

На правах рукописи

**ДОБРИНА МАРИЯ ВАЛЕРЬЕВНА**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ  
БИНАРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ФОНДОВОГО РЫНКА**

**5.2.2. – Математические, статистические и инструментальные методы в  
экономике**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени кандидата  
экономических наук**

**Санкт-Петербург-2024**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет».

**Научный руководитель:** **Чернов Виктор Петрович**  
доктор экономических наук, профессор,

**Официальные оппоненты:** **Конюховский Павел Владимирович**  
доктор экономических наук, профессор,  
профессор кафедры отраслевой экономики и  
финансов, ФГБОУ ВО «Российский государственный  
педагогический университет им. А. И. Герцена»

**Колесов Дмитрий Николаевич**  
кандидат экономических наук, доцент,  
доцент кафедры экономической кибернетики,  
Санкт-Петербургский государственный университет

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки **«Центральный  
экономико-математический институт РАН»**

Защита диссертации состоится 3 июня 2024 года в 15-00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.386.09 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет» по адресу: 191023, Санкт-Петербург, наб.канала Грибоедова, д.30/32, лит. А., ауд. 3033.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <http://www.unecon.ru/dis-sovety> Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет».

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.2.386.09,  
кандидат экономических наук,

М.П. Декина

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертационного исследования.** Несмотря на высокий уровень риска и неопределенности, фондовый рынок был и остается инвестиционно привлекательным для инвесторов. Современная финансовая теория, как правило, способствует поддержанию развития фондового рынка практическими рекомендациями, в основе которых лежат доказанные математически элементы теории. Но даже если предположить, что реальные и потенциальные инвесторы следуют рекомендациям теории, им не удастся преодолеть естественную неопределенность фондового рынка и избежать рисков, скрывающихся за этой неопределенностью.

Идея Г. Марковица не устранить, а минимизировать риски была обнадеживающей, но, к сожалению, она могла быть реализована только на историческом периоде. Фактически, построенный на базе этой идеи портфель ценных бумаг можно рассматривать как инвестиционный портфель упущенных возможностей. Оптимальный на историческом промежутке времени портфель, чаще всего, теряет свою оптимальность на упреждающем промежутке времени.

У. Шарп в свою очередь предложил стратегию пассивного инвестирования, которая означает, что при получении новой информации не нужно пересматривать портфель ценных бумаг. В этих условиях отличительной характеристикой эффективного рынка является отсутствие возможности извлечения сверхдохода.

Подход Дж.Тобина к оценке уровня риска инвестиционного портфеля аналогичен вышеупомянутому подходу Марковица. Сокращение совокупного уровня риска портфеля ценных бумаг наблюдается при добавлении в анализируемый портфель разнонаправленных по динамике доходности ценных бумаг.

Альтернативный эффективному фрактальный рынок из-за отсутствия необходимых средств моделирования многовариантной динамики формирования доходности финансовых активов не обеспечил инвесторов новыми надежными рекомендациями портфельного инвестирования. В тоже время, появился новый аппарат моделирования процессов с дихотомической динамикой, прикладные возможности которого недостаточно изучены. Подтверждение этого можно найти в работах А.И. Павлова, С.А. Кудж, М.Ю. Шевелева, Ю.П. Шевелева, Г.А. Сатарова, О.Ю. Номоконовой и других.

Вопрос исследования этих возможностей в задачах портфельного инвестирования является актуальным и позволяет надеяться на уточнение интерпретационных фактов и алгоритмических схем формирования оптимальных портфельных решений.

В диссертационной работе используется понятие бинарной неопределенности. Это понятие связано с дихотомическим модельным представлением рыночной доходности актива. В динамике доходности актива возможны положительные и отрицательные приросты. Это должно быть отражено в модели доходности актива. Для этого было выполнено исследование механизма формирования доходности в случайной среде бинарных ожиданий, и на основе полученных результатов предложена комбинированная модель, в составе которой предусмотрено воспроизведение бинарной рыночной доходности с помощью регрессии, зависимая переменная которой дихотомическая. В итоге предложенная модель строится с учетом бинарной доходности каждого актива и в этом смысле с учетом бинарной неопределенности.

**Степень разработанности научной проблемы.** У истоков первой научной теории инвестиционного портфеля стоит Г. Марковиц, который в своих работах анализировал проблемы рынка ценных бумаг, построил оптимизационную модель портфеля и исследовал ее свойства. Другие исследователи, такие как У. Шарп, Дж. Линтнер, Я. Моссин, Ф. Блек, Дж. Тобин усовершенствовали идеи Г. Марковица, построив основы теории портфельного инвестирования. Теория портфельного инвестирования началась с общего изучения инвестиций и критериев их оценки, рассматривавшихся в работах И. Фишера и

Д.М. Кейнса. Немаловажный вклад в развитие портфельного инвестирования внесли К. Грэнджер и Р. Энгл.

Заметный вклад в развитие теории портфельного инвестирования внесли и российские ученые, такие как В.М. Аскинадзи, А.Н. Буренин, В.В. Давнис, И.Г. Журбенко, А.В. Мельников, И.А. Наталуха, А.Н. Ширяев, М.А. Лимитовский, С.В. Булашев, В.В. Глухов, И.В. Ильин, А.О. Недосекин, П.В. Кратович, А.О. Денисенко, В.И. Копосов и другие.

Актуальным текущим направлением развития являются, с нашей точки зрения, исследования по проблеме формирования инвестиционного портфеля с применением эконометрических моделей. Итоги исследований, выполненных в диссертационных работах Е.А. Ратушной, С.В. Бахолдина, О.В. Тимченко, Е.С. Кутуковой и Е.А. Хлебниковой продемонстрировали перспективность развития этого направления.

Данное диссертационное исследование вносит уточнение в понимание особенностей функционирования фондовой биржи, автор предлагает математические модели принятия инвестиционных решений в условиях бинарной неопределенности фондового рынка.

#### **Цель и задачи исследования.**

**Цель исследования:** предложение математических моделей для реализации новых подходов к моделированию портфелей ценных бумаг в условиях бинарной неопределенности фондового рынка.

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

- моделирование доходности в случайной среде бинарных ожиданий;
- анализ возможностей построения моделей на основе дважды бинарного подхода и оценка возможностей его применения при моделировании портфельных решений;
- построение диагональной вероятностной модели портфельного инвестирования и исследование ее основных свойств;
- построение модели портфельного инвестирования на основе рыночного взаимодействия финансовых активов;
- определение возможностей алгоритмического подхода к построению портфеля на основе парного взаимодействия активов;
- исследование возможности применения ранговых решений в портфельном анализе.

**Объектом исследования** выступает портфель акций российских эмитентов.

**Предметом исследования** являются математические модели построения портфеля ценных бумаг в условиях бинарной неопределенности доходности на фондовом рынке.

**Теоретической и методологической основой исследования** послужили результаты исследований российских и зарубежных ученых в сфере принятия инвестиционных решений в целом и портфельных инвестиций в частности, методов оптимизации, математической статистики, эконометрического моделирования непрерывных и дискретных процессов.

**Информационная база исследования** представлена архивом котировок акций российских эмитентов, преимущественно голубых фишек и индекса РТС. Все расчеты проводились в среде Microsoft Excel и MatLab.

**Обоснованность результатов исследования** определена применением методов научного познания, соответствующих цели и задачам работы; глубоким и всесторонним анализом научных публикаций; решением задач исследования с помощью разнообразных подходов и сопоставлением полученных итогов; изучением выводов и методов, использованных в разнообразных исследовательских решениях.

**Достоверность результатов исследования** подтверждена анализом первичных данных различными инструментальными методами, соотносением получаемых итогов с выводами и результатами, полученными другими исследователями в данной сфере.

