

УДК 004.942:336.763

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПОРТФЕЛЕЙ ЦЕННЫХ БУМАГ ПО КРІ

**С.В. Сидельцев**

*Омский государственный технический университет*

Россия, 644050, Омск, пр. Мира, 11

E-mail: [sideltsev.s@gmail.com](mailto:sideltsev.s@gmail.com)

**Ключевые слова:** фондовый рынок, инвестирование, портфель ценных бумаг, доходность, риск, коэффициент Сортино, коэффициент Шарпа, коэффициент Трейнора, волатильность, оптимизация, моделирование, последовательное квадратичное программирование, экспертная система, Python, SciPy, KPI.

В настоящей работе раскрываются теоретические и практические аспекты оптимизации и моделирования портфелей ценных бумаг на основе ключевых показателей эффективности. В работе приводится краткая характеристика рынка ценных бумаг и портфельных инвестиций. Описываются показатели, характеризующие эффективность портфеля ценных бумаг. Особое внимание уделяется KPI портфеля. Приводятся результаты аналитического обзор существующих программных комплексов для моделирования и оптимизации портфелей ценных бумаг. Выделены основные проблемы в рассматриваемой предметной области. Предложена и описана концепция и структура разработанной экспертной системы для анализа, оптимизации и моделирования портфелей ценных бумаг по KPI. Приведены результаты исследования российского рынка ценных бумаг на основе предложенной концепции моделирования и оптимизации портфелей по KPI. Указаны основные направления дальнейшего исследования.

## MODELING AND OPTIMIZATION OF INVESTMENT PORTFOLIO IN ACCORDANCE TO KPI

**S.V. Sideltsev**

*Omsk State Technical University*

Russia, 644050, Omsk, Mira Prospect, 11

E-mail: [sideltsev.s@gmail.com](mailto:sideltsev.s@gmail.com)

**Key words:** share market, investing, investment portfolio, profitability, risk, Sortino coefficient, Sharpe coefficient, Treynor coefficient, volatility, optimization, modeling, sequential quadratic programming, expert system, Python, SciPy, KPI.

In the present paper, theoretical and practical aspects of optimization and modeling of investment portfolio, based on key indexes of efficiency, are disclosed. In the paper, short description of share market and investment portfolio is presented. Indexes are described, characterizing the efficiency of investment portfolio. Special attention is paid to the portfolio KPI. Results of analytical survey of available software complexes to model and optimize investment portfolio are presented. Main problems of the considered subject branch are emphasized. A conception of a developed expert system to analyze, optimize, and model investment portfolio in accordance to KPI is proposed and described. Results of investigation of the Russian share market on the basis of the proposed conception of modeling and optimization of investment portfolio in accordance to KPI are presented. Main directions of further research are indicated.

## 1. Введение

Моделирование портфелей ценных бумаг является специфической задачей составления такого сочетания ценных бумаг, которое бы удовлетворяло выбранной инвестиционной стратегии. Выбор ценных бумаг для инвестирования при этом основывается на двух основных процессах: анализе поведения ценных бумаг на основе их исторических котировок и прогнозировании динамики их котировок в будущем. Прогнозирование при этом является процессом с неопределенной степенью вероятности, так как на котировки ценных бумаг влияют множество факторов, от локальных до глобальных, поэтому подготовка адекватной модели является чрезвычайно трудной задачей.

Процесс анализа является определенным по своей сути, так как берется уже известная информация о ценных бумагах, которая анализируется по метрикам, оценивающим соотношение доходности и риска. У разных метрик есть свои сильные и слабые стороны, а также отличительные особенности, которые в основном заключаются в разных подходах к пониманию риска. Оценка ценных бумаг по любым метрикам не представляет никакой сложности и достигается составлением соответствующей математической модели для одного элемента с удельным весом равным 1. Однако, при составлении портфеля, количество элементов увеличивается и возникает необходимость в определении удельных весов ценных бумаг в составе портфеля, изменение которых непосредственно сказывается на изменении ключевого показателя той или иной метрики. Данное условие приводит к решению задачи математической оптимизации, т.е. нахождению экстремума целевого ключевого показателя метрики и долей ценных бумаг в портфеле, которые обеспечивают значение данного показателя.

Разнообразие вариантов сочетаний ценных бумаг приводит к тому, что привлекательных для инвестирования элементов значительное количество и желательным является получение как можно более полной информации о потенциальных портфелях. Что приводит к решению задачи моделирования множества портфелей ценных бумаг из определенной совокупности рыночных элементов по заданному количеству элементов в портфеле и выбранной ключевой метрике.

Исходя из данных предпосылок можно заключить, что анализ потенциальных портфелей ценных бумаг для инвестирования является комплексной задачей, основу которой составляют методы математической оптимизации, метрики оценки ценных бумаг, заданные ограничения и предпочтения инвестора.

Настоящее исследование раскрывает теоретические аспекты анализа портфелей ценных бумаг, текущий опыт применения методов оптимизации и программных средств для анализа ценных бумаг, а также практический опыт по автоматизации анализа ценных бумаг.

Актуальность исследования заключается в практическом применении современных метрик к составлению и оптимизации портфелей ценных бумаг применительно к российскому рынку, созданию инструмента, позволяющего получить объективную информацию о возможностях инвестирования.

Новизна проводимого исследования состоит в предложении подхода автоматизированного моделирования множества портфелей ценных бумаг на основе ключевых показателей эффективности (KPI) и выбора инвестиционного решения путем анализа всего рынка, а не его узкой части.

Предметом исследования выступает рынок ценных бумаг. Объектом исследования является оптимизация и моделирование составления портфелей ценных бумаг на основе показателей эффективности.

## 2. Теоретические моделирования и оптимизации портфелей ценных бумаг

### 2.1. Краткая характеристика предметной области исследования

Рынок ценных бумаг (фондовый рынок) является частью финансового рынка, на котором происходит перераспределение денежных средств посредством купли-продажи таких финансовых инструментов, как ценные бумаги, представляющие собой специфическую форму капитала, которая может отчуждаться, обращаться на рынке как товар и приносить доход ее владельцу. К ценным бумагам относятся такие инструменты как государственные и корпоративные облигации, акции, векселя, производные инструменты (опционы, деривативы, форварды, фьючерсы и т.д.).

При этом котировки элементов на фондовом рынке позволяют оценить деятельность крупнейших предприятий и секторов экономики, динамику их развития и тенденции функционирования экономики в целом.

Первостепенной целью функционирования рынка ценных бумаг является привлечение инвестиций для развития как конкретным экономическим агентам, так в экономику в целом. Это становится возможным благодаря следующим условиям следующих условий [1]:

- свободное движение капитала;
- обеспечение ликвидности ценных бумаг;
- наличие торговых площадок, обеспечивающих контакт продавцов и покупателей;
- информационной прозрачности рынка.

