

На правах рукописи

Фатьянова Маргарита Эдуардовна

**МОДЕЛИ И СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОПЦИОННЫМ ПОРТФЕЛЕМ
СТРУКТУРИРОВАННОГО ПРОДУКТА**

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных
и экономических системах

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2021 г.

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель **Трифонов Андрей Юрьевич**,
доктор физико-математических наук, профессор

**Официальные
оппоненты:** **Ханова Анна Алексеевна**,
доктор технических наук, профессор кафедры прикладной
информатики Астраханского государственного
технического университета (г. Астрахань)

Пашинская Татьяна Юрьевна,
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры
информационных технологий и бизнес-аналитики
Томского государственного университета

Ведущая организация: Федеральное государственное учреждение
«**Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление Российской академии
наук»** (ФИЦ ИУ РАН), г. Москва

Защита состоится «24» июня 2021 года в 15:15 на заседании диссертационного совета Д.212.268.05 ТУСУРа по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ком. 201.

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте <https://postgraduate.tusur.ru/urls/axnnsfzo> и в библиотеке ТУСУРа по адресу: 634045, г. Томск, ул. Красноармейская, 146.

Автореферат разослан _____ 2021 г..

Ученый секретарь
диссертационного совета

Костюченко Евгений Юрьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Формирование финансовых портфелей с элементами управления и минимальным риском является актуальной научной задачей как для сохранения, так и приумножения денежных средств населения страны. Наиболее значимыми представляются возможности по формированию финансовых портфелей с использованием производных финансовых инструментов (деривативов), позволяющих хеджировать риски и управлять доходностью сделок. Одним из примеров такого рода финансовых продуктов являются структурированные продукты, привлекающие инвесторов сочетанием параметров возможной высокой доходности и сбалансированного риска.

Несмотря на ежегодное совершенствование Московской биржей (МБ) линейки финансовых продуктов, тарифов, новых технологий, регламентов управления рисками, развитие портфельного инвестирования происходит крайне медленно. Это напрямую связано с особенностями Московской биржи в сравнении с биржевыми площадками США, Японии, Китая, Великобритании, а именно недостаточный набор финансовых инструментов, низкая ликвидность, асинхронность времени работы с основными мировыми торговыми площадками.

Кроме того, для большинства российских частных инвесторов самостоятельное формирование финансовых продуктов представляется невозможным ввиду высокой сложности понимания моделей и методов их конструирования. Вследствие этого инвестор готов переплачивать высокие комиссии банкам и брокерским компаниям за покупку готового «упакованного» финансового портфеля.

Анализ существующих программных комплексов для формирования финансовых портфелей лицами, принимающими решения (ЛПР), на российском рынке показал отсутствие таковых. Как правило, банки и брокерские компании предлагают своим клиентам «торговые роботы» - программы, торгующие по специально заданному алгоритму, которые имеют высокий риск потери первоначальной инвестированной суммы.

В этой связи **актуальность** диссертационного исследования обусловлена потребностью в усовершенствовании математических моделей формирования опционных портфелей для условий биржевого рынка, а также в разработке системы поддержки принятия решений (СППР) для управления финансовым продуктом.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является опционный портфель структурированного продукта. Предметом исследования являются модели и система поддержки принятия решений для управления опционным портфелем.

Степень изученности темы исследования. Теория портфельного инвестирования получила развитие в исследованиях зарубежных ученых: Г. Марковица, Дж. Тобина, У.Ф. Шарпа, Р.Ф. Энгла, Г. Дж. Александера, Д. Кокса, С. Росса, Дж. В. Бейли, Дж. Литнера, а также в работах российских ученых: Ширяева А.Н., Кабанова Ю.М., Пергаменщикова С.М., Берзона Н.И., Аркина В.И., Белкиной Т.А., Терпугова В.В., А.Н. Ширяева, Я.М. Миркина, Мицеля А.А., Пимонова А.Г., Домбровского В.В., Мельникова А.В., Недосекина А.О., Бронштейна Е.М., Шапкина А.Ф. Основопологающие работы по нахождению справедливой цены опционного контракта принадлежат зарубежным ученым F. Black, M. Scholes и R.C. Merton, а

также теория ценообразования опционов изложена в трудах Д. Халла, Д. Кокса, С. Росса, Н. Бингхэма, П. Карра, П. Танкова, Смитсона С., Фельдмана А.Б., Вайна С.

Проблеме оптимального управления опционным портфелем посвящены исследования А.Н. Буренина, А.Б. Фельдмана, А.С. Долматова, А.М. Абрамова, Голембиовского Д.Ю., С.В. Курочкина, Пичугина И.С., Avellaneda A., Topaloglou N., Davari-Ardakani H., Liu J. Формированию инвестиционных портфелей, а также конструированию структурированных продуктов посвящены работы М.Ю. Глухова, В.В. Омельченко, Я.Л. Шляпочника, А.А. Мицеля и В.А. Ефремова, М.Е. Семенова.

Основополагающие научные разработки в области статических моделей формирования портфеля представлены трудами авторов Rendleman R., Horasanli M., С.В. Курочкин, Пичугин И.С., Lin С.-С., Eichhorn A., Wallace S., Topaloglou N., Пузановский А. А. В работах авторов Yin L., Papahristodoulou С., Gao P.W., Davari-Ardakani H., Testuri С., Uryasev S., Johnson N.L., Голембиовского Д.Ю., Долматова А.С., Абрамова А.М., Мицеля А.А. и Красненко Н.П., Рекундаль О.И. рассматривается многопериодный подход с возможностью динамического пересмотра портфеля (динамические модели).

Противоречие. В результате изучения темы исследования выявлено существование необходимости разрешения общего противоречия, которое заключается в отсутствии:

- 1) математической модели для формирования и управления опционным портфелем, учитывающей одновременное наличие всех рыночных показателей: гарантийное обеспечение покупателя (ГО покупателя); базовое гарантийное обеспечение непокрытых позиций (БГОНП); базовое гарантийное обеспечение покрытых позиций (БГОП); ликвидность финансовых инструментов; цены покупки и продажи; транзакционные расходы;
- 2) системы поддержки принятия решений (СППР) для управления опционным портфелем структурированного продукта.

Проблема исследования. Выявленное противоречие определило проблему исследования, а именно каким образом необходимо:

- 1) усовершенствовать математическую модель для формирования и управления опционным портфелем с учетом совместного наличия всех вышеперечисленных параметров;
- 2) разработать СППР для управления опционным портфелем структурированного продукта.

Целью исследования является совершенствование моделей и разработка системы поддержки принятия решений для управления опционным портфелем структурированного продукта.

Гипотеза исследования. Для достижения поставленной цели была выдвинута гипотеза, согласно которой ЛПР сможет самостоятельно сформировать финансовый продукт, если существует СППР, которая позволяет сконструировать структурированный продукт или опционный портфель на основе усовершенствованной математической модели.

Задачи. В соответствии с обозначенной проблемой, целью и гипотезой предполагается решить следующие задачи исследования:

1. теоретически обосновать современное состояние проблемы развития российского рынка деривативов и проанализировать существующие математические модели формирования опционных портфелей;
2. описать подход к конструированию структурированных продуктов;
3. предложить модификации статической и динамической моделей управления опционным портфелем структурированного продукта для их адаптации к условиям биржевого рынка;
4. создать систему поддержки принятия решений (СППР) для формирования и управления опционным портфелем структурированного продукта;
5. провести апробацию статической и динамической моделей в торговом терминале Quik в режиме реального времени, а также имитационное моделирование процесса управления опционным портфелем согласно динамической модели с учетом возможного переформирования и без него.

Методы. Для реализации вышеуказанных задач исследования использовались методы теории вероятностей и случайных процессов, математической статистики, стохастического программирования, ветвей и границ, симплекс-метод.

Программные продукты. Математическое моделирование проводилось с использованием следующих программных продуктов: Matlab, IBM ILOG CPLEX Optimization Studio, Quik, Microsoft Access, Microsoft Excel.

Научная новизна результатов исследования.

1. Предложена модификация динамической модели управления опционным портфелем структурированного продукта, *отличающаяся* наличием:

- классификации гарантийного обеспечения (ГО, БГОНП, БГОП), *позволяющей* лицу, принимающему решение (ЛПР), учитывать необходимые размеры денежных сумм, находящихся на брокерском счете для самостоятельного осуществления сделок в торговом терминале Quik;
- введенного ограничения в математическую постановку задачи, *позволяющего* избежать превышения суммарного гарантийного обеспечения портфеля над первоначальной суммой инвестиций;
- добавленных условий в математическую постановку задачи для ограничения общего количества продаваемых опционов, *позволяющих* уменьшить риск опционного портфеля при значительном изменении цены базового актива.