### **Соответствие диссертации Паспорту научной специальности.**

Содержание диссертации соответствует следующим пунктам паспорта специальности 5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике Паспорта специальностей ВАК РФ:

п. 3. – «Разработка и развитие математических и эконометрических моделей анализа экономических процессов (в т.ч. в исторической перспективе) и их прогнозирования»;

п. 4. – «Разработка и развитие математических и компьютерных моделей и инструментов анализа и оптимизации процессов принятия решений в экономических системах».

**Научная новизна результатов исследования** состоит в предложении математических моделей для реализации новых подходов к моделированию портфелей ценных бумаг в условиях бинарной неопределенности фондового рынка. Основная особенность сформированных моделей определяется единственностью характеристики в виде вероятности положительной доходности ценной бумаги, с помощью которой идентифицируются и доходность, и риск актива, описывающие в портфельной теории множество инвестиционных возможностей. Это позволяет уточнить и частично пересмотреть отдельные положения теории финансовых рынков.

**Наиболее существенные результаты исследования, обладающие научной новизной и полученные лично соискателем:**

1) предложен дважды бинарный подход к построению модели доходности актива. Данный подход имеет прикладное значение, связанное с упрощением технологий обработки большого массива данных. Этот подход особенно эффективен при осуществлении многомерных вычислений, моделировании многомерных процессов (показателей регионов, стоимости финансовых активов и т.п.);

2) построена диагональная вероятностная модель портфельного инвестирования, с помощью которой проведено уточнение результата Марковица о характере связи риска с доходностью. Анализ вычислительных экспериментов с этой моделью показал, что увеличение риска происходит по мере удаления ожидаемой доходности портфеля от инвестиционного потенциала рынка, а не от увеличения ожидаемой доходности;

3) разработана методика построения портфеля с линейным риском, учитывающим результат рыночного взаимодействия финансовых активов. Оптимизация портфеля ценных бумаг в рамках этой методики основана на максимизации функции полезности, отражающей процесс формирования доходности активов в бинарной инвестиционной среде фондового рынка;

4) обоснована алгоритмическая процедура формирования портфеля ценных бумаг, предусматривающая реализацию процесса последовательной оптимизации портфелей из двух активов, результат рыночного взаимодействия между которыми, рассчитываемый по выведенной формуле, имеет максимальное значение. Используемая в процедуре формула может применяться в техническом анализе, обеспечивая перенос идей фундаментального анализа в технический;

5) обоснована возможность формирования ранговых портфельных решений, при построении которых численная оптимизация заменена процедурой предпочтений, обычно используемой в обработке экспертных данных. Такая замена основывается на зависимости доходности и риска от единственной характеристики - вероятности положительной доходности актива, предпочтения по которой одновременно приводят к росту доходности и снижению риска.

**Теоретическая значимость** исследования заключается в разработке нового подхода к моделированию портфельных инвестиционных решений, основанного на дважды бинарной модели доходности актива, обеспечивающей адекватное описание бинарного механизма формирования доходности финансовых активов и лежащей в основе формирова-

ния нового инструмента аргументации при принятии инвестиционных решений на рынке ценных бумаг.

**Практическая значимость** исследования заключается в предложении рекомендаций и выводов, которые различные инвесторы могут применять при формировании портфеля ценных бумаг для российского фондового рынка или осуществлении его реструктуризации. На основе построенных моделей удастся сформировать инвестиционные решения, обеспечивающие необходимый уровень доходности и высокую вероятность получения субъектом инвестиционной деятельности положительных финансовых результатов.

#### **Апробация результатов исследования.**

Диссертационное исследование начало осуществляться в рамках комплексной программы научной работы кафедры информационных технологий и математических методов в экономике экономического факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» и завершилось в рамках научной стажировки на кафедре прикладной математики и экономико-математических методов факультета информатики и прикладной математики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет».

Математические модели, разработанные в ходе проведения исследования, использовались в следующих грантах: грант РФФИ № 16-46-360424р-а «Методы и модели прогнозирования социально-экономического развития Воронежской области» (руководитель – д.э.н., проф. Давнис В.В., 2016-2018 гг.), грант РФФИ № 19-010-00138 А «Разработка теории адаптивно-таргетированных моделей прогнозирования в задачах стратегического планирования социально-экономических процессов» (руководитель – д.э.н., проф. Давнис В.В., 2019-2020 гг.).

Ключевые итоги исследования были представлены на всероссийских и международных научно-практических конференциях: «Экономическое прогнозирование: модели и методы» (г. Воронеж, 2016, 2017, 2018, 2020, 2022 гг.); «Электронный бизнес: проблемы, развитие и перспективы» (г. Воронеж, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 гг.); «Теория и практика функционирования финансовой и денежно-кредитной системы России» (г. Воронеж, 2018, 2019 гг.); «Системное моделирование социально-экономических процессов» (г. Воронеж, 2017 г.), «Анализ инвестиционных проектов» (г. Москва, 2020 г., ИСА РАН), «Международные Плехановские чтения» (г. Москва, 2023 г., ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова»), «Конгресс молодых ученых» (г. Санкт-Петербург, 2023 г., ИТМО), «Международный бизнес: время вызовов и возможностей» (г. Москва, 2023 г., Всероссийская академия внешней торговли Минэкономразвития России), «Реформы в России и проблемы управления» (г. Москва, 2023 г., ГУУ), «Современная математика и концепции инновационного математического образования» (г. Москва, 2023 г., Финансовый Университет при Правительстве РФ).

#### **Публикации результатов исследования.**

По теме диссертации автором опубликованы 37 печатных работ, в том числе 10 авторских работ в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 1 монография и 3 авторские работы, входящие в базу Scopus и Web of Science. Объем принадлежащих лично соискателю опубликованных результатов по теме диссертации составляет 20,90 печатных листов.

#### **Структура диссертации.**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка. Кроме того, имеются приложения. Текст изложен на 153 страницах машинописного текста, включает 5 рисунков, 13 таблиц основного текста и 6 таблиц в приложениях. Список литературы содержит 153 наименования, в том числе материалы глобальной сети Интернет.

Введение включает в себя раскрытие актуальности темы диссертационного исследования, выбор и указание предмета и объекта исследования, формулировку цели и выходящих из нее задач выполненной работы, обоснование научной новизны исследования, а также рассмотрение фундаментальной и прикладной значимости итогов проведенной работы.

Первая глава «Основные критерии формирования оптимальных портфельных решений» включает описание основных функций полезности, используемых в портфельном анализе, рассмотрение основных подходов к оценке и интерпретации рисков фондового рынка и анализ гипотез, на основе которых выстраивается теория инвестиционных решений на фондовом рынке.

Во второй главе «Портфельный анализ на основе эконометрических моделей с дискретной зависимой переменной» проводится исследование механизма формирования доходности в случайной среде бинарных ожиданий и на основе полученных результатов предлагается использовать комбинированную модель, в составе которой предусмотрено воспроизведение бинарности рыночной доходности с помощью регрессии, зависимая переменная которой дихотомическая. С помощью этой модели построена модель портфельного инвестирования и проведены расчеты, результаты которых позволили изменить содержательную интерпретацию зависимости риск-доходность, полученную Маковицем.

В третьей главе «Новые подходы к моделированию портфельных решений» вводится понятие рыночного взаимодействия финансовых активов, позволившее обосновать возможность построения модели портфельного инвестирования с линейным риском. Принципы построения этой модели были положены в основу формирования алгоритмического подхода к построению портфелей на основе парного взаимодействия финансовых активов. Алгоритмический подход стал мостиком, позволившим идеи фундаментального анализа использовать в задачах технического анализа. Кроме того, был предложен способ построения портфеля, в котором вместо оптимизации используется процедура предпочтения, что позволяет предлагать инвесторам новые правила формирования портфеля ценных бумаг.

Принятие инвестиционных решений - это сложный процесс, так как его можно охарактеризовать как процесс выбора конкретной альтернативы из множества альтернатив. Значит, остановиться на конкретном решении следует только после надлежащей оценки всех альтернатив.

