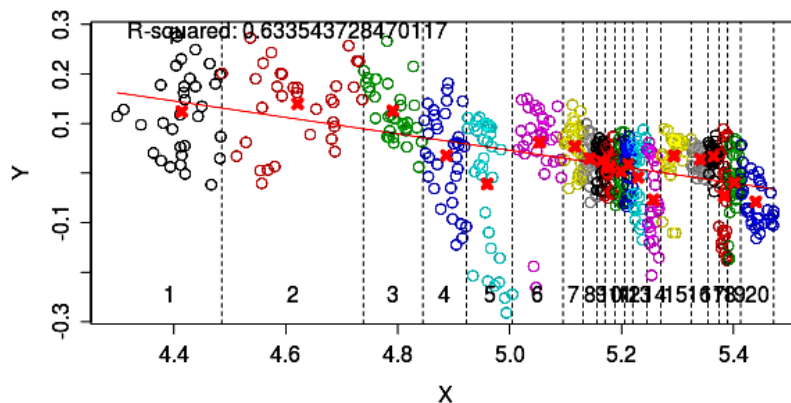


Рисунок 2 – Проверка на соответствие поведения логарифма цены процессу ОУ в среде «R»

6. Алгоритм поддержки принятия решений. Алгоритм предполагает использование всей совокупности информационно-аналитических методов поддержки принятия решений при управлении портфелем ценных бумаг, основанных на сценарном подходе к прогнозированию, разработанных в рамках диссертационного исследования.

Этапы алгоритма.

Этап 1. Выбор ценных бумаг:

1. Мониторинг информационных потоков.
2. Фундаментальный анализ отраслей и эмитентов.
3. Критерии, формирование портфеля.

Этап 2. Статистический анализ:

1. Расчет риск-параметров (в т.ч. собственных).
2. Подбор активов для получения взвешенных риск-характеристик.

Этап 3. Построение сценарного прогноза (принятие решения о покупке или продаже при вероятности перехода более 50% в том или ином направлении):

1. Построение одношагового прогноза.
2. Построение двухшагового прогноза.

Этап 4. Расчет риска недополучения прибыли:

1. Определение целесообразности инвестирования при текущем составе портфеля по сравнению с выбранным бенчмарком (индексом для сравнения, например – S&P-500).

Этап 5. Проверка на соответствие поведения логарифма цены портфеля процессу Орнштейна-Уленбека для построения точечных прогнозов.

На рисунке 3 изображена схематичная последовательность действий при использовании алгоритма в процессе управления портфелем ценных бумаг.