В предложенной модификации динамической модели управления опционным портфелем *исключено* выражение, *приводящее* к двойному учету ликвидационной стоимости опционного портфеля, что являлось ошибочным предположением.

2. Проведена модернизация статической модели формирования опционного портфеля структурированного продукта. Усовершенствованная модель *отличается* от исходной наличием:

- учета необходимого размера суммарного гарантийного обеспечения опционного портфеля, *позволяющего* рассчитать входную денежную сумму для инвестирования;
- добавленного условия в математическую постановку задачи расчета транзакционных расходов, *позволяющего* определить суммарную денежную сумму, уплачиваемую в качестве комиссии брокерской компании.

3. Создана система поддержки принятия решений (СППР) для формирования и управления опционным портфелем структурированного продукта, *отличающаяся* наличием:

- модуля построения структурированных продуктов, *позволяющего* ЛПР задать входные данные в виде актива, сценария изменения его цены в будущем, уровня допустимого риска, суммы инвестирования и, в результате, рассчитать необходимые денежные суммы для формирования безрисковой и рискованной составляющих структурированного продукта;
- модуля *первоначального формирования* опционного портфеля структурированного продукта согласно **статической модели**, *позволяющего* ЛПР указать предполагаемый сценарий изменения цены актива в будущем (рост, падение, колебание), ввести начальные входные данные и получить необходимое количество опционов для осуществления сделок в торговом терминале Quik;
- модуля *первоначального формирования* опционного портфеля структурированного продукта согласно **динамической модели**, *позволяющего* ЛПР построить портфель без указания будущего направления изменения цены актива, задать входные данные и рассчитать необходимое количество опционов для покупки или продажи в торговом терминале Quik;
- модуля *перестроения* опционного портфеля структурированного продукта согласно **динамической модели**, *позволяющего* ЛПР управлять финансовым портфелем, а именно задать входные данные с учетом первоначального формирования и рассчитать необходимое количество опционов для осуществления сделок в торговом терминале Quik;
- базы данных, хранящей рыночные показатели выбранного актива, введенные входные данные пользователем, а также результаты расчетов.

Внедрение результатов диссертационного исследования. Модели и система поддержки принятия решений прошли успешное тестирование в двух организациях, а именно АО «Газпромбанк» и ООО «Компания БрокерКредитСервис» (БКС), что подтверждается выданными актами внедрения.

Достоверность полученных результатов. Достоверность корректной работоспособности разработанной СППР на основе статической и динамической моделей подтверждается:

- апробацией в торговом терминале Quik в режиме реального времени с фиксированием положительной доходности при формировании шести финансовых портфелей;
- результатами проведения имитационного моделирования, полученными в данной диссертационной работе,
- проведенным тестированием в компаниях АО «Газпромбанк» и ООО «Компаний БрокерКредитСервис» (БКС) с получением положительной доходности, что подтверждают соответствующие акты внедрения.

Достоверность научных положений подтверждается полнотой теоретических и практических исследований, а также положительной оценкой на научных семинарах (в том числе в ЦЕМИ РАН, ФИЦ ИУ РАН), конференциях, форумах.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии подходов теории оптимального управления опционным портфелем. Предложенные модификации

статической и динамической моделей позволяют формировать и управлять опционным портфелем в условиях биржевого рынка в режиме реального времени. Описанный подход к конструированию структурированных продуктов позволяет ЛПР сформировать финансовый продукт самостоятельно, без помощи финансовых советников, тем самым уменьшить величину комиссий банков на 0.5-3% в зависимости от первоначальной суммы инвестирования.

Практическая значимость работы заключается:

- в разработанной СППР (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019615189 от 19 апреля 2019 г.), реализующей применение усовершенствованных моделей, предложенных в данном диссертационном исследовании;
- в программе для проведения имитационного моделирования процесса управления опционным портфелем (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019615033 от 17 апреля 2019 г.).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. динамическая модель управления опционным портфелем структурированного продукта, позволяющая формировать и реформировывать финансовый портфель в условиях соответствующей рыночной ситуации (*соответствует п.10 паспорта специальности 05.13.10*);
2. статическая модель формирования опционного портфеля структурированного продукта, обеспечивающая реализацию краткосрочных целей инвестора (*соответствует п.4 паспорта специальности 05.13.10*);
3. СППР, позволяющая решить актуальную задачу конструирования структурированных продуктов и опционных портфелей напрямую пользователем, без помощи финансовых советников брокерских компаний (*соответствует п.6 паспорта специальности 05.13.10*).

Апробация результатов диссертационного исследования. Результаты проведенного диссертационного исследования представлены на мероприятиях российского и международного уровня:

- *на пяти научных семинарах:*

1. семинар в Центральном экономико-математическом институте Российской академии наук (ЦЕМИ РАН, Москва, 2019);
2. семинар в Федеральном исследовательском центре «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН, Москва, 2019);
3. два семинара на Механико-математическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, 2019);
4. семинар на факультете Вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, 2019);

- *на 21 международной конференции:*

«Статистические методы анализа экономики и общества» (НИУ ВШЭ, Москва, 2017, 2019); «Ломоносов-2019» (МГУ, Москва, 2019); Апрельская конференция по проблемам развития экономики и общества (НИУ ВШЭ, Москва, 2018); «Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками» (СГУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, 2017); «Экономика, экология и общество России в 21-м столетии» (Санкт-Петербург, 2014, 2017);

«Информационные технологии и нанотехнологии» (Самара, 2017); «Молодежь и современные информационные технологии» (Томск, 2014, 2016); «Научная сессия ТУСУР» (Томск, 2016); «Перспективы развития фундаментальных наук» (Томск, 2013, 2014, 2015, 2016); «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине» (Томск, 2014, 2015, 2016); «Экономика информационного общества» (Томск, 2015); «Импульс» (Томск, 2013, 2014);

• *на 13 всероссийских конференциях:*

«Шаг в науку» (Томск, 2017); «Наука будущего – наука молодых» (Нижний Новгород, 2016, 2017); конкурс научных работ ВИК (Санкт-Петербург, 2016); «Знания-Онтологии-Теории» (Новосибирск, Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, 2013, 2015); «Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых» (Томск, 2015); «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» (Томск, 2015); «Россия Молодая» (Кемерово, 2015); «Информационно-измерительная техника и технологии» (Томск, 2015); «Современное состояние и проблемы естественных наук» (Юрга, 2015); «Актуальные вопросы экономики и менеджмента: свежий взгляд и новые решения» (Томск, 2014); конференция по математике и механике (Томск, 2013 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования изложены в 43 работах, в их числе 6 статей в изданиях, рекомендуемых ВАК, 1 статья в сборнике трудов конференции, индексируемом в SCOPUS, 34 публикации в материалах Всероссийских и Международных научных конференциях, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ Роспатента РФ.

Личный вклад автора. Все научные результаты диссертационного исследования и проведенной апробации получены автором самостоятельно. Среди публикаций, выполненных в соавторстве, личный вклад автора состоит в следующем: в [1] – разработка модификации динамической модели для ее адаптации к условиям биржевого рынка; в [2, 3] – постановка задачи, построение однопериодного дерева сценариев изменения цены актива, проведение анализа чувствительности, интерпретация результатов; в [5, 20-22] – постановка и реализация вычислительного эксперимента, интерпретация результатов; в [6,7,19, 29-31] – разработка кодов программы, реализация вычислительных экспериментов, интерпретация результатов; в [36,38,42,43] – совершенствование методики конструирования структурированных продуктов, реализация вычислительных экспериментов, проведение анализа чувствительности параметров, интерпретация результатов.

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение, четыре главы, выводы к каждой главе, заключение, список использованной литературы из 205 наименований, 8 приложений. Диссертационная работа изложена на 167 страницах, в том числе содержит 131 страницу основного текста, 48 рисунков и 36 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** приводится краткое обоснование актуальности, формулировка целей и задач, используемые методы, практическая значимость и научная новизна исследования.

Первая глава посвящена анализу современного состояния проблемы формирования опционных портфелей. Рассмотрены спецификации опционных и фьючерсных контрактов, а также теоретические и практические основы их

использования. Приведен обзор существующих статических и динамических математических моделей формирования опционных портфелей. Проанализированы меры риска при выборе оптимального опционного портфеля. В качестве инструмента управления риском использована методология сценарного подхода. Анализ научных исследований по проблемам управления опционным портфелем показал необходимость совершенствования имеющихся математических моделей для получения возможности применения их на биржевом рынке.