Эффективное принятие решений на фондовом рынке требует хорошего понимания человеческой природы в глобальной перспективе. При этом нельзя забывать, что инвестиционное решение, оптимальное для одного инвестора, может не быть таким для другого инвестора. Причины этого следующие: у каждого инвестора есть свои инвестиционные цели, уровень толерантности к риску, приток и отток денег и другие ограничения. И соответственно, он проектирует свой инвестиционный портфель с учетом всех этих факторов.

## **II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

**1. Предложен дважды бинарный подход к построению модели доходности актива. Данный подход может иметь следующее прикладное значение: упрощение технологий обработки большого массива данных. Этот подход можно применять при осуществлении многомерных вычислений, моделировании многомерных процессов (показателей регионов, стоимости финансовых активов и т.п.).**

Отличительные особенности предложенного подхода:

Дважды бинарный метод построения модели включает в себя следующие два этапа:

1. Этап применения дискретно-непрерывного (рекуррентного) метода построения.

2. Этап применения дискретно-группового метода построения модели.

Опишем дискретно-непрерывный (рекуррентный) метод построения. Данный этап подразумевает одношаговую схему рекуррентного метода наименьших квадратов (РМНК).

Итоговая формула дает возможность выполнить повторный расчет оценок рекуррентным методом по мере добавления новых наблюдений. Ключевые идеи формирования адаптивных многофакторных регрессионных моделей при построении инвестиционного портфеля осуществляются при ее помощи.

$$\hat{b}_n = \hat{b}_{n-1} + \frac{c_{n-1}^{-1} x_n}{x_n c_{n-1}^{-1} x_n + 1} [y_n - X_n \hat{b}_{n-1}] \quad (1)$$

где  $\hat{b}_n$  - оценки коэффициентов на основе данных выборки, состоящей из  $n$  наблюдений;

$\hat{b}_{n-1}$  - оценки коэффициентов на основе данных выборки, состоящей из  $(n - 1)$  наблюдений;

$$C_n = (X_n^* X_n)$$

$x_n$  - вектор-столбец из  $n$  независимых переменных;

$x_n^*$  - вектор-строка (транспонированный вектор-столбец) из  $n$  независимых переменных;

$y_n$  - вектор-столбец из  $n$  зависимых переменных;

$X_n$  - матрица, состоящая из  $n$  независимых переменных.

Перейдем к изложению второго шага дважды бинарного метода построения модели - дискретно-группового метода построения модели.

Данный метод повторяет этапы осуществления многошагового РМНК.

Использование многошагового метода актуально в случаях, когда наблюдается расширение выборки одновременно несколькими наблюдениями. Безусловно, допустима последовательная обработка данных наблюдений с применением выше описанного одношагового РМНК. Здесь стоит заметить, что одношаговый РМНК не всегда удобен. Помимо этого, иногда в процессе настройки параметров адаптивной модели необходимо учитывать информацию, полученную по итогам нескольких одновременно выполненных измерений. Все эти факторы объясняют необходимость применения многошагового подхода.

По сути дважды бинарный метод реализуется двукратным применением формулы (1). Однако возможности рекуррентного оценивания позволяют реализовать построение этой же самой модели однократным применением рекуррентной формулы. Для этого используется многошаговый вариант рекуррентной формулы.

Итоговая формула для дискретно-группового метода построения модели будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{b}_n = \hat{b}_{n-k} + C^{-1} X_k (X_k C^{-1} X_k + I_k)^{-1} (y_k - X_k \hat{b}_{n-k}) \quad (2)$$

где  $\hat{b}_n$  - оценки коэффициентов на основе данных выборки, состоящей из  $n$  наблюдений;

$\hat{b}_{n-k}$  - оценки коэффициентов на основе данных выборки, состоящей из  $(n-k)$  наблюдений;

$X_k$  - матрица из  $k$  последних строк независимых переменных выборки;

$y_k$  - вектор-столбец, элементами которого служат  $k$  последних наблюдений зависимой переменной;

$I_k$  -  $(k \times k)$ -единичная матрица .



На основе предложенной формулы (2) выполняется рекуррентный пересчет оценок для ситуаций, когда новые наблюдения добавляются не по одному, а сразу целыми группами. Данная формула применяется при формировании адаптивных регрессионных моделей специальной формы.

Предложенный метод построения модели упрощает технологию обработки большого массива данных. Сфера применения данного метода построения модели: многомерные расчеты, моделирование многомерных процессов.

**2. Построена диагональная вероятностная модель портфельного инвестирования, с помощью которой проведено уточнение результата Марковица о характере связи риска с доходностью. Анализ вычислительных экспериментов с этой моделью показал следующий итоговый эффект: увеличение риска происходит по мере удаления ожидаемой доходности портфеля от инвестиционного потенциала рынка, а не от увеличения ожидаемой доходности.**

Диагональная структура ковариационной матрицы вероятностной модели значительно упрощает расчеты по построению портфельного решения. Это касается и процедуры обращения матрицы, и расчета рисков, и всех промежуточных вычислений. Учитывая эту возможность, необходимый набор данных для построения портфеля представлен в таблице 1. Котировки акций фондового рынка соответствуют временному интервалу с 1 апреля по 30 июня 2019 года (стр. 142-143 - Приложение П1 диссертации).

**Таблица 1-** Данные для построения диагональной вероятностной модели

Газпром	Сбер-банк	Сургут нефте-газ	Лу-койл	Рос-нефть	Аэро-флот	Мос-энерго	Мегафон	РТС
<b>ПОСТОЯННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ</b>								
ср.зн.	0,1970	0,0937	0,0766	0,1169	0,1584	0,0738	0,0599	0,2536
ср.кв.от кл.	0,5901	0,7825	0,4104	0,4219	0,4642	0,5977	0,4683	0,4310
<b>ПЕРЕМЕННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ (0.0)</b>								
вер.	0,43273	0,50913	0,5928	0,53422	0,41479	0,56481	0,399313	0,483041
расч.зн.	0,11765	0,10795	0,1528	0,1457	0,079329	0,15125	0,0344	0,23901
диспер.	0,34194	0,61203	0,1627	0,17719	0,209211	0,35123	0,21044	0,18552
<b>ПЕРЕМЕННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ (0.05)</b>								
вер.	0,46142	0,5414	0,6270	0,5653	0,43575	0,5990	0,43598	0,51564
расч.зн.	0,15151	0,15842	0,1808	0,17194	0,098779	0,19206	7,2E-05	0,26712
диспер.	0,34617	0,60804	0,1576	0,17499	0,21191	0,34324	0,21574	0,18556
<b>ПЕРЕМЕННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ (0.1)</b>								
вер.	0,4904	0,5733	0,6600	0,5958	0,4569	0,6322	0,4734	0,5481
расч.зн.	0,1857	0,2084	0,2079	0,1977	0,1184	0,2318	0,0349	0,2951
диспер.	0,3481	0,5991	0,1512	0,1715	0,2139	0,3323	0,2187	0,1840
<b>ПЕРЕМЕННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ (0.2)</b>								
вер.	0,5483	0,6351	0,7212	0,6545	0,4997	0,6947	0,5486	0,6116
расч.зн.	0,2540	0,3051	0,2581	0,2473	0,1581	0,3065	0,1054	0,3498
диспер.	0,3450	0,5675	0,1355	0,1610	0,2155	0,3031	0,2173	0,1765
<b>ПЕРЕМЕННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ (0.3)</b>								
вер.	0,6049	0,6927	0,7751	0,7089	0,5425	0,7508	0,6217	0,6715
расч.зн.	0,3208	0,3953	0,3024	0,2931	0,1978	0,3736	0,1739	0,4015
диспер.	0,3329	0,5213	0,1174	0,1470	0,2139	0,2673	0,2063	0,1639

ПЕРЕМЕННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ (0.4)								
вер.	0,65883	0,74490	0,8212	0,75784	0,584597	0,79958	0,68965	0,72630
расч.зн	0,38450	0,47692	0,3403	0,33445	0,236965	0,43190	0,23753	0,44870
диспер.	0,3131	0,46534	0,0990	0,13068	0,2093	0,22898	0,18778	0,14769

В данных таблицы 1 представлены постоянные величины, включающие средние значения и среднеквадратические отклонения, рассчитанные по данным исторического периода, а также шесть вариантов переменных величин.