Роль и значение фондового рынка в системе рыночных отношений отражается в возложенных на него функциях. Как часть финансового рынка, фондовый рынок выполняет ряд общерыночных функций, таких как [2]:

- аккумулирующую функцию – привлечение свободного капитала;
- перераспределительную функцию – обеспечение перехода денежных средств от владельцев пассивного капитала к владельцам активного капитала, т.е. обеспечение свободного перетока денежных средств из затухающих отраслей в развивающиеся;
- регулирующую функцию – обеспечение организационного и правового порядка, регулирования, управления и организации на рынке со стороны государства и участников рынка.

В тоже время фондовый рынок имеет ряд специфических функций, к которым относят [2]:

- стимулирующую функцию – получение дохода от инвестирования свободного капитала;
- пенообразующую функцию – обеспечение процесса ценообразования ценных бумаг в зависимости от рыночных факторов;
- функцию страхования, перераспределения ценовых и финансовых рисков – использование инструментов фондового рынка для защиты владельцев каких-либо активов от неблагоприятного для них изменения цен, стоимости или доходности этих активов;
- информационную функцию – функция информирования участников рынка и общества обо всем, что происходит на рынке;
- учетную функцию – обязательный учет в реестрах всех видов ценных бумаг, участников рынка и операций, производимых на рынке.

Рассмотрев основные особенности предметной области исследования, необходимо подробно остановиться на объекте исследования – процессе инвестирования.

## 2.2. Сущность и характеристика портфельных инвестиций

Доказано, что стратегия инвестирования в один, даже самый эффективный элемент рынка является неэффективной, так как происходит полная зависимость конечного результата инвестирования от данного элемента. Наиболее эффективным является создание производного инструмента, портфеля, из элементов рынка, комбинация которых, позволяла бы обеспечить максимальный положительный результат инвестирования при минимизации рисков [3].

Инвестиционный портфель ценных бумаг является комплексным финансовым инструментом, целенаправленно сформированным в соответствии со специфической инвестиционной стратегией и представляет собой совокупность вложений в определенные объекты инвестирования. Формирование инвестиционного портфеля обусловлено выбранной тактикой и стратегией инвестирования и направлено на наиболее эффективных и надежных инвестиционных вложений, согласно выбранной стратегии.

Эффективность и надежность вложений при этом определяется такими показателями как [2]:

- обеспечение заданного уровня дохода;
- минимизация риска;
- снижение операционных затрат.

Инвестиционные портфели подразделяются в зависимости от типа дохода, который заложен при его создании. При этом выделяют следующие виды портфелей [1]:

- портфели роста;
- портфели дохода;
- смешанные портфели (роста и дохода).

На рис. 1 представлен процесс формирования портфеля ценных бумаг. Как видно из указанного графика, основная идея формирования портфеля – это снижение уровня риска путем выбора наилучшей комбинации ценных бумаг.

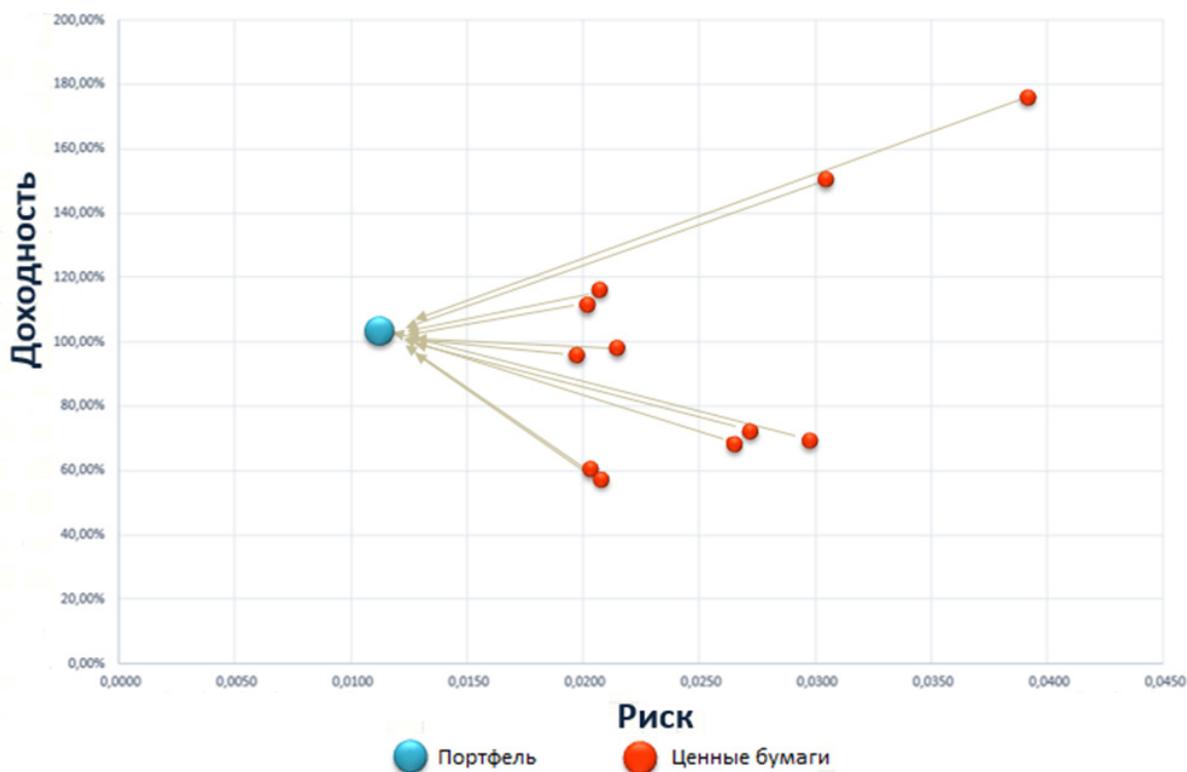


Рис. 1. Иллюстрация образования и преимуществ портфеля ценных бумаг.

Портфели роста формируются из ценных бумаг, цены которые как ожидается с течением времени возрастут. Портфели данного типа направлены преимущественно на увеличение вложенного капитала.

Существуют следующие разновидности портфелей роста от стратегии инвестора:

- портфели агрессивного роста – ориентированы на максимальный прирост капитала. Обычно составляется на основе ценных бумаг быстрорастущих компаний, вложения в которые являются рискованными, но имеют высокую степень положительной отдачи от инвестирования;
- портфели консервативного роста – формируются с целью сохранения инвестируемого капитала и его незначительное увеличение без существенного риска;
- комбинированные портфели роста – являются комбинацией ценных бумаг разной степени риска, состав которых периодически обновляется [1].

Портфели дохода составляется для обеспечения высокого уровня текущего дохода в виде процентных и дивидендных выплат. Существуют следующие его основные разновидности:

- портфели регулярного дохода – ориентированы на получение гарантированного периодического дохода при минимальном риске;
- портфели доходных бумаг – состоят из высокодоходных ценных бумаг, имеющих при этом средний уровень риска.