Во **второй главе** предложены модификации динамической и статической моделей формирования и управления опционным портфелем, а также приведено описание процесса конструирования структурированных продуктов.

Динамическая модель. Рассматривается задача формирования и управления финансовым портфелем, состоящим из количества купленных $x_{\nu,\tau}^{mih}$ и проданных $y_{\nu,\tau}^{mih}$ опционов по соответствующим ценам $a_{\nu,\tau}^{mih}$ и $b_{\nu,\tau}^{mih}$, а также суммарным гарантийным обеспечением $Sg_{\nu,\tau}$. Здесь m - индекс срока экспирации опциона (где $m \in M_\tau$, M_τ - множество, содержащее все имеющиеся сроки экспирации опционов на этапе τ); i - индекс типа опциона (где $i \in I$, $I = \{call, put\}$ - множество, состоящее из типов опционов колл и пут); h - индекс страйка опциона (где $h \in H_{\nu,\tau}^m$, $H_{\nu,\tau}^m$ - множество, состоящее из страйков опционов, имеющих срок экспирации m в вершине дерева сценариев (ν, τ)); ν - номер сценария (где $\nu = \overline{1, N}$, N - общее количество всех возможных сценариев на этапе T); τ - номер этапа, на котором происходит формирование, переформирование либо совершение офсетных сделок опционного портфеля (где $\tau = \overline{1, T}$, T - количество этапов дерева сценариев), (ν, τ) - вершина дерева сценариев, соответствующая сценарию ν этапа τ .

Укажем необходимые ограничения задачи. Неотрицательность переменных задается в виде: $x_{\nu,\tau}^{mih} \geq 0$, $y_{\nu,\tau}^{mih} \geq 0$, $x_{\nu,\tau}^{mih} \in Z$, $y_{\nu,\tau}^{mih} \in Z$, $\tau = \overline{1, T}$, $\nu = \overline{1, N}$, (1)

$m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau})$, $i \in I$, $h \in H_{\nu,\tau}^m$, где $\overline{M_\tau}$ - множество, содержащее только сроки экспирации опционов, соответствующие этапу τ , $\overline{M_\tau} \subset M_\tau$.

Условия равенства количества покупаемых и продаваемых опционов на этапе τ :

$$x_{\nu_1,\tau}^{mih} = x_{\nu_2,\tau}^{mih}, \quad y_{\nu_1,\tau}^{mih} = y_{\nu_2,\tau}^{mih}, \quad \tau = \overline{1, (T-1)}, \quad \varphi = \overline{1, G_\tau}, \quad \nu_1, \nu_2 \in U_{\varphi,\tau}, \quad (2)$$

$m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau})$, $i \in I$, $h \in H_{\nu,\tau}^m$, где G_τ - число непересекающихся множеств $U_{\varphi,\tau}$,

$$\text{Количество опционов в портфеле момент времени } \tau = 1: z_{\nu,\tau}^{mih} = z_0^{mih}, \quad (3)$$

$$\tau = 1, \quad \nu = \overline{1, N}, \quad m \in M_\tau, \quad i \in I, \quad h \in H_{\nu,\tau}^m.$$

Количество опционов в портфеле до его переформирования:

$$z_{\nu,\tau}^{mih} = z_{\nu,\tau-1}^{mih} + x_{\nu,\tau-1}^{mih} - y_{\nu,\tau-1}^{mih}, \quad (4)$$

$$\tau = \overline{2, T}, \quad \nu = \overline{1, N}, \quad m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau}) \cap M_{\tau-1}, \quad i \in I, \quad h \in H_{\nu,\tau}^m.$$

Общая сумма транзакционных расходов для формирования / переформирования портфеля: $C_{\nu,\tau} = c \cdot \sum_{m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau})} \sum_{h \in H_{\nu,\tau}^m} \sum_{i \in I} (x_{\nu,\tau}^{mih} + y_{\nu,\tau}^{mih})$, $\tau = 1, \nu = \overline{1, N}$. (5)

Денежная сумма, взимаемая / получаемая после переформирования портфеля:

$$Z_{\nu, \tau} = \sum_{m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau})} \sum_{h \in H_{\nu, \tau}^m} \sum_{i \in I} (a_{\nu, \tau}^{mih} \cdot x_{\nu, \tau}^{mih} - b_{\nu, \tau}^{mih} \cdot y_{\nu, \tau}^{mih}) + C_{\nu, \tau}, \quad \tau = 1, \nu = \overline{1, N}. \quad (6)$$

Денежная сумма, имеющаяся на счете в момент времени $\tau = 1$ в вершине (ν, τ) :

$$A_{\nu, \tau} = A_0, \quad \tau = 1, \nu = \overline{1, N}, \quad A_{\nu, \tau} \geq 0, \quad A_{\nu, \tau} \geq Z_{\nu, \tau}, \quad (7)$$

где $A_{\nu, \tau}$ - денежная сумма, имеющаяся на счете до переформирования портфеля в вершине (ν, τ) , $\tau = \overline{1, T}$, $\nu = \overline{1, N}$.

Денежная сумма, имеющаяся на счете до переформирования портфеля:

$$A_{\nu, \tau} = A_{\nu, \tau-1} - Z_{\nu, \tau-1}, \quad \tau = \overline{2, T}, \nu = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Ликвидационная стоимость портфеля до его переформирования:

$$L_{\nu, \tau} = \begin{cases} - \sum_{m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau})} \sum_{h \in H_{\nu, \tau}^m} \sum_{i \in I} (b_{\nu, \tau}^{mih} \cdot z_{\nu, \tau}^{mih}), & z_{\nu, \tau}^{mih} > 0 \\ - \sum_{m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau})} \sum_{h \in H_{\nu, \tau}^m} \sum_{i \in I} (a_{\nu, \tau}^{mih} \cdot z_{\nu, \tau}^{mih}), & z_{\nu, \tau}^{mih} \leq 0 \end{cases}, \quad \tau = 1, \nu = \overline{1, N}. \quad (9)$$

Общее гарантийное обеспечение опционного портфеля в вершине (ν, τ) :

$$Sg_{\nu, \tau} = \begin{cases} \sum_{m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau})} \sum_{h \in H_{\nu, \tau}^m} \sum_{i \in I} (Gb_{\nu, \tau}^{mih} \cdot (x_{\nu, \tau}^{mih} + z_{\nu, \tau}^{mih}) + Gs_{\nu, \tau}^{mih} \cdot y_{\nu, \tau}^{mih}), & z_{\nu, \tau}^{mih} > 0 \\ \sum_{m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau})} \sum_{h \in H_{\nu, \tau}^m} \sum_{i \in I} (Gs_{\nu, \tau}^{mih} \cdot (y_{\nu, \tau}^{mih} + z_{\nu, \tau}^{mih}) + Gb_{\nu, \tau}^{mih} \cdot x_{\nu, \tau}^{mih}), & z_{\nu, \tau}^{mih} \leq 0 \end{cases}, \quad (10)$$

$$m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau}) \cap M_{\tau-1}, \quad i \in I, \quad h \in H_{\nu, \tau}^m, \quad \tau = \overline{2, T}, \nu = \overline{1, N}.$$

Во избежание ситуации недостаточной суммы общего размера гарантийного обеспечения опционного портфеля («маржин-колл») должно выполняться условие:

$$S_{\nu, \tau} \geq Sg_{\nu, \tau}, \quad \tau = 1, \nu = \overline{1, N}. \quad (11)$$

Для осуществления хеджирования опционной стратегии от возможных сильных колебаний цены базового актива следует использовать условия:

$$\sum_{m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau})} \sum_{h \in H_{\nu, \tau}^m} \sum_{i \in I} x_{\nu, \tau}^{mih} = \sum_{m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau})} \sum_{h \in H_{\nu, \tau}^m} \sum_{i \in I} y_{\nu, \tau}^{mih}, \quad i = \{call\}, \quad (12)$$

$$\sum_{m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau})} \sum_{h \in H_{\nu, \tau}^m} \sum_{i \in I} x_{\nu, \tau}^{mih} = \sum_{m \in (M_\tau \setminus \overline{M_\tau})} \sum_{h \in H_{\nu, \tau}^m} \sum_{i \in I} y_{\nu, \tau}^{mih}, \quad i = \{put\}, \tau = 1, \nu = \overline{1, N}. \quad (13)$$

Общая стоимость опционного портфеля до его переформирования:

$$W_{\nu, \tau} = A_{\nu, \tau} - L_{\nu, \tau}, \quad \tau = 1, \nu = \overline{1, N}. \quad (14)$$

Критерием оптимизации r^- опционного портфеля является выражение:

$$r^- = \min_{\nu=1}^N \alpha_\nu \cdot p_\nu, \quad \alpha_\nu = \begin{cases} 0, & W_{\nu, T} \geq u, \quad \nu - \text{активный сценарий} \\ 1, & W_{\nu, T} < u, \quad \nu - \text{неактивный сценарий} \end{cases}, \quad (15)$$

где u - минимальная стоимость портфеля в момент времени T .