Каждый вариант содержит расчет вероятностей, ожидаемых значений доходности активов и дисперсии активов. Расчеты проводились при разных значениях отклонения текущей доходности от средней доходности рынка. Величина этих отклонений в скобках указана в таблице 1. Для каждого варианта строилась модель оптимального инвестирования.

Ниже приводятся результаты расчетов по диагональной вероятностной модели и проводится их интерпретация, позволяющая понять основное различие между возможностями вероятностной модели и модели Марковица.

**Таблица 2-**Компаративный анализ вероятностной модели и модели Марковица

ВАРИАНТЫ ПОРТФЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ						
АКТИВЫ	НАСТРОЙКА МОДЕЛИ: ДОХОДНОСТЬ ПОРТФЕЛЯ					
	0.0: 0.1	0.05:0.15	0.1:0.18	0.18:0.25	0.3:0.3	0.4:0.35
	ПОРТФЕЛИ					
Газпром	0,087665	0,084539	0,082806	0,081911	0,075677	0,071545
Сбербанк	0,050753	0,047876	0,047132	0,055851	0,047936	0,047246
Сургут-нефтегаз	0,160071	<b>0,181556</b>	<b>0,186805</b>	<b>0,209066</b>	<b>0,214943</b>	<b>0,228461</b>
Лукойл	0,151396	0,164627	0,166261	0,17217	0,171954	0,173129
Роснефть	0,163811	0,143645	0,142955	0,097337	0,119366	0,110192
Аэрофлот	0,074619	0,082627	0,083147	0,105364	0,093693	0,096898
Мосэнерго	<b>0,223438</b>	0,151303	0,149711	0,073931	0,124068	0,122806
Мегафон	0,088246	0,143826	0,141183	0,20437	0,152364	0,149722

Построение портфелей осуществлялось при определенной настроенности модели (в таблице 2 настройка модели указана первым числом) и заданной доходностью портфеля (число после двоеточия: второе число). Это те портфели, для которых в приведенной ниже таблице риски были минимальные.

Таблица 3-Результаты вычислительного эксперимента

Доход- ность портфеля	НАСТРОЙКА МОДЕЛИ					
	0.0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
	РИСКИ					
0,01	0,090606	0,13159	0,181276	0,293442	0,395691	0,462125
0,05	0,055038	0,082761	0,119627	0,210542	0,30074	0,365097
0,1	<b>0,031954</b>	0,043778	0,064903	0,128622	0,201785	0,260806
0,15	0,032621	<b>0,029298</b>	0,035001	0,070817	0,124759	0,175395
0,18	0,044421	0,032372	<b>0,028973</b>	0,04771	0,089069	0,133211
0,25	0,105207	0,073848	0,049658	<b>0,027555</b>	0,036492	0,061214
0,3	0,177126	0,132877	0,094218	0,042098	<b>0,025252</b>	0,032445
0,35	0,272795	0,216409	0,163599	0,080757	0,035939	<b>0,022556</b>
0,4	0,392216	0,324444	0,257801	0,143532	0,068555	0,031547
0,45	0,535387	0,456982	0,376823	0,230422	0,123099	0,059419

Устройство таблицы 3 следующее: по горизонтали изменялся параметр, с помощью которого настраивалась модель, а по вертикали - параметр, с помощью которого задавалась ожидаемая доходность портфеля.

По сути, каждый столбец таблицы можно считать результатом моделирования риска с помощью модели Марковица. Но с помощью одного столбца нельзя объяснить эффект построения портфеля с минимальным риском. А портфель с минимальным риском, как показывает таблица 3, существует. В силу того, что вычислительные эксперименты с моделью Марковица позволяют сформировать только одну диагональ из рисков, то проанализируем эту единственную полученную диагональ. По ее результатам можно сделать вывод только о том, что с увеличением желаемой доходности портфеля риск увеличивается. Вероятностная модель позволяет уточнить этот в целом правильный вывод.

Для этого уточнения необходимо ввести понятие инвестиционного потенциала рынка. Инвестиционный потенциал – это такой уровень доходности, который рынок сможет обеспечить инвестору с минимальным риском. Расчеты, приведенные в таблице 3, хорошо иллюстрируют природу инвестиционного потенциала. Действительно, минимальный риск, как показывают расчеты, приведенные в таблице, достигается не в точке минимальной доходности, а при той доходности, которую обеспечивает рынок.

Таким образом, можно утверждать, что риск тем выше, чем больше отклонение от инвестиционного потенциала рынка. Причем имеется в виду отклонение и в сторону увеличения доходности, и в сторону снижения доходности.

Приведенные в таблице 3 результаты расчетов позволяют обратить внимание еще на одну интересную закономерность: величина минимального риска снижается по мере роста доходности рынка. Такая закономерность вполне естественна, так как высокий уровень инвестиционного потенциала рынка должен с меньшим риском обеспечивать получение инвестором доступного уровня ожидаемой доходности портфеля. Под доступным уровнем ожидаемой доходности портфеля понимается тот уровень, который в данный момент гарантируется текущим инвестиционным потенциалом рынка.

Подводя итог проведенного вычислительного эксперимента с диагональной вероятностной моделью портфельного инвестирования, отметим получение результатов, уточняющих отдельные положения инвестиционной теории, разработанной Марковицем и его последователями.

**3. Разработана методика построения портфеля с линейным риском, учитывающим результат рыночного взаимодействия финансовых активов. Оптимизация портфеля ценных бумаг в рамках этой методики основана на максимизации функ-**

**ции полезности, отражающей процесс формирования доходности активов в условиях бинарной неопределенности фондового рынка.**

Обычно риски, измеряемые среднеквадратическими отклонениями, имеют положительные значения, но в данном выражении значения рисков могут быть как положительными, так и отрицательными. Это так называемый линейный риск, величина которого монотонно зависит от величины среднеквадратического риска.

Понимая под риском результат возможного отклонения доходности актива от его среднего уровня, риском портфеля из двух активов будем считать ожидаемое отклонение текущей доходности портфеля от его средней доходности.

Формально выражение для доходности портфеля из двух активов с учетом возможных линейных рисков можно записать следующим образом:

$$r_{pt} = w_i \bar{r}_i + w_k \bar{r}_k + w_i d_i (2P_{it} - 1) + w_k d_k (2P_{kt} - 1) + w_i w_k IA_{ik}. \quad (3)$$

где  $r_{pt}$  – уровень доходности  $p$ -й ценной бумаги в период времени  $t$ ;

$w_i$  – доля  $i$ -й ценной бумаги в инвестиционном портфеле;

$\bar{r}_i$  – средний уровень доходности  $i$ -й ценной бумаги;

$w_k$  – доля  $k$ -й ценной бумаги в инвестиционном портфеле;

$\bar{r}_k$  – средний уровень доходности  $k$ -й ценной бумаги;

$d_i$  – среднеквадратическое значение отклонения уровня доходности  $i$ -й ценной бумаги от своего среднего уровня;

$P_{it}$  и  $P_{kt}$  – вероятности того, что в промежутке времени  $t$  доходность  $i$ -й ( $k$ -й) ценной бумаги превышает среднюю;

$d_k$  – среднеквадратическое значение отклонения уровня доходности  $k$ -й ценной бумаги от своего среднего уровня;

$IA_{ik}$  – величина взаимодействия.

В выражении (3) не определена величина взаимодействия  $IA_{ik}$ . Для определения этой величины необходимо описать механизм формирования эффекта взаимодействия. Возможны 4 варианта такого взаимодействия:

- 1) доходность пары активов оказалась выше соответствующих средних значений;
- 2) доходность первого актива выше, а второго ниже;
- 3) доходность первого актива ниже, а второго выше;
- 4) доходность пары активов ниже средних значений.