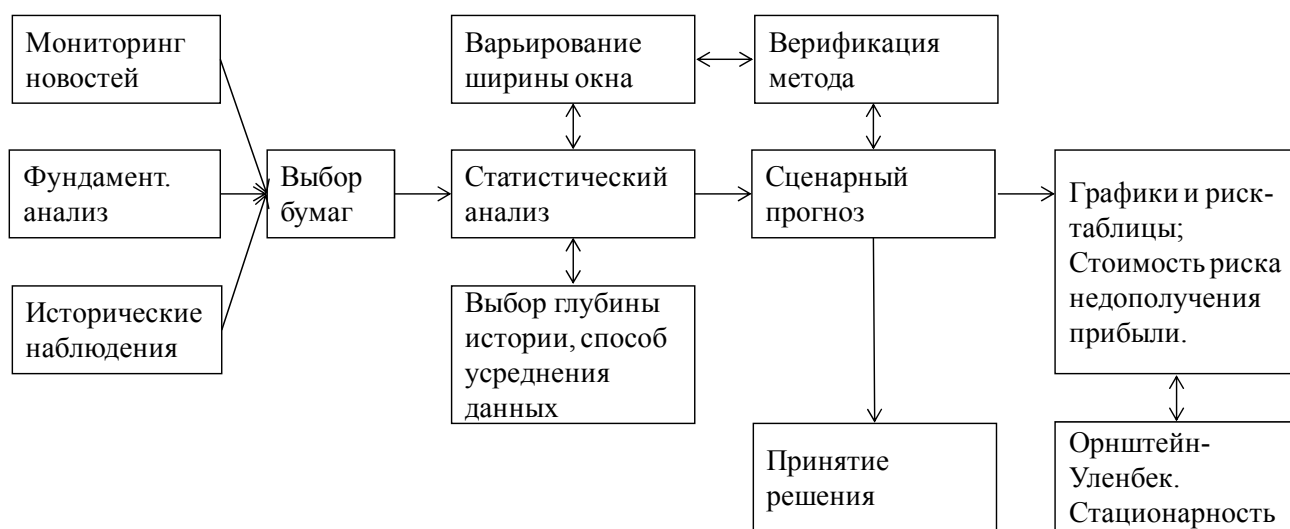


Рисунок 3 – Алгоритм поддержки принятия решений

Данный алгоритм позволяет анализировать информационные потоки, планировать управление портфелем и оптимизировать риски, а также состав активов. При этом применение информационно-аналитических методов, лежащих в основе алгоритма, способствует получению портфелем доходности, опережающей доходность фондового рынка.

Внедрение алгоритма поддержки принятия решений в деятельности одной из крупнейших компаний, управляющей финансовыми активами, позволило снизить

потенциальный убыток по сравнению с индексом ММВБ при управлении портфелем ценных бумаг за полугодовой период на 310 400 000 руб. (справка о внедрении имеется).

В заключении диссертации подводятся итоги исследования, приведены теоретические, методические и практические результаты работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования:

- 1) обоснована актуальность выбранной темы, обусловленная ее теоретической и практической значимостью;
- 2) введены и формализованы отношения «информативность/риск» и «доходность/информативность», позволяющие численно измерять предсказуемость портфеля и соотносить данную предсказуемость с риском и доходностью;
- 3) построены бинарные и множественные одношаговые, а также двухшаговые деревья прогноза;
- 4) разработана методика вычисления стоимости риска недополучения прибыли;
- 5) предложен устойчивый способ верификации метода и верификации прогноза;
- 6) установлено соответствие поведения логарифма цены портфеля поведению процесса Орнштейна-Уленбека;
- 7) предложен алгоритм поддержки принятия решений при управлении портфелем ценных бумаг;
- 8) результаты диссертационного исследования реализованы в деятельности одной из компаний, управляющей финансовыми активами.

СПИСОК РАБОТ, В КОТОРЫХ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. А.В. Яремчук. Информационные и вероятностно-статистические методы при формировании портфеля и его сценарном прогнозировании // РИСК, №1, 2011, стр. 651 – 655. – 0,36 п.л.

2. А.В. Яремчук. Сценарное прогнозирование стоимости инвестиционного портфеля и некоторые статистические методы мониторинга рисков // РИСК, №3, 2011, стр. 399 – 402. – 0,37 п.л.

В других изданиях:

3. А.В. Яремчук. Мировой финансовый кризис: причины, последствия, текущее состояние Российской экономики // Материалы международной научной конференции «Мировой экономический кризис и Россия: причины, последствия, пути преодоления». – Санкт-Петербург: Изд-во издательский центр экономического факультета СПбГУ, 2009. – С. 176-177. – 0,1 п.л.

4. А.В. Яремчук. Принципы и стратегия управления портфелем ценных бумаг в период кризиса ликвидности, кризиса доверия и девальвации // Материалы XV международной конференции молодых ученых-экономистов «Предпринимательство и реформы в России». – Санкт-Петербург: Изд-во издательский центр экономического факультета СПбГУ, 2009. – С. 240-241. – 0,1 п.л.

5. А.В. Яремчук. Риски, возникающие в связи с функционированием малых инновационных предприятий // Материалы международного управленческого форума «АТР-2011. Алтай. Точки роста» –<http://atrsib.ru/index.php/ru/materials/46-novostiatr/259-innovation>. – 0,1 п.л.