Ожидаемая годовая доходность портфеля для сценария ν в момент времени T :

$$r^+ = \left(1 + \frac{W_{v,T} - A_0}{A_0} \right)^{td/t_T} - 1, \quad (16)$$

где td – количество торговых дней в году, t_T – количество дней от $\tau = 1$ до $\tau = T$.):

Методика формирования дерева сценариев для опционного портфеля основана на использовании модели геометрического (броуновского) движения:

$$S_t = S_0 \cdot e^{H_t}, \quad H_t = \left(r - \frac{1}{2} \cdot \sigma^2 \right) \cdot t + \sigma \cdot W_t = \ln \left(S_t / S_0 \right), \quad (17)$$

где $H = (H_t)_{t \geq 0}$ – процесс броуновского движения с волатильностью σ^2 и безрисковой ставкой r , S_t – цена актива в момент времени t , S_0 – цена актива в начальный момент времени, W_t – винеровский процесс. При формировании дерева сценариев необходимо придерживаться следующих правил:

- 1) первая (последняя) вершина-потомок на этапе $\tau = \overline{1, T}$ соответствует максимально (минимально) допустимой цене БА;
- 2) значение цены БА в соседних вершинах-потомках должно отличаться на величину Δ , равную шагу цены БА;
- 3) логарифмы отношения цен БА в первой $S_{(n,\tau)}^1$ и последней $S_{(n,\tau)}^{N(n,\tau)}$ вершинах-потомках к цене БА в соответствующей вершине-предке $S_{(n,\tau)}$ должны полностью покрывать интервал $[a_\tau; b_\tau]$:

$$H_{(n,\tau)}^{N(n,\tau)} = \ln \left(\frac{S_{(n,\tau)}^{N(n,\tau)}}{S_{(n,\tau)}} \right) < a_\tau, \quad S_{(n,\tau)}^{N(n,\tau)} < S_{(n,\tau)} \quad \text{и} \quad H_{(n,\tau)}^1 = \ln \left(\frac{S_{(n,\tau)}^1}{S_{(n,\tau)}} \right) > b_\tau, \quad S_{(n,\tau)}^1 > S_{(n,\tau)}, \quad (18)$$

где (n, τ) – вершина дерева с номером n на этапе τ , $S_{(n,\tau)}^i$ – стоимость БА в i -ом потомке вершины-предка (n, τ) , $N_{(n,\tau)}$ – число потомков вершины-предка (n, τ) ;

- 4) нижняя и верхняя границы интервала $[a_\tau; b_\tau]$ определяются по формулам:

$$a_\tau = \left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) \cdot \left(\frac{t_\tau}{td} \right) - \delta \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{t_\tau}{td}}, \quad b_\tau = \left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) \cdot \left(\frac{t_\tau}{td} \right) + \delta \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{t_\tau}{td}}, \quad (19)$$

где t_τ – количество дней от этапа τ до следующего этапа $(\tau + 1)$, δ – коэффициент, показывающий ширину интервала нахождения цены БА $[a_\tau; b_\tau]$, который определяется из желаемой вероятности попадания Pr цены БА в интервал $[a_\tau; b_\tau]$.

Условная вероятность $p_{(n,\tau)}^i$ получения i -ой вершины-потомка из вершины-предка (n, τ) определяется:

$$p_{(n,\tau)}^i = \begin{cases} 1 - N(x_-^i), & i = 1 \\ N(x_+^i) - N(x_-^i), & i = 2, \dots, (N_{(n,\tau)} - 1), \\ N(x_+^i), & i = N_{(n,\tau)} \end{cases} \quad N(x_\pm^i) \sim \left(\left(r - \frac{\sigma^2}{2} \right) \cdot \frac{t_\tau}{td}, \sigma \cdot \sqrt{\frac{t_\tau}{td}} \right) \quad (20)$$

$$\text{где } x_{\pm}^i = \ln \left(\frac{S_{(n,\tau)}^i \pm \Delta/2}{S_{(n,\tau)}} \right), \quad i = \overline{1, N_{(n,\tau)}}. \quad (21)$$

$$\text{Число потомков вершины-предка: } N_{(n,\tau)} = N_{(n,\tau)}^{up} + N_{(n,\tau)}^{down} + 1, \quad (22)$$

где $N_{(n,\tau)}^{up}$ - число потомков вершины-предка (n, τ) в случае $S_{(n,\tau)}^i > S_{(n,\tau)}$, $N_{(n,\tau)}^{down}$

- число потомков вершины-предка (n, τ) в случае $S_{(n,\tau)}^i < S_{(n,\tau)}$.

$$\text{Вероятность реализации сценария: } P_{\nu} = \prod_{t=2}^T p_{\nu}^t, \quad (23)$$

где p_{ν}^t - условная вероятность получения потомка из вершины-предка на этапе t для сценария ν , $t = \overline{2, T}$; $p_{(n,\tau)}^i$ - условная вероятность получения i -ой вершины-потомка из вершины-предка (n, τ) при $i = \overline{1, N_{(n,\tau)}}$.

Для контроля вычисляемых значений вероятностей реализации сценариев P_{ν} и вероятностей получения потомков из вершины (n, τ) должны выполняться

$$\text{следующие условия: } \sum_{\nu=1}^N P_{\nu} = 1 \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^{N_{(n,\tau)}} p_{(n,\tau)}^i = 1. \quad (24)$$

Статическая модель. Рассматривается задача инвестирования денежных средств S для формирования рискованной части структурированного продукта, состоящей из x_k^i опционных контрактов одного срока экспирации с ценами покупки a_k^i и продажи b_k^i , суммарным гарантийным обеспечением G . Формирование опционного портфеля подразумевает решение задачи линейного программирования комбинаторного типа, состоящей из $2 \cdot n$ переменных (по n опционов колл и пут). Необходимо найти максимум целевой функции $J(M_e)$, представленной формулой (31), при заданном ряде ограничений в виде неравенств и равенств в начальный момент времени $\tau = 1$. Укажем необходимые выражения и ограничения задачи.

Условие, определяющее количество опционов для покупки и продажи:

$$x_k^i = \begin{cases} > 0, \text{ покупка по цене } a_k^i \\ < 0, \text{ продажа по цене } b_k^i \end{cases}, \quad x_k^i \in Z, \quad k = \overline{1, n}, \quad (25)$$

здесь τ - день формирования опционного портфеля (где $\tau = \overline{1, T}$); i - индекс соответствующего типа опциона (где $i \in I$, $I = \{call, put\}$); k - индекс страйка опциона (где $k = \overline{1, n}$, n - количество опционов одного типа).

Выплата по одному опциону, а также суммарная выплата по опционному портфелю в момент экспирации опционного портфеля $\tau = T$:

$$V_k^i(M_T) = \begin{cases} \max(M_T - E_k^i; 0), & i = \{call\} \\ \max(E_k^i - M_T; 0), & i = \{put\} \end{cases}, S^i = \begin{cases} \sum_{k=1}^n x_k^i \cdot V_k^i(M_T) \\ \sum_{k=1}^n x_k^i \cdot V_k^i(M_T) \end{cases}, k = \overline{1, n}, \quad (26)$$

где M_T - рыночная цена БА опционного контракта в момент времени $\tau = T$, E_k^i - страйк опциона соответствующего типа.

Условие для покрытия общей суммы гарантийного обеспечения опционного портфеля в момент времени $\tau = 1$: $S^g \geq G$, (27)

$$G = \sum_{i \in I} \sum_{k=1}^n x_k^i \cdot go_k^i, \quad go_k^i = \begin{cases} Gb_k^i, & x_k^i > 0 \\ Gs_k^i, & x_k^i < 0, \\ 0, & x_k^i = 0 \end{cases}, \quad k = \overline{1, n}, i \in I. \quad (28)$$

где Gb_k^i и Gs_k^i - гарантийное обеспечение покупателя и базовое гарантийное обеспечение по непокрытым позициям опциона соответствующих типа и порядкового номера с индексами i и k ; S^g - сумма денежных средств, необходимая для покрытия общего гарантийного обеспечения портфеля.