Портфели роста и дохода – это портфели, комбинирующие свойства портфеля роста и дохода. Одни инструменты отобраны для получения определенного уровня дохода, другие – для минимизации риска. Среди подобных портфелей выделяют следующие виды:

- портфели денежного рынка – нацелены на сохранение капитала, благодаря комбинированию быстрореализуемых активов в сочетании с денежной наличностью;
- портфели ценных бумаг государственных структур – объединяют государственные и муниципальные ценные бумаги для обеспечения дохода от владения данными ценными бумагами, которые обычно не облагаются налогами и являются безрисковыми или низкорисковыми;
- портфели ценных бумаг различных отраслей промышленности – сочетание ценных бумаг компаний различных секторов и отраслей экономики;
- портфели иностранных ценных бумаг – инвестирование в ценные бумаги иностранных компаний или других государств;
- конвертируемые портфели – состоят из привилегированных акций и облигаций, которые могут быть обменены на установленное количество обыкновенных акций по фиксированной цене, начиная с заданного момента времени, что дает возможность дополнительного дохода посредством конвертации на выгодных для инвестора условиях.

Рассмотрев основные виды портфелей ценных бумаг, остановимся на этапах их формирования. Укрупненно выделяют следующие этапы составления инвестиционного портфеля [1]:

- 1) Выбор инвестиционной стратегии постановка целей и задач инвестирования, определение желаемого уровня дохода от инвестиций, определение приемлемого риска.
- 2) Анализ рынка ценных бумаг и его составляющих. При этом выделяются фундаментальный анализ – изучение экономических закономерностей, рыночных характеристик в долгосрочной перспективе и технический анализ – анализ и прогнозирование рынка ценных бумаг, основанный на использовании математических и графических методов безотносительно к экономическим факторам, определяющим динамику рыночных показателей.
- 3) Формирование заданного портфеля ценных бумаг.

- 4) Оценка портфеля с точки зрения достижения поставленных целей.
- 5) Пересмотр портфеля.

Как было отмечено важнейшим этапом в инвестировании является проведение анализа и оценки рыночной ситуации и определение инструментов инвестирования, поэтому необходимо подробно остановиться на этом шаге и описать современное состояние данного вопроса, рассмотреть основные и комплексные показатели, характеризующие эффективность функционирования портфелей ценных бумаг.

### 2.3. Характеристика основных показателей оценки портфельных инвестиций

В основе принятия решения об инвестировании лежит соизмерение риска и доходности. От того, насколько корректно инвестор оценивает это соотношение, во многом зависит эффективность инвестиций.

Существуют различные подходы к оцениванию соотношения риска и доходности. Все они призваны выделить наиболее привлекательные активы, используя различные интерпретации понятий «риск» и «доходность». При этом возникает проблема правильного выбора формирования показателей, которые могли бы дать полное представление о его эффективности.

Показателями, характеризующими портфель ценных бумаг, являются:

- доходность;
- риск;
- количественный состав;
- структурный состав портфеля.

Доходность ( $r$ ) – определяется как отношение абсолютной величины дохода к стоимости приобретения актива, выраженное в процентах. Инвестор стремится соответственно максимизировать данный показатель [4].

$$(1) \quad r = \frac{v_1 - v_0}{v_0} \times 100\% .$$

Риск представляет собой вероятность возможной нежелательной потери. Риск стремятся минимизировать. Математически данный показатель строго рассчитать невозможно, так как он может быть по-разному интерпретирован и соответственно по-разному рассчитан.

Все риски, которые имеются на фондовом рынке, можно классифицировать и представить две большие группы:

- систематический (недиверсифицируемый) риск – это риск падения рынка ценных бумаг в целом. Этот риск не связан с владением ценной бумагой конкретного эмитента и присущ всем видам ценных бумаг, он является общерыночным и продиктован неопределенностью экономических процессов. Оценивая систематический риск необходимо сопоставлять ситуацию на фондовом рынке с альтернативными вариантами инвестирования;
- несистематический риск – это риск владения конкретной ценной бумагой того или иного эмитента. Этот риск является диверсифицируемым, и его можно снизить за счет формирования оптимального портфеля ценных бумаг.

Количественный состав – определится лицом, принимающим решение (ЛПР), на основе его экспертных знаний и желания диверсифицировать портфель и риски [4].

Структурный состав портфеля – определяется путем моделирования, исходя из указанных первых трех факторов на основе временного анализа котировок элементов портфеля. ЛПР при этом выбирает из предложенного множества оптимальный вариант,

основываясь на экспертной оценке прогноза динамики развития различных элементов рынка.

Взаимосвязанность показателей доходности и риска привела к выделению комплексного, по сути, ключевого показателя для оценки оптимальности портфеля ценных бумаг, учитывающего данную взаимосвязь.

Современная наука предлагает много различных способов, позволяющих оценить эффективность инвестиций в тот или иной финансовый актив, сформировать оптимальный инвестиционный портфель.

## 2.4. Комплексные показатели оценки эффективности портфеля ценных бумаг

Существуют несколько подходов к теории оптимального составления портфеля ценных бумаг.

Теория портфельных инвестиций была обоснована Г. Марковицем в работе «Выбор портфеля» 1952 г. В ней была предложена математическая модель формирования оптимального портфеля ценных бумаг, а также приведены методы построения таких портфелей при определенных условиях [3].

Г. Марковиц описал, что инвестор может снизить риск путем выбора некоррелируемых акций и предложил теоретико-вероятностную формализацию понятий «доходность» и «риск». В его модели для исчисления соотношения между риском инвестиций и их ожидаемой доходностью используется распределение вероятностей. Недостатком при этом являются тот факт, что ожидаемая доходность портфеля ценных бумаг определяется как среднее значение распределения вероятностей, а риск – как стандартное отклонение возможных значений доходности. Т.е. подход к определению риска крайне ограничен [2, с. 311].

Решением задачи Марковица является множество неуплучшаемых портфелей, то есть таких, в которых ожидаемая доходность не может быть увеличена без увеличения риска и, наоборот – риск не может быть уменьшен без уменьшения ожидаемой доходности [2].

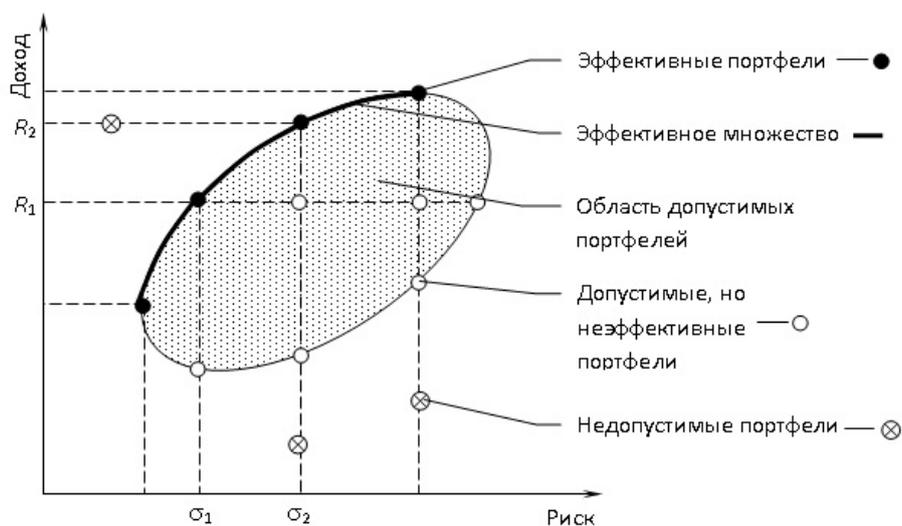


Рис. 2. Иллюстрация множества возможных портфелей ценных бумаг по Марковицу.