Заметим, что взаимодействие между двумя активами можно рассматривать как коэффициент ковариации. Но взаимодействие дает более полное описание, чем ковариация. У ковариации всего два варианта качественно различных возможных значений, а у взаимодействия – четыре.

Обозначив через  $d_i$  среднюю величину возможного отклонения от средней доходности  $i$ -го актива, а через  $d_k$  соответствующее отклонение  $k$ -го актива, введем в рассмотрение переменную с возможными значениями доходности активов и определим вероятности этих значений. Возможные варианты взаимодействия приведены в таблице 4.

Таблица 4-Описание возможных вариантов взаимодействия

Значения $x_i$	Вероятности $x_i$	Значения $x_k$	Вероятности $x_k$	Значения $x_i+x_k$	Вероятности $x_i+x_k$
+1	$P_i$	+1	$P_k$	$d_i+d_k$	$P_i P_k$
+1	$P_i$	-1	$1-P_k$	$d_i-d_k$	$P_i (1-P_k)$
-1	$1-P_i$	+1	$P_k$	$-d_i+d_k$	$(1-P_i) P_k$
-1	$1-P_i$	-1	$1-P_k$	$-d_i-d_k$	$(1-P_i)(1-P_k)$

Зная ожидаемые значения и вероятности результатов взаимодействия, можно записать математическое ожидание взаимодействия следующим образом:

$$IA_{ik} = (d_i + d_k)P_i P_k + (d_i - d_k)P_i(1 - P_k) + (-d_i + d_k)(1 - P_i)P_k + (-d_i - d_k)(1 - P_i)(1 - P_k) \quad (4)$$

Таким образом, все составляющие механизма формирования доходности известны и, следовательно, выражение (3) можно использовать в качестве критерия для построения оптимального портфеля. Запишем это выражение в развернутой матричной форме для случая, когда портфель формируется из двух активов:

$$r_p = (w_i, w_k) \begin{pmatrix} \bar{r}_i \\ \bar{r}_k \end{pmatrix} + (w_i, w_k) \begin{pmatrix} d_i(2P_i - 1) \\ d_k(2P_k - 1) \end{pmatrix} + (w_i, w_k) \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2}IA_{ik} \\ \frac{1}{2}IA_{ik} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_i \\ w_k \end{pmatrix} \quad (5)$$

В выражении (5) первое слагаемое характеризует влияние на доходность портфеля средних доходностей активов, включенных в портфель, а второе слагаемое отвечает за риск активов, которые могут в зависимости от ситуации увеличить или уменьшить доходность портфеля. Наконец, третье слагаемое представляет собой результат рыночного взаимодействия активов, который может оказать на доходность портфеля как положительное, так и отрицательное воздействие.

Если выражение (5) дополнить ограничением на структуру портфеля и для упрощения записи положить для каждого  $i$ -го актива  $\hat{d}_i = d_i(2P_i - 1)$ , то получится модель оптимального портфеля следующего вида:

$$2\tau(\mathbf{w}'\bar{\mathbf{r}} + \mathbf{w}'\hat{\mathbf{d}}) + \mathbf{w}'\Sigma_{IA}\mathbf{w} \rightarrow \max \quad (6)$$

$$\mathbf{w}'\mathbf{i} = 1 \quad (7)$$

$$\mathbf{w}'\mathbf{i} \geq 0 \quad (8)$$

где  $\tau$  – параметр, характеризующий отношение инвестора к риску;

$\mathbf{i}$  – вектор-столбец, все компоненты которого равны 1;

$$\Sigma_{IA} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{2}IA_{ik} \\ \frac{1}{2}IA_{ik} & 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

В выражении (6) первое слагаемое характеризует влияние на доходность портфеля средних доходностей активов, включенных в портфель, а второе слагаемое отвечает за риск активов, которые могут в зависимости от ситуации увеличить или уменьшить доходность портфеля. Наконец, третье слагаемое представляет собой результат рыночного взаимодействия активов, который может оказать на доходность портфеля как положительное, так и отрицательное воздействие.

Используемый в формуле (6) параметр  $\tau \geq 0$ , он относится к первым двум слагаемым выражения (6), так как именно эти два слагаемых описывают доходность и риск портфеля, и при этом ожидаемая доходность в явном виде зависит от риска.

Основное отличие данной модели от известных моделей состоит в том, что в данной модели используется линейный риск, который включен в выражение для определения доходности. При этом взаимодействие, описываемое квадратичной функцией, необходимо увеличивать для роста доходности.

После выполнения необходимых процедур, получим следующее выражение для определения структуры портфеля:

$$\mathbf{w}^* = \frac{1}{\mathbf{i}'\Sigma_{IA}^{-1}\mathbf{i}} \Sigma_{IA}^{-1}\mathbf{i} + \tau \left( \frac{\mathbf{i}'\Sigma_{IA}^{-1}(\bar{\mathbf{r}} + \hat{\mathbf{d}})}{\mathbf{i}'\Sigma_{IA}^{-1}\mathbf{i}} \Sigma_{IA}^{-1}\mathbf{i} - \Sigma_{IA}^{-1}(\bar{\mathbf{r}} + \hat{\mathbf{d}}) \right) \quad (10)$$

Первое слагаемое в выражении (10) определяет структуру портфеля ограниченной доходности, а второе слагаемое описывает механизм формирования доходности портфеля. В нем учитывается и возможная диверсификация активов по средней доходности и ожидаемые изменения доходности каждого актива, включаемого в портфель, в зависимости от текущего состояния фондового рынка. В рамках этого подхода появляются новые возможности для анализа портфельных решений и их практического использования.

**4. Обоснована алгоритмическая процедура формирования портфеля ценных бумаг, предусматривающая реализацию процесса последовательной оптимизации портфелей из двух активов, результат рыночного взаимодействия между которыми, рассчитываемый по выведенной формуле, имеет максимальное значение. Используемая в процедуре формула может успешно применяться в техническом анализе, обеспечивая перенос идей фундаментального анализа в технический.**

Описание алгоритмической процедуры начнем с рассмотрения построения портфеля из двух активов. Для этого случая будем предполагать, что эта модель уже построена, и вероятности определены. Используя эти вероятности и средние значения возможных отклонений ожидаемой доходности активов, можем вычислить величину эффекта взаимодействия, на основе которой сформируем матрицу взаимодействия для  $i$  – го и  $k$  – го активов (9).

Специальный вид матрицы (9) позволяет без труда определить обратную матрицу, необходимую для реализации процедуры алгоритмического построения портфеля. В итоге получаем:

$$\Sigma_{IA}^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{2}{IA_{ik}} \\ \frac{2}{IA_{ik}} & 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

В результате структуру оптимального портфеля из двух активов можно определить по следующей формуле:

$$\mathbf{w}^* = \begin{pmatrix} 0,5 \\ 0,5 \end{pmatrix} + \tau \begin{pmatrix} \frac{r_i + \hat{d}_i - r_k - \hat{d}_k}{IA_{ik}} \\ \frac{r_k + \hat{d}_k - r_i - \hat{d}_i}{IA_{ik}} \end{pmatrix}. \quad (12)$$

В алгоритмической процедуре первый шаг для построения портфеля из двух активов заключается в корректировке тривиального портфеля таким образом, чтобы в нем возросла доля того актива, ожидаемая доходность которого выше, и одновременно уменьшилась доля актива с более низкой ожидаемой доходностью.

Второй шаг заключается в построении портфеля из трех активов. Для получения такого портфеля необходимо для сформированного на первом шаге портфеля по аналогии с тем, как это делалось для активов, построить модель бинарного выбора, а затем определить эффект взаимодействия с включаемым в портфель активом.