Сумма денежных средств, необходимая для покупки опционов с учетом полученных инвестиций от продажи опционов:

$$S^I = \sum_{i \in I} \sum_{k=1}^n r_k^i, \quad \text{где } r_k^i = \begin{cases} x_k^i \cdot a_k^i, & x_k^i > 0 \\ -x_k^i \cdot b_k^i, & x_k^i < 0 \end{cases}. \quad (29)$$

Сумма, необходимая для формирования портфеля в момент времени $\tau = 1$: $S = S^I + S^g$. (30)

Финансовый результат опционного портфеля $J(M_e)$ в момент времени $\tau = T$ с предполагаемой ценой базового актива M_e :

$$J(M_e) = \sum_{i \in I} \sum_{k=1}^n x_k^i \cdot \left[-\left(b_k^i \vee a_k^i\right) + V_k^i(M_e) \right], \quad J(M_e) > 0 \quad (31)$$

В полном тексте диссертации приведен ряд ограничений, позволяющий смоделировать сценарии роста, падения и колебания цены базового актива опционного портфеля.

Описание процесса конструирования структурированных продуктов.

Рассматривается задача создания структурированного продукта с учетом различной склонности к риску. Цель конструирования внутреннего устройства продукта состоит в формировании продукта с желаемой структурой конечных выплат. Для этого необходимо соединить преимущества инструментов для сохранения капитала (депозит) и опционного продукта, ориентированного на дополнительный прирост денежных средств. Укажем необходимые расчетные выражения задачи.

Сумма, необходимая для формирования портфеля с фиксированной доходностью (банковский депозит): $D = S \cdot g^{sp} \cdot \exp(-r_d \cdot t^{sp})$, (32)

где $t^{sp} = t/365$, t - число дней до экспирации СП, S - общая сумма для инвестирования в начальный момент времени, r_d - депозитная процентная ставка, g^{sp} - степень гарантии возврата капитала.

Сумма, необходимая для покупки опционов: $S_{opt} = S - D$. (33)

Количество опционов, встраиваемых в продукт: $Q^i = \lfloor S_{opt} / a^i \rfloor$, (34)

где операция $\lfloor \rfloor$ означает взятие целой части, a^i - цена покупки одного опциона, $I = \{ \text{call, put} \}$ - множество, состоящее из типов опционов колл и пут, i - индекс соответствующего типа опциона, $i \in I$.

Скорректированная сумма для покупки опционов: $S_{opt}^i = Q^i \cdot a^i$. (35)

Общее гарантийное обеспечения опционного портфеля: $G^i = Gb^i \cdot Q^i$, (36)

где Gb^i - гарантийное обеспечение покупателя опциона типа i , $i \in I$.

Общая сумма транзакционных расходов для портфеля: $C^i = c \cdot Q^i$. (37)

Скорректированная сумма для формирования депозита: $D = S - S_{opt}^i - G^i - C^i$, (38)

Доходность по СП: $d^{sp} = \max \{ -r_{min}; -r_{min} + 100 \cdot (P_l - P_s) / P_s \}$. (39)

где P_l - значение базового актива в момент истечения срока СП, P_s - значение базового актива на момент приобретения СП, r_{min} - минимальная доходность СП.

В третьей главе приведено описание разработанной СППР на основе усовершенствованных моделей и описанного процесса конструирования СП (рис. 1), а также показаны результаты тестирования.

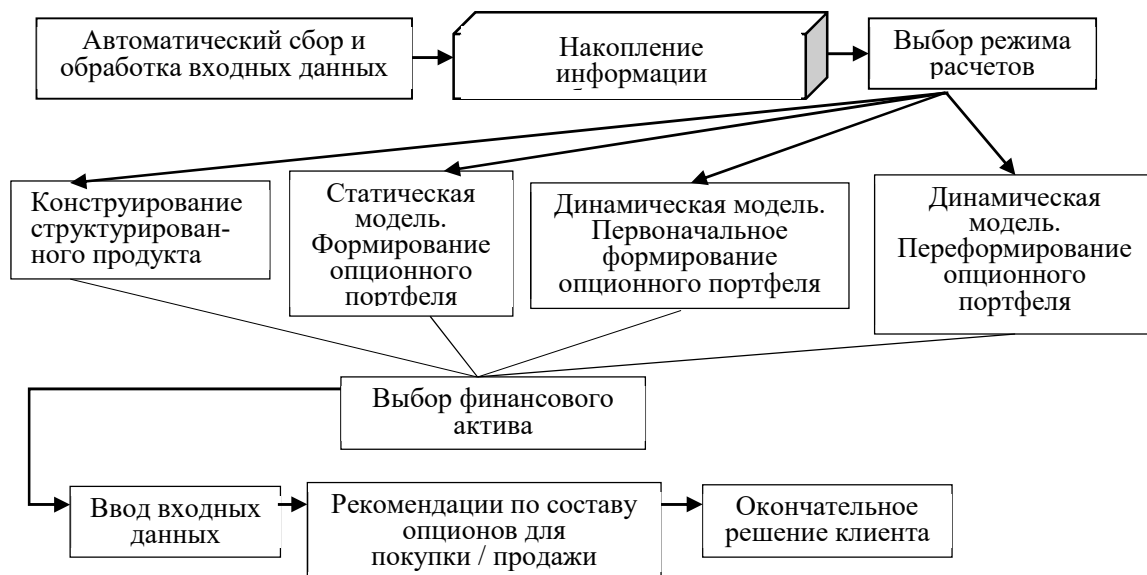


Рисунок 1 – Описание СППР при конструировании структурированного продукта и формировании опционного портфеля.

Для моделирования управления портфелем разработана программа в среде MATLAB 9.4. Задача стохастического программирования (1-24) с целочисленными переменными и критерием оптимизации (15) реализована в пакете «IBM ILOG CPLEX Optimization Studio V12.6.1». С помощью консольной версии «IBM ILOG CPLEX Optimization Studio» была обеспечена интеграция вышеуказанных программных продуктов и создано приложение. База данных Microsoft ACCESS использовалась для обмена данными. Эксперименты проводились на вычислительном узле 2 x 12 потоков на Intel Xeon E5 – 2620 v3 частотой 2.40 Ghz. Всего было доступно 24 потока. Оперативной памяти на узле доступно 32 Gb DDR4 частотой 2400Mhz.

В таблице 1 представлено сравнение разработанной в данном диссертационном исследовании СППР для управления опционным портфелем с российскими робоэдвайзерами, а именно «Простые инвестиции» (ПАО «Сбербанк») и «Тинькофф инвестиции» (АО «Тинькофф Банк»). Наглядно видно, что главным преимуществом СППР по сравнению с российскими робоэдвайзерами является возможность конструирования сложных финансовых продуктов, а именно структурированных продуктов и опционных портфелей.

Критерий		СППР	Сбербанк	Банк Тинькофф
Возможность формирования структурированного продукта		+	-	-
Возможность формирования опционного портфеля		+	-	-
Учет	желаемой доходности	+	-	-
	суммы инвестирования	+	+	+
	рискового профиля	+	+	-
	срока инвестирования	+	+	-
	целей инвестирования	-	+	-
Ограничение риска портфеля		+	+	-
Транзакционные издержки		комиссия за брокерские услуги	1.5 % в год от стоимости активов + комиссия за брокерские услуги	комиссия за брокерские услуги

Таблица 1 – Сравнение разработанной СППР с программными продуктами

В четвертой главе приведены результаты экспериментальной проверки усовершенствованных статической и динамической моделей.

Имитационное моделирование процесса управления опционным портфелем.

В качестве базового актива использовался фьючерсный контракт на Индекс РТС (Российская торговая система). В таблице 2 приведены основные результирующие показатели имитационного моделирования управления портфелем опционов с его переформированием (динамическое управление) и без переформирования (статическое управление). На рисунке 2 (слева) схематично представлено построенное дерево сценариев поведения цены базового актива на первом этапе, справа показаны результаты имитационного моделирования управления опционным портфелем структурированного продукта согласно динамической модели.