В настоящий момент выделяются различные подходы к оцениванию соотношения риска и доходности. Все они призваны выделить наиболее привлекательные активы, используя различные интерпретации понятий «риск» и «доходность».

Для количественной оценки эффективности деятельности управляющих инвестиционными фондами М. Йенсен в 1968 г., предложил использовать коэффициент Альфа, известный как Альфа Йенсена [2].

$$(2) \quad \alpha_p = r_p - [r_f + (r_m - r_f) \times \beta_p],$$

где:  $r_f$  – средняя безрисковая ставка;  $\beta_p = \frac{\text{cov}(r, r_m)}{\sigma_m^2}$  – мера риска портфеля;  $r_m$  – доходность рынка;  $r_p$  – доходность портфеля;  $\sigma_m$  – стандартное отклонение доходности рынка.

Показатель Альфа позволяет оценить дополнительную доходность, полученную благодаря выбору изначально недооцененного актива. В современных условиях этот коэффициент очень активно используется при оценке роли управляющего в управлении фондом. Коэффициент позволяет определить, насколько управляющий обыгрывает или проигрывает ему. Чем выше значение коэффициента, тем качественнее управление фондом.

У. Шарп в 1994 году предложил использовать для оценки эффективности инвестиций при формировании и управлении портфелем коэффициент Шарпа, отношение средней доходности, превышающей безрисковую ставку, к риску, исчисленному как стандартное отклонение доходности портфеля [5].

$$(3) \quad Sharpe = \frac{r - r_f}{\sigma_p},$$

где:  $\sigma_p$  – стандартное отклонение доходности портфеля.

Чем больше значение коэффициента Шарпа, тем больше получит инвестор за принятый на себя риск и тем более качественным является актив по соотношению риска и доходности. Отрицательная величина коэффициента Шарпа свидетельствует о том, что больший доход был бы получен при вложении в безрисковые активы.

Коэффициент Шарпа является наиболее известным показателем эффективности инвестирования, однако данный показатель имеет ряд существенных недостатков.

Во-первых, коэффициент Шарпа весьма чувствителен к своим составляющим, и при стабильности одной из них и нестабильности другой стремится либо к нулю, либо к бесконечности, теряя смысл инструмента оценки.

Во-вторых, коэффициент Шарпа в качестве меры риска учитывает показатель стандартного отклонения, который представляет собой волатильность доходности портфеля, которая включает изменения доходности как в положительную, так и в отрицательную стороны.

В-третьих, коэффициент Шарпа соотносит доходность с общим риском, как системным (неустранимым), так и несистемным (диверсифицируемым) [3, с. 23 – 24].

Иной показатель оценки оптимальности портфеля инвестиций, учитывающий только рыночный риск, предложил Дж. Трейнор. Коэффициент Трейнора представляет собой отношение средней доходности, превышающей безрисковую процентную ставку, к систематическому риску [6].

$$(4) \quad Treynor = \frac{r - r_f}{\beta_p}.$$

Коэффициент Трейнора имеет практически такой же смысл, как и коэффициент Шарпа, но оценивает дополнительную доходность только по отношению к систематическому неустранимому риску.

Д. Стерлинг Джонс в 1981 году предложил коэффициент, измеряющий отношение годовой доходности к средней величине максимального падению котировок за период.

$$(5) \quad \text{Sterling} = \frac{r - r_f}{\text{Avg.Largest.Drowdown}},$$

где: *Avg.LargestDrowdown* – величина среднего максимального падения котировок за период.

Волатильность, используемая при расчете коэффициента Шарпа, показывает отклонения как в положительную, так и в отрицательную сторону, в то время как максимальная просадка оценивает исключительно потенциальные потери, потому коэффициент Стерлинга предпочтительнее для оценки системных рисков.

Ф. Модильяни был предложен более глубокий коэффициент, оценивающий какая доходность была бы получена, если бы суммарный риск актива был равен рыночному риску [7].

$$(6) \quad M2 = (r - r_f) \times \frac{\sigma_m}{\sigma_p} + r_f.$$

Ф. Сортино и Л. Прайс предложили использовать новый показатель, который при расчете риска учитывает только риск падения цен, так как инвесторы чувствительными к отрицательным доходностям, и для оценки эффективности портфеля целесообразно учитывать только негативную часть его распределения, нижнюю волатильность [8].

$$(7) \quad \text{Sortino} = \frac{r_t - \text{MAR}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^T \text{negative}(r_i - \text{MAR})^2}{T}}},$$

где: MAR – минимальный требуемый инвестором уровень доходности;  $r_t$  – доходность в момент времени  $t$ ;  $T$  – период инвестирования.

Коэффициент Сортино вместо показателя доходности безрисковых вложений использует показатель MAR (минимальный уровень доходности, на который согласен инвестор), так как очевидно, что инвестор делает предпосылку заработать больше, чем это можно сделать без риска.

Особенностью данного подхода является тот факт, что для адекватного анализа необходимо использовать максимально длинные временных ряды, чтобы получить достаточное количество точек для сбора информации об отрицательной волатильности.

Таким образом, данный показатель позволяет более адекватно оценивать эффективность инвестирования, так как в большей мере учитывает предпочтения инвесторов и их отношение к риску, как к проявлению отрицательной доходности, а не просто изменению этой доходности.

Коэффициент потенциального роста вытекает из коэффициента Сортино. Данный показатель описывает отношение доходности, которая находится выше уровня MAR к доходности, находящейся ниже уровня MAR. Таким образом описывается отношение положительной волатильности к отрицательной [2].

$$(8) \quad U = \frac{\sum_{i=1}^T \text{positive}(r_i - \text{MAR})}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^T \text{negative}(r_i - \text{MAR})^2}{T}}}.$$

Э. Мэротом в 2011 году предложен V2 коэффициент (названный сокращенно от наименования компании «Valu Valu»). V2 коэффициент отношением величины избы-

точного дохода к потерям портфеля относительно эталона сравнения. Назначение данного коэффициента заключается в выделение психологического воздействия результатов инвестирования [9].

$$(9) \quad V2 = \frac{\left(\frac{P_n}{B_n} : \frac{P_0}{B_0}\right)^{\frac{p}{T}} - 1}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^T \left(\frac{P_i}{B_i} : \left[\frac{P_i}{B_i}\right]^{peak} - 1\right)^2}{T} + 1}},$$

где:  $P$  – стоимость портфеля в указанный момент времени;  $B$  – стоимость эталона сравнения в указанный момент времени;  $T$  – период инвестирования;  $p$  – число идентичных периодов  $T$  в году;  $\left[\frac{P_i}{B_i}\right]^{peak}$  – максимальное значение стоимости портфеля к стоимости эталона в момент времени  $i$ .