Приведем результаты расчетов. В вычислительном эксперименте с помощью алгоритмической процедуры был построен портфель из акций «Газпрома», «Сбербанка», «Лукойла», «Норильского никеля» и «НОВАТЭКа». Котировки акций фондового рынка были

взяты за временной интервал с 1 апреля по 30 июня 2019 года (стр. 143-144 - Приложение П1 ).

Для каждого актива были построены модели бинарного выбора:

$$r_1 = 0,184 + 1,073 \cdot [2 \cdot (\exp(0,321 - 1,614r_1) + 1)^{-1} - 1]$$

$$r_2 = 0,335 + 1,621 \cdot [2 \cdot (\exp(0,397 - 1,162r_1) + 1)^{-1} - 1]$$

$$r_3 = 0,247 + 1,070 \cdot [2 \cdot (\exp(0,321 - 1,314r_1) + 1)^{-1} - 1]$$

$$r_4 = 0,216 + 1,780 \cdot [2 \cdot (\exp(0,170 - 1,178r_1) + 1)^{-1} - 1]$$

$$r_5 = 0,099 + 1,269 \cdot [2 \cdot (\exp(0,183 + 1,042r_1) + 1)^{-1} - 1]$$

А также были определены ожидаемые доходности:

$$r_1 = 0,632, \quad r_2 = 0,713, \quad r_3 = 0,591, \quad r_4 = 0,826, \quad r_5 = 0,669$$

и построена матрица эффектов взаимодействия.

На основе матрицы взаимодействия определена пара активов с самым высоким эффектом взаимодействия. Это 4 и 5 активы. Для них формируется портфель, который принимается за единый актив. К полученному результату применяется модель бинарного выбора, и процедура продолжается.

В результате получен оптимальный портфель следующего вида:

$$\mathbf{w}^{f*} = (0,148 \quad 0,101 \quad 0,002 \quad 0,363 \quad 0,386)$$

где  $\mathbf{W}^{f*}$  - транспонированная матрица долей активов, составляющих оптимальный портфель, удовлетворяющий всем требованиям.

Распределение долей активов в оптимальном портфеле будет следующим: доля 1 и 2 актива в 2–3 раза меньше, чем доля 4 и 5 активов; доля 1 актива в 1,5 раза больше, чем 2; доля 3 актива незначительна.

Результаты вычислительного эксперимента показали, что расчетные формулы логически выстроены правильно. Особенно следует отметить, что портфель можно представить эконометрической моделью, что позволяет обсуждать его статистическую надежность.

**5. Рассмотрена возможность формирования ранговых портфельных решений, при построении которых оптимизация заменена процедурой предпочтений, обычно используемой в обработке экспертных данных. Обоснованность такой замены связана с зависимостью доходности и риска от единственной характеристики - вероятности положительной доходности актива, предпочтения по которой одновременно приводят к росту доходности и снижению риска.**

Основной идеей, являющейся базой разработанного метода, является то, что инвестор при осуществлении выбора инвестиционного решения опирается не только на показатели множества инвестиционных возможностей, но и на вероятности положительной доходности финансовых активов, применяемые при формировании портфеля ценных бумаг. Таким образом, можно утверждать, что у инвестора появляется дополнительный критерий, помимо доходности и риска, служащий основой построения предпочтительного инвестиционного портфеля. При этом множество инвестиционных возможностей расширяется, что вызывает потребность в новых моделях формирования портфелей ценных бумаг.

Для использования вероятностного критерия при построении инвестиционного портфеля предлагается метод, в котором процедура оптимизации заменена процедурой, в основе которой лежат предпочтения.

Отметим, что здесь вероятность – это показатель, с применением которого можно построить инвестиционный портфель, ориентируясь на два критерия: доходность и риск.

Из этого вытекает, что если строится портфель ценных бумаг из двух финансовых активов, то в нем доля должна быть выше у того актива, который обладает большей вероятностью положительной доходности.

Тогда портфель с наиболее высоким относительным приростом доходности будет выглядеть следующим образом:

$$r_p = \sum_{i=1}^m w_i \frac{[r_{it-1}]}{[r_{it}]} (2\hat{P}_{it} - 1) \quad (13)$$

Такой портфель будет обладать и одновременно наименьшим возможным риском:

$$\sigma_p^2 = 4 \sum_{i=1}^m w_i^2 r_{it-1}^2 \times \hat{P}_{it} (1 - \hat{P}_{it}), \quad (14)$$

Этот инвестиционный портфель должен строиться из активов, вероятность положительной доходности которых больше, чем у других. При этом состав подобным образом построенного портфеля должен соответствовать вероятностной предпочтительности входящих в структуру портфеля активов. Для построения, удовлетворяющего данным требованиям портфеля ценных бумаг, удобно применять метод парных сравнений, часто используемый при потроении экспертных оценок. В данном подходе при формировании матрицы парных сравнений вместо экспертных оценок будем применять итоги сопоставления активов по вероятности получения положительной доходности.

Формированию матрицы вероятностных предпочтений предшествует построение вероятностного описания возможностей получения положительной доходности всеми входящими в состав инвестиционного портфеля активами. Данное описание идентифицируется формированием логит-модели бинарного выбора для каждого актива. В итоге для каждого момента времени по каждому активу с применением предложенных моделей определяются в зависимости от рыночной конъюнктуры, характеризуемой соответствующими индексами, вероятности:

$$\begin{array}{cccc} P_{11}, & P_{21}, & \dots, & P_{m1} \\ P_{12}, & P_{22}, & \dots, & P_{m2}, \\ \vdots & \vdots & \dots, & \vdots \\ P_{1n}, & P_{2n}, & \dots, & P_{mn} \end{array}$$

Выделим преимущества предложенного метода. Первое преимущество заключается в том, что логит-модель допускает использование нескольких факторов в сравнение с одноиндексной линейной регрессией, применяемой Шарпом в своей модели инвестиционного портфеля. При этом модели различных содержащихся в одном и тот же портфеле ценных бумаг активов могут отличаться набором факторов, влияющих на уровень положительной доходности. Второе преимущество заключается в том, что портфели вероятностного предпочтения могут формироваться для каждого момента времени, что приводит к расширению возможностей портфельного анализа в сопоставлении с той моделью Шарпа, где данная возможность отсутствует.

Согласно выделенным особенностям, матрицу вероятностных предпочтений следует формировать для каждого момента времени согласно правилу, представленному данной матрицей:



$$P_t = \begin{pmatrix} p_{11} = P_{1t}/P_{1t} & p_{12} = P_{1t}/P_{2t} & \dots & p_{1m} = P_{1t}/P_{mt} \\ p_{21} = P_{2t}/P_{1t} & p_{22} = P_{2t}/P_{2t} & \dots & p_{2m} = P_{2t}/P_{mt} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ p_{m1} = P_{mt}/P_{1t} & p_{m2} = P_{mt}/P_{2t} & \dots & p_{mm} = P_{mt}/P_{mt} \end{pmatrix} \quad (15)$$

Таким образом, для каждого временного интервала можно построить портфель ценных бумаг в виде нормированного собственного вектора матрицы вероятностных предпочтений, рассчитываемого следующим образом:

$$v_t^k = P_t \times \hat{v}_t^{k-1} \quad (16)$$

$$\hat{v}_{it}^k = \frac{v_{it}^k}{\sum_{i=1}^m v_{it}^k}, i = \overline{1, m} \quad (17)$$

Итерационный процесс вычисления нормированного собственного вектора продолжается до того момента, пока разница между компонентами вектора, рассчитанными в двух последовательных итерациях, не станет меньше выбранной точности  $\varepsilon$ , а именно:

$$\max_i |\hat{v}_{it}^k - \hat{v}_{it}^{k-1}| < \varepsilon \quad (18)$$

Результатом данного процесса будет вектор, компоненты которого представлены весовыми коэффициентами инвестиционного портфеля, главным отличием которого в сравнение с определяемыми с помощью оптимизационного метода портфелями, является то, что в нем не применяются «короткие продажи», так как у вектора, определяющего состав этого портфеля, должны отсутствовать отрицательные компоненты. Другой отличительной особенностью данного портфеля является то, что это портфель текущего момента, так как в следующий момент времени вероятности могут претерпеть изменения, и, как следствие, поменяются и вероятностные предпочтения и, следовательно, изменится и состав инвестиционного портфеля.