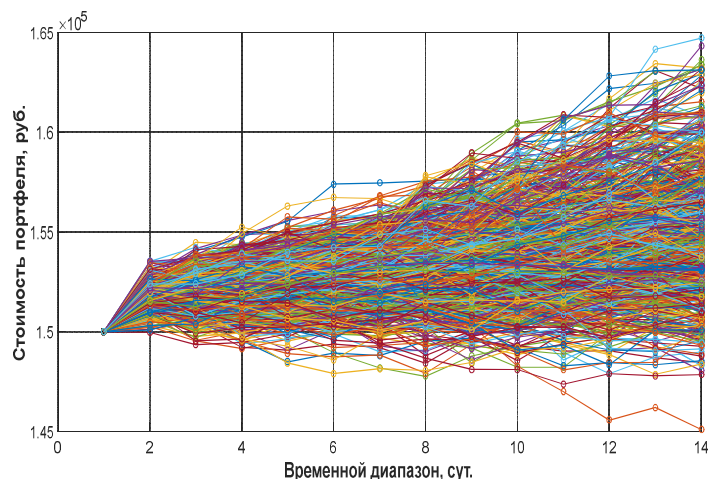
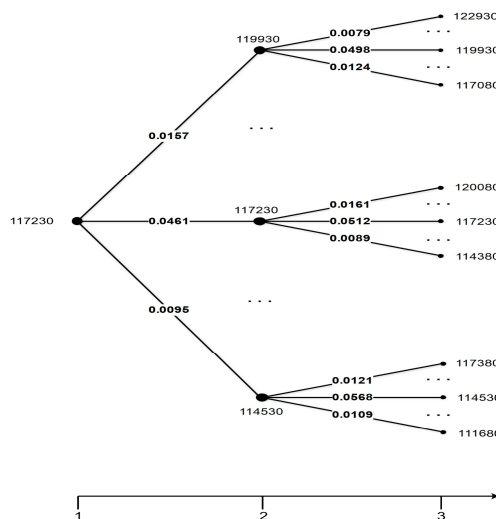


Рисунок 2 – Дерево сценариев (слева),
изменение стоимости портфеля для 1000 экспериментов (справа)

В случае динамического управления получилось достаточно малое отклонение наблюдаемого риска опционного портфеля от ожидаемого, что говорит о хорошем качестве аппроксимации непрерывного распределения вероятностей процесса изменения рыночной цены актива согласно дереву сценариев. В случае статического управления наблюдается большее отклонение равное 1.7%. Причиной этому послужило значительное число возникших ситуаций «margin call» - 19 для статического управления по сравнению с одной ситуацией для динамического управления. В данном исследовании при имитационном моделировании «margin call» соответствует уровню 2.5% (3750 руб. при начальной сумме инвестиций 150 тыс. руб.). Таким образом, данная ситуация наступает при остатке суммы на счете: 146 250 руб.

Выходные данные	Управление	
	Динамическое	Статическое
Число экспериментов	1000	1000
Общие временные затраты, ч.	≈ 40	≈ 10
Размерность задачи: - число ограничений - число переменных	341 027 426 902	7 832 10 389
Количество сценариев в момент формирования портфеля	1457	53
Ожидаемая годовая доходность портфеля с учетом срока экспирации, %.	12.7	
Средняя стоимость портфеля в момент экспирации, руб.	155 750	161 660
Ожидаемый риск в момент формирования опционного портфеля, %	2.51	3.2
Наблюдаемый риск портфеля, %	3	4.9
Отклонение рисков (наблюдаемого от ожидаемого), %	0.49	1.7
Число ситуаций «margin call»	1	19

Таблица 2 – Сравнение результатов имитационного моделирования

Апробация статической модели формирования опционного портфеля в торговом терминале Quik в режиме реального времени. Согласно статической модели были построены три опционных портфеля структурированного продукта со сценариями падения, роста и колебания цены базового актива. Полученное в разработанной СППР оптимальное количество опционов использовалось для осуществления сделок в торговом терминале Quik в режиме реального времени.

Сценарий падения цены оправдался через четыре дня после первоначального формирования опционного портфеля. Зафиксирована положительная доходность в размере 108.29 % годовых. В таблице 3 приведены основные результирующие показатели формирования опционных портфелей, рассчитанных на падение, рост и колебание цены базового актива. Полученные результаты формирования трех опционных портфелей в торговом терминале Quik подтверждают, что статическую модель целесообразно использовать в случае уверенности в будущем направлении движения цены БА (рост или падение) или наличии достоверного прогноза.

Величина	Сценарий поведения актива		
	Падение	Рост	Колебание
Гарантийное обеспечение, руб.	349620	440270	809370
Сумма, потраченная на покупку опционов, руб.	26380	36700	58240
Сумма, полученная от продажи опционов, руб.	33880	47550	67620
Финансовый результат после формирования опционного портфеля, руб.	7500	10850	9380
Финансовый результат после совершения офсетных сделок, руб.	4060	- 8130	300
Сумма для формирования портфеля, руб.	342120	429420	799 990
Срок инвестирования, сут.	4	16	10
Доходность / убыток, % годовых	+ 108.29 %	- 43.19 %	+ 1.37 %

Таблица 3 – Результирующие показатели опционных портфелей, построенных согласно статической модели

Апробация динамической модели управления опционным портфелем в торговом терминале Quik в режиме реального времени. В таблице 4 представлены результирующие финансовые показатели шести опционных портфелей (№1 - №6), сформированных в торговом терминале Quik в режиме реального времени. Наглядно видно, что по пяти из них зафиксирована положительная доходность, превышающая изначально заданную минимальную стоимость портфеля $u = 10\%$ в момент времени T . Один портфель (№ 5) был закрыт с убытком в размере 6.52%. Можно заметить, что именно этот портфель имеет наибольший ожидаемый риск, согласно критерию оптимизации, на этапе $\tau = 1$ и $\tau = 2$. Кроме того, он имеет наибольшую общую сумму для формирования и переформирования портфеля по сравнению со всеми остальными.

Анализ данных таблицы 4 позволяет сделать вывод, что переформирование опционного портфеля позволяет уменьшить ожидаемый риск, определяемый критерием оптимизации динамической модели. Также модель не исключает случаи ненадобности переформирования (портфель № 4).

Таблица 4 - Результирующие показатели шести портфелей, построенных согласно динамической модели

Величина	Портфель №					
	1	2	3	4	5	6
Первоначальное формирование портфеля на этапе $\tau = 1$						
Гарантийное обеспечение, руб.	65036	101130	13990.68	130020	115840	102970
Сумма, потраченная на покупку опционов, руб.	27320	24690	4740	31050	20790	18480
Сумма для формирования портфеля, руб.	92356	125820	18731	161070	136630	121450
Ожидаемый риск портфеля, %	4.31	3.91	5.1	3.98	7.43	3.76
Переформирование портфеля на этапе $\tau = 2$						
Гарантийное обеспечение, руб.	11850.57	14763.24	83594	-	203480	153590
Сумма, потраченная на покупку опционов, руб.	1820	5250	0	-	8130	23560
Сумма, полученная от продажи опционов, руб.	0	0	17990	-	31890	41840
Сумма для переформирования портфеля, руб.	13671	20013	65604	-	179720	171870
Ожидаемый риск портфеля, %	3.97	2.79	3.74	-	7.1	2.08
Совершение офсетных сделок на этапе $\tau = 3$						
Финансовый результат после совершения офсетных сделок, руб.	5190	5860	1960	8200	- 960	1600
Общая сумма для формирования и переформирования портфеля, руб.	106027	145833	84335	161070	316350	293320
Срок инвестирования, сут.	3	8	21	7	17	8
Доходность / убыток, % годовых	595.57	183.33	40.39	265.46	- 6.52	24.89

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации решена актуальная научно-техническая задача совершенствования математических моделей и разработки программного обеспечения для управления опционным портфелем структурированного продукта с учетом всех рыночных параметров, необходимых для практического применения на биржевом рынке. Выполненные научные изыскания позволили получить следующие выводы и результаты:

1. Теоретически обосновано современное состояние проблемы развития российского рынка деривативов. Выявлено, что в настоящее время рынок деривативов в малой степени отвечает потребностям развития экономики, несмотря на ежегодные совершенствования финансовых инструментов, проводимых Московской биржей. Недостаточная финансовая грамотность взрослого населения, а также отсутствие активной политики государства, направленной на развитие и стимулирование рынка деривативов, порождают низкую ликвидность ограниченного набора финансовых инструментов. Анализ существующих математических моделей управления опционным портфелем показал, что они не учитывают важнейшие рыночные показатели, а именно суммарное гарантийное обеспечение портфеля, транзакционные расходы, ликвидность, разницу в ценах покупки и продажи финансовых инструментов. Поэтому возникла необходимость совершенствования данных моделей для получения возможности формирования финансовых портфелей на биржевом рынке в режиме реального времени.