$V2$  коэффициент показывает насколько лучше ведет себя портфель по сравнению с эталоном сравнения, как в моменты роста, так и в моменты падения.

В 2000 г. М. Штуцер предложил новый показатель для оценки эффективности инвестирования, призванный решить проблему асимметрии и эксцесса распределений. Штуцер предположил, что дополнительная доходность, полученная свыше определенного уровня, в дальнейшем с большой долей вероятности окажется отрицательной в течение длительного периода времени. Исходя из этого, необходимо минимизировать эту вероятность в течение всего срока инвестирования. Если предположить, что соблюдаются предпосылки Марковица о независимости и одинаковой распределенности доходности и их математическое ожидание больше нуля, то в соответствии с законом больших чисел искомая вероятность будет близка к нулю. Следовательно, все стратегии являются одинаково эффективными. Однако подобное утверждение далеко не всегда оказывается справедливым. Для решения этой загадки Штуцер предложил использовать теорию больших отклонений. Используя этот подход, можно оценить, с какой скоростью изучаемая вероятность сходится к 0 [2].

$$(10) \quad I_p = \max_{\theta} \left\{ -\log \left( \frac{1}{T} \right) \sum_{i=1}^T e^{\theta \times \tilde{r}_p} \right\},$$

где:  $\tilde{r}_p = r - MAR$ ;  $\theta$  – параметр максимизации.

Чем выше скорость схождения, тем лучше принятая стратегия инвестирования. Следовательно, для анализа эффективности можно использовать следующий показатель:

$$(11) \quad St_p = \text{sign}(\tilde{r}_p) \sqrt{2 \times I_p},$$

где:  $\text{sign}(\tilde{r}_p)$  – знак среднего значения  $r_p$ .

У коэффициента Штуцера имеются недостатки, связанные с нестабильностью данного показателя, но это свойство проявляется в меньшей степени, поскольку он принимает во внимание высшие моменты распределения. Кроме того, следует учитывать, что при формировании инвестиционного портфеля и включении в него даже большого количества активов для лучшей диверсификации предположения о том, что доходности независимы и одинаково распределены, не соблюдаются.

Помимо указанных комплексных показателей также применяются и другие показатели исторического анализа, которые могут дать ЛПП больше информации для анализа и оценки рыночной ситуации.

Коэффициент Сортино на наш взгляд является наиболее оптимальным для формирования модели создания оптимального портфеля на основе критерия «доходность / риск».

Так как показатели для анализа и оценки возможных портфелей являются статистическими, то очевидно, что на их значение будет оказывать влияние выбранный временной горизонт времени. В связи с этим возникает проблема адекватного выбора временного периода для анализа и того как будут изменяться результаты моделирования в ходе изменения временного горизонта. Задача выбора временного горизонта также ложится на ЛПР, который должен принимать во внимание условия получения максимальной информативности и стадию развития рынка и выбранных ценных бумаг.

Ознакомившись с основными комплексными показателями оценки эффективности портфелей ценных бумаг, необходимо обозначить актуальные проблемы при их моделировании и оптимизации, а также предложить концепцию решения указанных проблем.

## 2.5. Оптимизация и моделирование портфелей ценных бумаг

Оптимизация представляет собой задачу нахождения экстремума (минимума или максимума) целевой функции в некоторой области конечномерного векторного пространства, ограниченной набором линейных и/или нелинейных равенств и/или неравенств. Применительно к рынку ценных бумаг и портфельному инвестированию, оптимизация портфеля заключается в нахождении оптимальных долей элементов, входящих в состав портфеля, при котором выбранный показатель, характеризующий соотношение доходности и риска портфеля, либо показатель риска портфеля для заданной стратегии инвестирования будет оптимальным. Основными критериями оптимизации являются: максимизация коэффициентов «доходность / риск» (коэффициенты Шарпа, Сортино, Трейнора) или минимизация риска (волатильности; отрицательного отклонения темпов роста доходности портфеля от заданного или  $\beta$  коэффициента, характеризующего отношение темпа роста портфеля в сравнении с рынком).

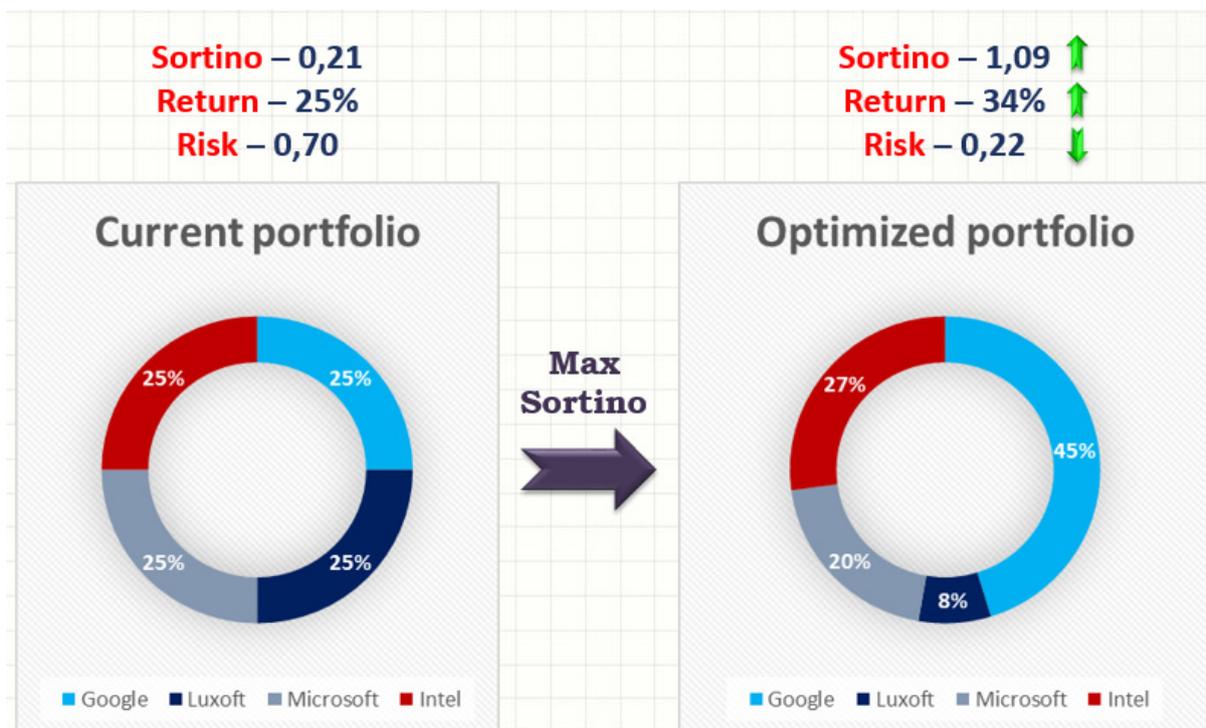


Рис. 3. Сущность процесса оптимизации портфеля ценных бумаг.