Если же отказаться от нормирования весовых коэффициентов на каждом этапе выполнения процесса, то для произвольного  $t$  вычисляется вектор:

$$w_t = V'V \times w_{t-1} \quad (19)$$

нормированный итог которого определяется следующим образом:

$$w_{ik} = \frac{w_{tk}}{\sum_{j=1}^m w_{tj}}, k = \overline{1, m} \quad (20)$$

что служит усредненным портфельным решением. Итерационная процедура продолжается до получения почти совпадающих двух соседних итераций.

Предложена возможность формирования ранговых портфельных решений, при построении которых оптимизация заменена процедурой предпочтений, обычно используемой в обработке экспертных данных. Обоснованность такой замены связана с зависимостью доходности и риска от единственной характеристики - вероятности положительной доходности актива, предпочтения по которой одновременно приводят к росту доходности и снижению риска.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

В результате выполнения исследования была достигнута поставленная цель работы: предложены математические модели для реализации новых подходов к моделированию портфелей ценных бумаг в бинарной среде фондового рынка.

Достигнутая в работе цель основана на решении комплекса задач, определяющих логику диссертационного исследования. К данным задачам относятся:

- моделирование доходности в случайной среде бинарных ожиданий;
- анализ дважды бинарного подхода к построению модели доходности актива и оценка возможностей его применения при моделировании портфельных решений;
- построение диагональной вероятностной модели портфельного инвестирования и исследование ее основных свойств;
- построение модели портфельного инвестирования на основе рыночного взаимодействия финансовых активов;
- разработка алгоритмического подхода к построению портфеля на основе парного взаимодействия активов;
- оценка возможности применения ранговых решений в портфельном анализе.

В диссертационной работе на основе исследований особенностей финансового моделирования инвестиционных решений был определен и предложен алгоритм финансового моделирования принятия инвестиционных решений с применением прикладных программных продуктов, позволяющих сократить трудоемкость и получить достоверные результаты, исходя из заданных исходных параметров.

Эффективный анализ сложных и неопределенных ситуаций, связанных с принятием стратегических инвестиционных решений, строится на основе финансового моделирования и соответствующей инструментальной базы.

На основе принципов, сформулированных Марковицем, в диссертации построена диагональная модель портфельного инвестирования и проведены вычислительные эксперименты, содержательная интерпретация результатов которых отличается от интерпретации Марковица. Если из результатов, полученных Марковицем, следовало, что чем выше уровень ожидаемой доходности, тем выше уровень риска, то из полученных в диссертации итогов можно сделать следующий вывод: риск тем выше, чем больше отклонение ожидаемой доходности от возможностей рынка. Это заметное уточнение характера связи риска с доходностью, из которого следует необходимость решения новых задач, ориентированных на развитие теории финансового рынка.

Идеи, лежащие в основе предложенного подхода, позволили разработать модель на принципе рыночного взаимодействия финансовых активов. В данной модели вместо квадратичного риска используется линейный риск, позволяющий определить не только величину риска, но и его направленность. В качестве критерия оптимизации портфеля в этой модели использовалась функция полезности специального вида. Для случая, когда портфель строится из двух активов, предлагается специальный способ построения портфеля, по сути, являющийся мостиком, связывающим между собой фундаментальный и технический анализ и позволяющий в задачах технического анализа использовать идеи фундаментального.

При определении значений основных характеристик множества инвестиционных возможностей с помощью вероятности положительной доходности актива было установлено, что при росте вероятности доходность увеличивается, а риск снижается. Этот факт стал отправным моментом для исследования возможности формирования портфеля ценных бумаг на основе аппарата парных предпочтений. Заметим, что в портфелях, построенных на основе предпочтений, отсутствуют короткие продажи. В то же время эффективность этих портфелей в тех случаях, когда требования к доходности чрезмерно не завышаются, оказалась вполне сопоставимой с эффективностью портфелей Марковица.

Важно отметить, что все отмеченные выше результаты получены в рамках единого подхода, возможности которого, без сомнения, не исчерпаны. Прежде всего, это касается практического аспекта использования полученных результатов. Предложенный подход обеспечивает оперативную возможность контроля оптимальности портфельного решения, что позволяет говорить об аналогии данного подхода с методикой определения стоимости опционов. Дальнейшее совершенствование этого подхода позволяет надеяться на создание инструмента, который будет использоваться биржей.

#### **IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

1. Dobrina M.V. A new approach to modeling and analysis portfolio investment solutions / D.A. Endovitskiy, V.V. Davnis, M.V. Dobrina // *Opcion. Revisten de Ciencias Humanas y Sociales. Universidad del Zulia Facultad Experimental de Ciencias Departamento de Ciencias Humanas Maracaibo*, 2019. - Año 35, Regular No.24. – pp. 420-440. - 1,31 п.л./ 0,44 п.л. (Scopus)

2. Dobrina M.V. Application of adaptive models with discrete dependent variables in the substantiation of investment solutions under the context of fractal market / Dobrina M.V., Kosareva E.A., Yurova Y.A. // *Academy of Strategic Management Journal. Financial Management & Accounting*, 2021. - Volume 20, Special Issue 3. - pp. 1-9. - 0,56 п.л./ 0,19 п.л. (Scopus)

3. Dobrina M.V. Models of Adaptive Targeted Forecasting of Socio-Economic Region Development Indicators / Davnis V.V., Dobrina M.V., Chekmarev A.V., Tinyakova V.I. // *Journal of Advanced Research in Law and Economics*, 2019. - Vol.10, No.4 (42). - pp. 103-113. - 0,63 п.л./ 0,15 п.л. (Scopus)

4. Добрина М.В. Санкт-Петербургский парадокс и его применение в задачах моделирования финансовых рынков / М.В. Добрина // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2017. - Выпуск № 11 (95). - С. 20-30. - 0,69 п.л./ 0,69 п.л.

5. Добрина М.В. Функции полезности и их применение в моделировании портфельных решений / М.В. Добрина // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2017. - Выпуск № 8 (92). – С. 64-76. - 0,81 п.л./ 0,81 п.л.

6. Добрина М.В. Эконометрический подход к алгоритмическому формированию портфеля ценных бумаг / В.В. Давнис, М.В. Добрина // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2017. - Выпуск № 12 (96). - С. 48-58. - 0,69 п.л./ 0,35 п.л.

7. Добрина М.В. Эконометрические модели с дискретной зависимой переменной в портфельном анализе / В.В. Давнис, М.В. Добрина, Т.Н. Белокопытова // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2018. - Выпуск № 12 (108). – С. 8-19. - 0,75 п.л./ 0,25 п.л.

8. Добрина М.В. Адаптивное применение моделей портфельного инвестирования в задачах технического анализа на фрактальном рынке / Е.А. Косарева, Я.А. Юрова, М.В. Добрина // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление*, 2019. – Выпуск № 4. – С. 164-170. - 0,44 п.л./ 0,15 п.л.

9. Добрина М.В. Оценка и интерпретация рисков на фондовом рынке: основные подходы / М.В. Добрина // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2019. – Выпуск № 2 (110). – С. 30-40. - 0,69 п.л./ 0,69 п.л.

10. Добрина М.В. Ранговый портфельный анализ / В.В. Давнис, М.В. Добрина // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2019. - Выпуск № 3 (111). - С. 21-36. - 1,00 п.л./ 0,50 п.л.

11. Добрина М.В. Дважды бинарный метод построения модели доходности финансового актива: идентификация, анализ и прогноз / М.В. Добрина // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2022. - Выпуск № 1. - С. 184-195. - 1,13 п.л./ 1,13 п.л.