2. Описан подход к конструированию структурированных продуктов, *отличающийся* возможностью сформировать финансовый продукт ЛПР, без помощи финансовых советников брокерских компаний, что *позволяет* уменьшить величину комиссий на 0.5-3% в зависимости от первоначальной суммы инвестирования, удерживаемых банком. Данный подход также *позволяет* рассчитать необходимые денежные суммы для формирования безрисковой («депозитной») и рискованной («опционной») составляющих структурированного продукта, рассчитанного на рост или падение цены базового актива.

3. Предложена модификация динамической модели управления опционным портфелем структурированного продукта, *отличающаяся* от исходной наличием классификации гарантийного обеспечения (ГО, БГОНП, БГОП), ограничения для суммарного гарантийного обеспечения портфеля, условий для ограничения общего количества продаваемых опционов. Проведена модернизация статической модели формирования опционного портфеля структурированного продукта. Усовершенствованная модель *отличается* от исходной наличием учета необходимого размера суммарного гарантийного обеспечения портфеля и условия для расчета суммарной величины транзакционных расходов. Внесенные изменения позволили адаптировать динамическую и статическую модели для практического использования на биржевом рынке при конструировании финансового портфеля.

4. Создана СППР, *отличающаяся* от подобных систем, наличием следующих модулей: построения структурированных финансовых продуктов, *первоначального формирования* опционного портфеля согласно **статической модели**, *первоначального формирования и перестроения* опционного портфеля согласно

динамической модели, а также базы данных, хранящей рыночные показатели выбранного актива, введенные входные данные пользователем и результаты расчетов.

5. Проведена апробация статической и динамической моделей в торговом терминале Quik. Согласно статической модели были сформированы в режиме реального времени три опционных портфеля со сценариями падения, роста и колебания цены актива, по двум из которых зафиксирована положительная доходность. Полученные результаты формирования трех опционных портфелей в торговом терминале Quik подтверждают, что статическую модель целесообразно использовать в случае уверенности в будущем направлении движения цены актива (рост или падение) или наличии достоверного прогноза. В случае, если инвестор не может выбрать точный сценарий поведения цены актива, следует формировать опционный портфель, ориентированный на колебание цены актива либо использовать динамическую модель.

Согласно динамической модели были сформированы в торговом терминале Quik шесть опционных портфелей, по пяти из которых зафиксирована положительная доходность. При этом пять портфелей подвергались реформированию в режиме реального времени. Результаты показали (таблица 4), что проведение реформирования позволило уменьшить ожидаемый риск, определяемый исходным критерием оптимизации динамической модели.

Реализовано имитационное моделирование процесса управления опционным портфелем с учетом возможного реформирования (динамическое управление) и без него (статическое управление). Проведено 1000 экспериментов с общими временными затратами 50 ч. (таблица 2). В результате показано, что реформирование опционного портфеля позволило учесть изменение размера общего гарантийного обеспечения портфеля и тем самым уменьшить вероятность наступления ситуации «margin call», которая соответствовала уровню снижения на 2.5% от первоначальной суммы инвестиций.

6. Полученные выводы и численные результаты апробации подтвердили адекватность усовершенствованных моделей. Достоверность корректной работоспособности разработанной СППР подтверждается результатами имитационного моделирования и формирования девяти опционных портфелей в торговом терминале Quik в режиме реального времени, по семи из которых зафиксирована положительная доходность.

7. Материалы диссертации внедрены и были использованы в филиалах АО «Газпромбанк» и ООО «Компания БрокеркредитСервис» (БКС) города Томска. Модели были протестированы в терминале Quik сотрудниками данных организаций. Зафиксирована положительная доходность по обеим моделям: в отделении АО «Газпромбанк» получена доходность 26.7 % и 9.7 %, в ООО «Компании БрокеркредитСервис» - 24.2 % и 15.7 % согласно динамической и статической моделям. Процентная ставка указана в годовом исчислении.

8. Практическая значимость работы состоит в разработанной СППР, реализующей применение усовершенствованных моделей, а также в программе для проведения имитационного моделирования процесса управления опционным портфелем (два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019615033 от 17.04.2019 г. и № 2019615189 от 19.04.2019 г.).

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК, и индексируемых в международной базе SCOPUS

1. Фатьянова, М.Э. Совершенствование динамической модели формирования и управления опционным портфелем структурированного продукта / М.Э. Фатьянова, А.Ю. Трифонов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2019. – №2 (46). Т. 8. – С. 26–30.
2. Фатьянова, М.Э. Применение сценарного подхода для опционной торговли / М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2019. – № 1 (12). – С. 72–89.
3. Fat'yanova, M.E. The Scenario-Based Approach to Trade in Option Contracts / M.E. Fat'yanova, M.E. Semenov // Дайджест-Финансы. – 2019. – Vol. 24(1). – P. 96–108.
4. Фатьянова, М.Э. Имитационное моделирование процесса управления опционным портфелем структурированного продукта / М.Э. Фатьянова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2019. – №2(46). Т. 8. – С. 68–73.
5. Fatyanova, M.E. Model for constructing an option's portfolio with a certain payoff function / M.E. Fat'yanova, M.E. Semenov // CEUR Workshop Proceedings. – 2017. – Vol. 1904. – PP. 254–262. – DOI: 10.18287/1613-0073-2017-1904-254-262
6. Мицель, А.А. Комбинаторная модель опционного портфеля / А.А. Мицель, М.Е. Семенов, М.Э. Фатьянова // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2016. – №. 25. – С. 2–13.
7. Фатьянова, М.Э. Разработка стратегий для инвестора с консервативным рисковым профилем [Электронный ресурс] / М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов // Современные проблемы науки и образования. – 2014 – № 3. – С. 1–9. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/117-13608>

Свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ

8. Система поддержки принятия решений для формирования и управления опционным портфелем структурированного продукта [Электронный ресурс] / М.Э. Фатьянова. – Электрон. прогр. – Свидельство ГР прогр. для ЭВМ № 2019615189; заявка № 2019613728 от 8 апреля 2019; зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 19 апреля 2019.
9. Программа для проведения динамического имитационного моделирования процесса управления опционным портфелем [Электронный ресурс] / М.Э. Фатьянова. – Электрон. прогр. – Свидельство ГР прогр. для ЭВМ № 2019615033; заявка № 2019613674 от 8 апреля 2019; зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 17 апреля 2019.

Публикации в сборниках трудов международных научных конференций

10. Фатьянова, М.Э. Модели и программный комплекс для самостоятельного формирования и управления опционным портфелем / М.Э. Фатьянова // Статистические методы анализа экономики и общества: труды X Международной научно–практической конференции студентов и аспирантов «Статистические методы анализа экономики и общества», Москва, 14–17 мая 2019. – Москва: ВШЭ. – 2019.
11. Фатьянова, М.Э. Статическая и динамическая модели формирования опционного портфеля / М.Э. Фатьянова // материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов-2019» [Электронный ресурс], Москва, 8-12 апреля 2019. – М: МАКС Пресс, 2019. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM)
12. Фатьянова, М.Э. Формирование оптимального портфеля опционов с учетом гарантийного обеспечения / М.Э. Фатьянова // материалы VI Международной научно–практической конференции «Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и