При оптимизации портфелей ценных бумаг могут быть использованы следующие методы нелинейной оптимизации [10]:

- Последовательное квадратичное программирование (SQP) – один из наиболее распространённых и эффективных оптимизационных алгоритмов общего назначения, основной идеей которого является последовательное решение задач квадратичного программирования, аппроксимирующих данную задачу оптимизации. Для оптимизационных задач без ограничений алгоритм SQP преобразуется в метод Ньютона поиска точки, в которой градиент целевой функции обращается в ноль. Для решения исходной задачи с ограничениями-равенствами метод SQP преобразуется в специальную реализацию ньютоновских методов решения системы Лагранжа;
- Алгоритм Бroyдена-Флетчера-Гольдфарба-Шанно (BFGS algorithm) – итерационный метод численной оптимизации, предназначенный для нахождения локального максимума/минимума нелинейного функционала без ограничений. BFGS – один из наиболее широко применяемых квазиньютоновских методов. В квазиньютоновских методах не вычисляется напрямую гессиан функции. Вместо этого гессиан оценивается приближенно, исходя из сделанных до этого шагов. Также существуют модификация данного метода с ограниченным использованием памяти (L-BFGS), который предназначен для решения нелинейных задач с большим количеством неизвестных, а также модификация с ограниченным использованием памяти в многомерном кубе (L-BFGS-B);
- Метод Нелдера-Мида – метод безусловной оптимизации функции от нескольких переменных, не использующий производной функции, а поэтому легко применим к негладким и/или зашумлённым функциям. Суть метода заключается в последовательном перемещении и деформировании симплекса вокруг точки экстремума;
- Градиентный спуск – метод нахождения локального экстремума с помощью движения вдоль градиента. Для минимизации функции в направлении градиента используются методы одномерной оптимизации, например, метод золотого сечения. Также можно искать не наилучшую точку в направлении градиента, а какую-либо лучше текущей. Наиболее простой в реализации из всех методов локальной оптимизации. Имеет довольно слабые условия сходимости, но при этом скорость сходимости достаточно мала;
- Метод Ньютона – это итерационный численный метод нахождения корня (нуля) заданной функции. Поиск решения осуществляется путём построения последовательных приближений и основан на принципах простой итерации. Метод обладает квадратичной сходимостью. Улучшением метода является метод хорд и касательных;
- Авторегрессионная условная гетероскедастичность (ARCH) – применяемая в эконометрике модель для анализа временных рядов, у которых условная (по прошлым значениям ряда) дисперсия ряда зависит от прошлых значений ряда, прошлых значений этих дисперсий и иных факторов. Данные модели предназначены для «объяснения» кластеризации волатильности на финансовых рынках, когда периоды высокой волатильности длятся некоторое время, сменяясь затем периодами низкой волатильности, причем среднюю (долгосрочную, безусловную) волатильность можно считать относительно стабильной;
- Алгоритм Левенберга-Марквардта – метод оптимизации, направленный на решение задач о наименьших квадратах. Является альтернативой методу Ньютона. Может рассматриваться как комбинация последнего с методом градиентного спуска или как метод доверительных интервалов;

- Генетический алгоритм – это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному в природе. Является разновидностью эволюционных вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов естественной эволюции, таких как наследование, мутации, отбор и кроссинговер. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе.

Рассмотрев вопросы и методы оптимизации, применительно к портфельным инвестициям, необходимо остановиться на процессе моделирования портфелей ценных бумаг.

Моделирование представляет собой исследование объектов на их моделях, построения и изучение моделей реально существующих объектов, процессов или явлений с целью получения объяснений данных явлений, а также их прогнозирования. Имитационная модель при этом представляет собой логико-математическое описание объекта, которое может быть использовано для экспериментирования в целях проектирования, анализа и оценки функционирования объекта [10].

Применительно к портфельному инвестированию моделирование заключается в нахождении множества портфелей ценных бумаг, составленных по заданным критериям на основе оптимизации ключевого показателя эффективности портфеля для целей получения полной картины возможностей инвестирования и принятия окончательного решения ЛПР.

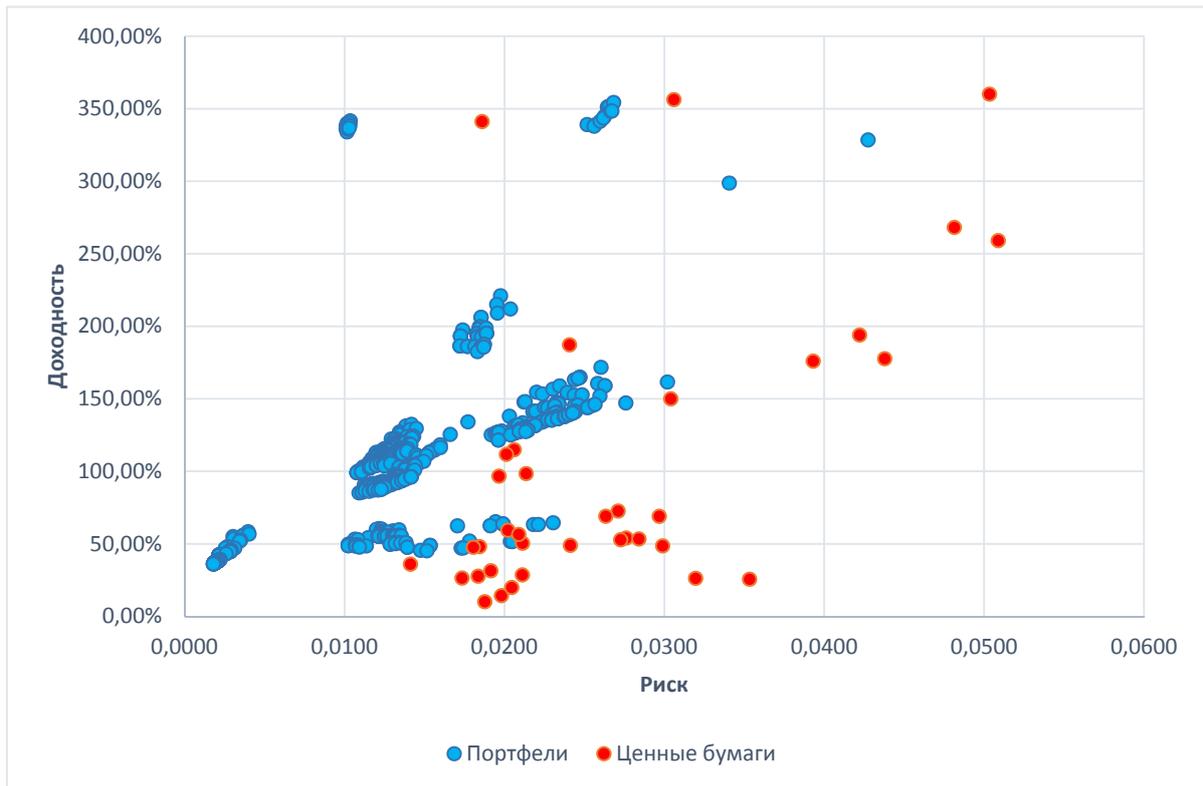
Ключевыми показателями при этом выступают показатели, которые подвергаются оптимизации: коэффициенты, выражающие взаимосвязь «доходность / риск» (коэффициенты Шарпа, Сортино, Трейнора); показатели, характеризующие риск (волатильность; отрицательное отклонение темпов роста доходности портфеля от заданного,  $\beta$  коэффициент, характеризующий отношение темпа роста портфеля в сравнении с рынком).