12. Добрина М.В. Управление портфелем ценных бумаг: поиск эффективной границы / М.В. Добрина // Информационно-измерительные и управляющие системы, 2023. – Т. 21. № 6. – С. 64-71. – 0,50 п.л./ 0,50 п.л.

13. Добрина М.В. Модель ARIMA в машинном обучении: прогнозирование временных рядов / М.В. Добрина // Мягкие измерения и вычисления, 2024. – Т. 74. № 1. – С. 36-47. – 0,75 п.л./ 0,75 п.л.

14. Dobrina M.V. Econometric Models with Discrete Dependent Variable in Portfolio Analysis / Dobrina M.V., Yurova Y.A., Shurshikova G.V. // Series:Advances in Economics, Business and Management Research. - Proceedings of the 2nd International Conference on Economy, Management and Entrepreneurship (ICOEME 2019). - ATLANTIS PRESS. - pp. 86-90. - 0,31 п.л./ 0,10 п.л.

15. Добрина М.В. Упреждающее описание вейвлет-нейронной сети в прогнозировании финансовых котировок / А.Н. Борисов, Н.А. Борисов, М.В. Добрина, И.Л. Каширина // М: Маска. – Москва, 2020. – 142 С. – 35,50 п.л./ 8,88 п.л. (Монография).

16. Добрина М.В. Модели доходности активов и их применение в моделях портфельного инвестирования / В.В. Давнис, М.В. Добрина // Экономическое прогнозирование: модели и методы. - Воронежский государственный университет – Воронеж, 2016. - С. 197-200. - 0,25 п.л./ 0,13 п.л.

17. Добрина М.В. Алгоритм метода Мартингейл на FOREX / М.В. Добрина // Экономическое прогнозирование: модели и методы. - Воронежский государственный университет. – Воронеж, 2017. - С. 87-90. - 0,25 п.л./ 0,25 п.л.

18. Добрина М.В. Алгоритмическое моделирование портфеля ценных бумаг / В.В. Давнис, М.В. Добрина // Экономическое прогнозирование: модели и методы. - Воронежский государственный университет. - Воронеж, 2017. - С. 118-123. -0,38 п.л./ 0,19 п.л.

19. Добрина М.В. Алгоритмы управления портфелем в режиме онлайн / М.В. Добрина // Электронный бизнес: проблемы, развитие и перспективы. – Воронежский государственный университет. – Воронеж, 2017. - С. 38-40. - 0,19 п.л./ 0,19 п.л.

20. Добрина М.В. Итерационный алгоритм оптимизации инвестиционного портфеля в системе Matlab-Simulink / М.В. Добрина // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. - Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. - Выпуск № 2. – Воронеж, 2017. - С. 89-92. - 0,19 п.л./ 0,19 п.л.

21. Добрина М.В. Оптимизация инвестиционного портфеля Дж.Тобина для минимального риска / М.В. Добрина // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. - Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. - Выпуск № 2. – Воронеж, 2017. - С. 30-33. - 0,25 п.л./ 0,25 п.л.

22. Добрина М.В. Оптимизация инвестиционного портфеля с применением Microsoft Excel / М.В. Добрина // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. - Воронежский государственный технический университет. - Сборник № 1(15). – Воронеж, 2017. – С. 65-72. - 0,50 п.л./ 0,50 п.л.

23. Добрина М.В. Формирование оптимального инвестиционного портфеля Марковица / М.В. Добрина // Экономика и предпринимательство. - Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. - Сборник № 1(14). – Воронеж, 2017. – С. 158-163. - 0,38 п.л./0,38 п.л.

24. Добрина М.В. Riskmetrics как система оценки рисков портфеля ценных бумаг / В.В. Давнис, М.В. Добрина, А.В. Чекмарев // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. - Воронежский государственный технический университет. - Выпуск № 3 (13). – Воронеж, 2018. - С. 18-21. - 0,25 п.л./ 0,13 п.л.

25. Добрина М.В. Алгоритм расчета VaR в технологии RiskMetrics / В.В. Давнис, М.В. Добрина // Информационные технологии в строительных, социальных и экономиче-

ских системах. - Воронежский государственный технический университет. - Выпуск № 4 (14). – Воронеж, 2018. - С. 29-34. - 0,31 п.л./ 0,16 п.л.

26. Добрина М.В. Классификация рисков портфеля ценных бумаг / М.В. Добрина // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах - Воронежский государственный технический университет. - Выпуск № 3 (13). – Воронеж, 2018. - С. 39-42. - 0,19 п.л./ 0,19 п.л.

27. Добрина М.В. Критика модели CAPM и новые подходы к оценке риска / М.В. Добрина // Экономическое прогнозирование: модели и методы - Воронежский государственный университет. – Воронеж, 2018. - С. 195-199. - 0,31 п.л./ 0,31 п.л.

28. Добрина М.В. Оптимизация инвестиционного портфеля Дж. Тобина для максимальной эффективности / М.В. Добрина // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. - Воронежский государственный технический университет. - Выпуск № 1-2 (11-12). – Воронеж, 2018. - С. 56-59. - 0,25 п.л./ 0,25 п.л.

29. Добрина М.В. Применение байесовских методов для повышения точности прогноза доходности инвестиционного портфеля / В.В. Давнис, М.В. Добрина, А.В. Чекмарев // Электронный бизнес: проблемы, развитие и перспективы. – Воронежский государственный университет. – Воронеж, 2018. - С. 44-47. - 0,25 п.л./ 0,10 п.л.

30. Добрина М.В. Проблема выбора портфеля ценных бумаг / М.В. Добрина // Экономика в инвестиционно-строительном комплексе и ЖКХ. - Воронежский государственный технический университет. - Выпуск № 1(15). – Воронеж, 2018. - С. 162-165. - 0,25 п.л./ 0,25 п.л.

31. Добрина М.В. Современные информационные технологии в управлении инвестиционным портфелем / М.В. Добрина // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. - Воронежский государственный технический университет. - Выпуск № 1-2 (11-12). – Воронеж, 2018. - С. 95-98. - 0,25 п.л./0,25 п.л.

32. Добрина М.В. Теория Эрроу о неприятии риска / М.В. Добрина // Электронный бизнес: проблемы, развитие и перспективы. - Воронежский государственный университет. – Воронеж, 2018. - С. 9-12. - 0,25 п.л./ 0,25 п.л.

33. Добрина М.В. Оценка и интерпретация рисков на фондовом рынке / В.В. Давнис, М.В. Добрина // Теория и практика функционирования финансовой и денежно-кредитной системы России. - Воронежский государственный университет. – Воронеж, 2019. - С. 19-21. - 0,31 п.л./ 0,31 п.л.

34. Добрина М.В. Оценка инвестиционного портфеля по критерию риска / М.В. Добрина // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. - Воронежский государственный технический университет. - Выпуск № 1 (15). – Воронеж, 2019. - С. 74-78. . - 0,31 п.л./ 0,31 п.л.

35. Добрина М.В. Современные тенденции в развитии аппарата экономического прогнозирования / В.В. Давнис, М.В. Добрина, А.В. Чекмарев // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. - Воронежский государственный технический университет. - Выпуск № 1 (15). – Воронеж, 2019. - С. 85-89. - 0,31 п.л./ 0,10 п.л.

36. Добрина М.В. Эффекты портфельного инвестирования / М.В. Добрина // Экономика в инвестиционно-строительном комплексе и ЖКХ. - Воронежский государственный технический университет. - Выпуск № 1(16). – Воронеж, 2019. - С. 181-186. - 0,38 п.л./ 0,38 п.л.

37. Добрина М.В. Инструментальные средства управления портфелем инвестиций / М.В. Добрина // Современная математика и концепции инновационного математического образования. – Финансовый Университет при Правительстве РФ. - Т. 10. № 1. – Москва, 2023. - С. 256-259. - 0,25 п.л./ 0,25 п.л.