- управлении рисками», Саратов, 8–11 Ноября 2017. – Саратов: ООО Изд-во «Научная книга». – 2017. – С. 217–221.
13. Фатьянова, М.Э. Статистическое моделирование временного ряда с использованием GARCH / ARMA моделей / М.Э. Фатьянова // Статистические методы анализа экономики и общества: труды 8-й Международной научно-практической конференции студентов и аспирантов «Статистические методы анализа экономики и общества», Москва, 16–19 мая 2017. – Москва: ВШЭ. – 2017. – С. 263–264.
 14. Фатьянова, М.Э. Формирование оптимального портфеля опционов с учетом гарантийного обеспечения / М.Э. Фатьянова // Экономика, экология и общество России в 21-м столетии: сборник научных трудов 19-й Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15–16 Мая 2017. – Санкт-Петербург: СПбПУ. – 2017. – С. 315–317.
 15. Фатьянова, М.Э. Формирование опционных портфелей с использованием комбинаторной модели / М.Э. Фатьянова // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 7–11 Ноября 2016. – Томск: ТПУ. – 2017. – Т. 1. – С. 91–93.
 16. Фатьянова, М.Э. Разработка статической модели для оптимального управления финансовым портфелем опционов с учетом гарантийного обеспечения / М.Э. Фатьянова // Сборник тезисов участников форума «Наука будущего – наука молодых», Нижний Новгород, 12–14 сентября 2017. – С. 182–183.
 17. Фатьянова, М.Э. Методика и реализация построения сложных опционных продуктов / М.Э. Фатьянова // Научная сессия ТУСУР – 2016: материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 6 т., Томск, 25–27 Мая 2016. – Томск: В-Спектр. – 2016. – Т. 6. – С. 31–33.
 18. Фатьянова, М.Э. Конструирование сложных портфелей биржевых опционов / М.Э. Фатьянова // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов и молодых учёных, Томск, 26–29 Апреля 2016. – Томск: ТПУ. – 2016. – Т.3. Математика – С. 114–116.
 19. Фатьянова, М.Э. Статистический подход формирования инвестиционного портфеля / М.Э. Фатьянова, А.А. Мицель, М.Е. Семенов // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции, Томск, 1–3 Июня 2016. – С. 109.
 20. Фатьянова, М.Э. Анализ автоматизированных торговых систем / М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов // *Gaudeamus Igitur*. – 2015. – №. 4. – С. 49–52.
 21. Фатьянова, М.Э. Финансовый инжиниринг на рынке структурированных продуктов / М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов // Знания–Онтологии–Теории: материалы всероссийской конференции с международным участием: в 2 т., Новосибирск, 6–8 Октября 2015. – Новосибирск: ИМ СО РАН. – 2015. – Т. 2 – С. 170–180.
 22. Фатьянова, М.Э. Использование опционных стратегий и модуля аналитики QUIK для построения структурированных финансовых решений / М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VII Международной научно-практической конференции, Томск, 3–6 Июня 2015. – Томск: ТПУ. – 2015. – С. 131.
 23. Фатьянова, М.Э. Методы вычисления опционной составляющей структурированного финансового продукта. Обзор / М.Э. Фатьянова // Перспективы развития фундаментальных

- наук: сборник трудов XII Международной конференции студентов и молодых ученых, Томск, 21–24 Апреля 2015. – Томск: ТПУ. – 2015. – С. 648–651.
24. Фатьянова, М.Э. Методы вычисления опционной составляющей структурированного финансового продукта. Приложение / М.Э. Фатьянова // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XII Международной конференции студентов и молодых ученых, Томск, 21–24 Апреля 2015. – Томск: ТПУ. – 2015. – С. 652–654.
 25. Фатьянова, М.Э. Использование биномиальной модели для вычисления стоимости опциона продавца «put» в Microsoft Excel / М.Э. Фатьянова // Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VI Всероссийской конференции, Томск, 22–24 Апреля 2015. – Томск: ТПУ. – 2015. – С. 491–494.
 26. Фатьянова, М.Э. Нахождение справедливой стоимости опциона продавца «put» методом Монте–Карло на языке VBA / М.Э. Фатьянова // Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VI Всероссийской конференции, Томск, 22–24 Апреля 2015. – Томск: ТПУ. – 2015. – С. 488–491.
 27. Фатьянова, М.Э. Реализация метода Монте–Карло для вычисления стоимости опциона «call» на языке VBA / М.Э. Фатьянова // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: сборник трудов XII Всероссийской научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 25–26 Марта 2015. – Томск: ТПУ. – 2015. – С. 77–78.
 28. Фатьянова, М.Э. Торговые стратегии как инструмент выявления устойчивых тенденций на финансовом рынке / М.Э. Фатьянова // Россия Молодая: сборник материалов VII Всероссийской научно–практической конференции молодых учёных с международным участием, Кемерово, 21–24 Апреля 2015. – Кемерово: КузГТУ. – 2015. – С. 1–3.
 29. Фатьянова, М.Э. Использование современных информационных технологий при (создании) торговой стратегии на финансовом рынке / М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов // Информационно–измерительная техника и технологии: материалы VI Научно–практической конференции с международным участием, Томск, 27–30 Мая 2015. – Томск: ТПУ. – 2015. – С. 122–126.
 30. Фатьянова, М.Э. Моделирование структурированных финансовых продуктов с использованием различных опционных стратегий / М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов // Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов II Всероссийской научно–практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 4–5 Июня 2015. – Томск: ТПУ. – 2015. – С. 232–236.
 31. Фатьянова, М.Э. Моделирование структурированных продуктов с использованием различных типов барьерных опционов / М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XII Всероссийской научно–практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 12–14 Ноября 2014. – Томск: ТПУ, 2014. – Т. 1. – С. 196–197.
 32. Фатьянова, М.Э. Основные аспекты накопительного страхования жизни в России / М.Э. Фатьянова // Импульс – 2014: материалы XI Международной научно–практической конференции студентов, молодых ученых и предпринимателей в сфере экономики, менеджмента и инноваций, Томск, 26–28 Ноября 2014. – Томск: ТПУ. – 2014. – С. 151–153.
 33. Фатьянова, М.Э. Сравнение стратегий доверительного управления с инвестированием в структурированные продукты / М.Э. Фатьянова // Импульс – 2014: материалы XI

- Международной научно–практической конференции студентов, молодых ученых и предпринимателей в сфере экономики, менеджмента и инноваций, Томск, 26–28 Ноября 2014. – Томск: ТПУ. – 2014. – С. 75–77.
34. Фатьянова, М.Э. Структурированный продукт как альтернатива инвестированию в паевой инвестиционный фонд / М.Э. Фатьянова // Наука сегодня: сборник научных трудов по материалам международной научно–практической конференции: в 4 т., Вологда, 24 Октября 2014. – Вологда: Вологжанин. – 2014. – Т. 2. – С. 91–93.
 35. Фатьянова, М.Э. Моделирование структурированных финансовых продуктов со встроенными барьерными опционами класса «Knock-in» / М.Э. Фатьянова // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XI Международной конференция молодых ученых, Томск, 22–25 Апреля 2014. – Томск: ТПУ. – 2014. – С. 683–685.
 36. Фатьянова, М.Э. Моделирование структурированных продуктов со встроенными бинарными опционами класса KNOCK-OUT / М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов // Экономика, экология и общество России в 21–м столетии: сборник научных трудов 16–й Международной научно–практической конференции, Санкт-Петербург, 19–20 Мая 2014. – Санкт-Петербург: СПбГПУ. – 2014. – С. 192–195.
 37. Fatjyanova, M.E. Die strukturierten Produkte am Beispiel vom Finanzplatzes der Sweiz / M.E. Fatjyanova // Актуальные вопросы экономики и менеджмента: свежий взгляд и новые решения: материалы IV Всероссийской конференции аспирантов и молодых ученых с международным участием, Томск, 5–6 Декабря 2013. – Томск: ТГУ. – 2014. – С. 227–233.
 38. Фатьянова, М.Э. Конструирование структурированных финансовых продуктов с учетом рискового профиля инвестора / М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов // Физико–технические проблемы атомной науки, энергетики и промышленности: сборник тезисов докладов VI Международной конференции, Томск, 5–7 Июня 2014. – Томск: ТПУ. – 2014. – С. 51.
 39. Fatjyanova, M.E. Begriff der Optionen und Ihre Anwendung / M.E. Fatjyanova // Импульс – 2013: труды X Международной научно–практической конференции студентов, молодых ученых и предпринимателей в сфере экономики, менеджмента и инноваций, Томск, 27–29 Ноября 2013. – Томск: ТПУ. – 2013. – С. 425–429.
 40. Фатьянова, М.Э. Преимущества и недостатки инвестирования в структурированные продукты / М.Э. Фатьянова // Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам международной научно–практической конференции: в 34 т., Тамбов, 30 Сентября 2013. – Тамбов: Бизнес–Наука–Общество. – 2013. - Т. 31. – С. 147–148.
 41. Фатьянова, М.Э. Структурированный инвестиционный продукт как оптимальное соотношение риска и доходности / М.Э. Фатьянова // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов X Международной конференции студентов и молодых ученых, Томск, 23–26 Апреля 2013. – Томск: ТПУ. – 2013. – С. 632–635.
 42. Фатьянова, М.Э. Конструирование структурированных продуктов на основе предпочтений инвестора / М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов // Знания онтологии теории: материалы всероссийской конференции с международным участием: в 2 т., Новосибирск, 8–10 Октября 2013. – Новосибирск: ИМ СО РАН. – 2013. – Т. 2. – С. 159–168.
 43. Фатьянова, М.Э. Моделирование структурированных инвестиционных продуктов со встроенными бинарными опционами / М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов // Всероссийская конференция по математике и механике: тезисы докладов, Томск, 2–4 Октября 2013. – Томск: Иван Федоров. – 2013. – С. 192.