Показатели риска при этом минимизируются, показатели, характеризующие зависимость доходности и риска – максимизируются.

Прочими выбираемыми критериями при этом выступают:

- количество элементов в портфеле;
- ограничения на максимальное и минимальное значение доли одного элемента в портфеле;
- минимально приемлемый или безрисковый уровень доходности и т.д.

Иллюстрация концепции моделирования портфелей ценных бумаг представлена ниже:



**Рис. 4.** Иллюстрация моделирования портфелей ценных бумаг.

Таким образом на основе моделирования возможно получить общую картину о существующих комбинациях ценных бумаг в портфели и на основе данной информации принять более взвешенное решение о инвестировании на основе экспертной оценки и прогноза будущего поведения элементов рынка и рынка в целом.

### 3. Аналитический обзор программного обеспечения для моделирования портфелей ценных бумаг

#### 3.1. Краткий обзор программ для работы с портфелями ценных бумаг

Для работы с портфелями ценных бумаг создано большое число программ и приложений, которые отличаются по своему функциональному назначению, возможностям и ориентированных на решение различных проблем.

В общем можно выделить следующие большие группы, на которые возможно классифицировать существующее программное обеспечение для работы с портфелями ценных бумаг.

- Информационно-справочные программы. К данной группе относятся многочисленные приложения, функциональность, которых направлена на получение информации о ценных бумагах, изменению их котировок. Также имеются возможность составлять портфели по выбору пользователя для отслеживания их характеристик с течением времени. Существует как онлайн системы, такие Yahoo.Finance, Google.Finance, portfolio.rbc.ru, приложение для мобильных устройств, такие как iEconomy, iFinance, так и версии программ для ПК.
- Программы для осуществления торговых операций с ценными бумагами. Широкий спектр программ, непосредственно связанных с торговлей на рынке ценных бумаг.

Данные программы разработано для брокерских контор для автоматизации операций и обработки поручений клиентов и непосредственно торговли на рынке. Данные программы имеют все торговые возможности, также инструменты для анализа текущих решений и аналитики. Наиболее распространенными в России являются Quik, Transaq, FinamTrade, MetaTrader, Finam Multi Exchange, TSLab, Trade Center, Tradematic Trader, LiveTrade Professional, Volfix, QScalp, XTick Extreme.

- Программы для обучения инвестированию. К данной группе программ относятся различные симуляторы и имитационные игры, цель которых погрузить пользователя в атмосферу рынка, дать практические навыки поведения на рынке ценных бумаг, исследовать различные варианты стратегий инвестирования, ознакомиться с основными операциями на рынке. Наиболее интересными в данной группе выглядят следующие приложения: iStockTrack (stocktrak.com), MarketWatch (marketwatch.com/game/ и marketwatch.com/game/practice-portfolio-simulation) симулятор Investopedia (investopedia.com/simulator/).
- Системы мониторинга портфеля ценных бумаг для профессиональных участников рынка. Данные системы содержат интеграционные возможности для ведения бухгалтерского учета, мониторинга рыночной ситуации, прогнозирования и помощи в принятии решений. Наиболее распространенной является система управления портфелями ценных бумаг (GAMA – Global Asset Management Assistant).
- Программы для оптимизации портфелей ценных бумаг. К данному кругу программ относятся различные оптимизационные приложения, разработанные и основанные на методах математической оптимизации, позволяющие сформировать портфель ценных бумаг для достижения максимальных показателей коэффициентов эффективности. При этом используются специальные алгоритмы и библиотеки языков программирования.
- Программы для моделирования портфелей ценных бумаг. К данной группе программных средств относятся программы, позволяющие проводить множественное моделирование, конструирование и оптимизацию портфелей ценных бумаг для анализа существующих возможностей для инвестирования. Они объединяют функциональность оптимизации и дополняя ее возможностью многократного ее проведения.

Для целей настоящей работы большой интерес представляют программные средства, относящиеся к 5 и 6 группе, т.е. программное обеспечение для моделирования и оптимизации портфелей ценных бумаг.

В ходе аналитического обзора были проанализированы следующие доступные программные системы:

- Excel Portfolio Optimization Template;
- Macroaxis;
- Barra Open Optimize;
- SmartFolio;
- Large-Scale Optimizer;
- QSToolKit;
- Horizon;
- приложения для работы с ценными бумагами на основе MATLAB Mathworks.

В результате аналитического обзора указанных программных систем было установлено, что на текущий момент хорошо развитым является направление, связанное с выбором и оптимизацией конкретно заданного портфеля ценных бумаг. Этому во многом способствует наличие многочисленных, в том числе открытых, оптимизационных программных механизмов.

В отношении моделирования портфелей ценных бумаг, только QSToolKit обладает такой особенностью, однако данная программная платформа является оболочкой, имеющей все необходимые инструменты для моделирования, сам алгоритм работы должен быть написан непосредственно пользователем на языке программирования.

Таким образом можно сделать вывод о том, что создание более функционального программного обеспечения является следующим шагом в эволюции развития программных систем для оптимизации и моделирования портфелей ценных бумаг. Для этого есть все необходимые предпосылки и инструменты, которые могут быть использованы под конкретную задачу.

### **3.2. Актуальные проблемы моделирования и оптимизации портфелей ценных бумаг**

Обобщая результаты анализа приведенных выше взглядов на проблему оптимизации и составления портфелей ценных бумаг, выделим основные аспекты, которые требуют решения в данной области.

К основным проблемам оптимизации и составления портфелей ценных бумаг относятся следующие [11]:

- Узкая распространенность некоторых современных подходов к оптимизации и составлению оптимального портфеля, в частности это касается практического применения коэффициента Сортино, особенно это касается российской практики.
- Отсутствие открытых программных продуктов, позволяющих решать проблемы анализа всей совокупности элементов рынка для выбора предпочтительных инструментов инвестирования, их комбинаций и соотношения внутри портфеля ценных бумаг. Открытые версии позволяют только выбрать портфель ценных бумаг из элементов рынка и добиться его оптимизации по некоторым ключевым метрикам.
- Механизмы оптимизации портфелей ценных бумаг в основной массе научных и экспертных работ, особенно российской, основаны на трудах Г. Макровица, не содержат никакой практической и научной новизны и лишь копируют известный механизм, игнорируя современные метрики и теории.
- Механизмы современных метрик портфельной оптимизации настолько сложны, что являются предметом исследования дискретной оптимизации и квадратичного программирования и фактически не могут быть реализованы без применения сложнейших систем анализа, таких как надстройка Solver или механизм выпуклой оптимизации Matlab или специальных математических библиотеки для различных языков программирования, реализующих методы и функциональность математической оптимизации.
- Большое количество моделируемых портфелей при анализе рынка, даже с учетом отсева наиболее непривлекательных ценных бумаг для моделирования.
- Высокая трудоемкость моделирования. Ввиду большего количества элементов рынка, моделировать приходится достаточно большое число портфелей, при этом каждый из них необходимо не только составить, но и оптимизировать на основе алгоритмов оптимизации, что без высокой степени автоматизации занимает значительное время.
- У многих решений отсутствует многопоточность при совершении процесса моделирования. Реализовать данный момент возможно только при разработке нового приложения на языке программирования, которое способно реализовать данную функциональность, вложенную в инструменты языка.
- Слабый свободный доступ к историческим котировкам ценных бумаг. В отличие от западных стран, где возможно в свободном доступе найти большое количество ин-

формации о котировках ценных бумаг у довольно удобной форме, в России данные сервисы очень слабо развиты. Наиболее удобным является ресурс [export.rbc.ru](http://export.rbc.ru), где можно получить быстрый доступ к информации о котировках всех ценных бумаг, однако итоговое представление данных очень неудобно, однако путем создания алгоритма организации данных, можно привести их в необходимый вид. Также стоит отметить, что западные сервисы помимо свободного распространения информации, позволяют подключаться к своим хранилищам данным из внешних сторонних программ.

Приведенные выше пункты позволяют сделать утверждение о большей степени неопределенности и нехватке адекватных инструментов анализа применительно к российской практике.

На наш взгляд решение указанных проблем видится в создании программного комплекса, позволяющего проводить качественный анализ и объективный обзор допустимых портфелей инвестирования по заданным ключевым метрикам.

Реализация экспертной системы позволит проводить эксперименты по моделированию портфелей по заданным критериям, что предоставит значительный объем организованной информации, опираясь на который ЛПР сможет более эффективно принимать решения по инвестированию на рынке ценных бумаг.

Данный подход заключается в абстрагировании от субъективных оценок различных инструментов инвестирования и получении независимого комплексного информационного и аналитического среза по всей совокупности инструментов инвестирования к заданной точке времени. Тем самым предоставляемая информация будет адекватным независимым инструментом оценки поведения ценных бумаг и их комбинаций. На основе данной информации ЛПР сможет в зависимости от своих предпочтений вносить коррективы, основанные на текущих прогнозах и оценках развития рынка и эмитентов ценных бумаг, для выработки и реализации стратегии инвестирования.

## **4. Описание экспертной системы для моделирования портфелей ценных бумаг на основе ключевых показателей эффективности**

### **4.1. Концепция экспертной системы**

Концепция предлагаемой системы основана на разработке графического интерфейса и программного алгоритма, позволяющего:

- осуществлять загрузку котировок ценных бумаг за выбранный период времени;
- производить анализ ценных бумаг, результат которого мог быть представлен в виде интерактивной графической формы, с возможностью сортировки по показателям;
- выбирать ряд ценных бумаг для моделирования по средствам интерактивной графической формы с помощью чекбоксов;
- выбирать параметры для моделирования портфелей из выбранной совокупности ценных бумаг (количество ценных бумаг в портфеле, параметр оптимизации (KPI), критерий оптимизации, минимальный и безрисковый уровни доходности, ограничения на максимальную и минимальную долю каждого элемента в портфеле);
- проводить моделирование портфелей из выбранной совокупности ценных бумаг, одновременно с их оптимизацией по выбранному KPI;
- визуализировать результаты проведенного моделирования, как в табличном, так и в графическом виде (с построением точечных диаграмм рассеивания совокупности смоделированных портфелей и анализируемых ценных бумаг);

- экспортировать полученные результаты в виде отчетов.  
В качестве КРІ выступают следующие показатели:
- коэффициент Сортино;
- отрицательная волатильность;
- коэффициент Шарпа;
- волатильность;
- коэффициент Трейнора.

Математические модели для каждого КРІ указаны ниже.

Математическая модель оптимизации портфеля по коэффициенту Сортино представлена в виде следующей системы уравнений:

$$(12) \quad Sortino = \frac{\sum_{t=1}^T \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t})}{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t-1})} \times 100 - 100 \right] - \frac{MAR}{T-1}}{\sqrt{\sum_{i=1}^T \text{negative} \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t})}{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t-1})} \times 100 - 100 - \frac{MAR}{T-1} \right]^2}} \rightarrow \max ,$$

$$0 \leq w_i \leq 1,$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

Математическая модель оптимизации портфеля по отрицательной волатильности представлена в виде следующей системы уравнений:

$$(13) \quad DownDiv = \sqrt{\sum_{i=1}^T \text{negative} \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t})}{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t-1})} \times 100 - 100 - \frac{MAR}{T-1} \right]^2} \rightarrow \min ,$$

$$0 \leq w_i \leq 1,$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

Математическая модель оптимизации портфеля по коэффициенту Шарпа представлена в виде следующей системы уравнений:

$$(14) \quad Sharpe = \frac{\sum_{t=1}^T \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t})}{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t-1})} \times 100 - 100 \right] - \frac{r_f}{T-1}}{\sqrt{\sum_{t=1}^T \left[ \frac{\left( \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t})}{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t-1})} \times 100 - 100 \right) - \frac{r_f}{T-1}}{T-1} \right]^2}} \rightarrow \max,$$

$$0 \leq w_i \leq 1,$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

Математическая модель оптимизации портфеля по волатильности представлена в виде следующей системы уравнений:

$$(15) \quad StdDiv = \sqrt{\sum_{t=1}^T \left[ \frac{\left( \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t})}{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t-1})} \times 100 - 100 \right) - \frac{r_f}{T-1}}{T-1} \right]^2} \rightarrow \min,$$

$$0 \leq w_i \leq 1,$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

Математическая модель оптимизации портфеля по коэффициенту Трейнора представлена в виде следующей системы уравнений:

$$(16) \quad Treynor = \frac{\sum_{t=1}^T \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t})}{\sum_{i=1}^n (w_i \times r_{i,t-1})} \times 100 - 100 \right] - \frac{r_f}{T-1}}{\sum_{t=1}^T \frac{\sum_{i=1}^n \text{cov}(w_i \times r_{i,t}, r_m)}{\sigma_m^2}} \rightarrow \max,$$

$$0 \leq w_i \leq 1,$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

Для реализации обозначенной концепции был выбран язык программирования Python. Отличительными особенностями Python являются:

- быстрота освоения языка;

- наличие множества свободно распространяемых библиотек, значительно обогащающих функциональные возможности языка;
- минималистический синтаксис языка;
- более низкая трудоемкость написания кода, по сравнению с аналогами (языками Java и языками группы C);
- постоянная расширяемость языка, быстрое действие (в данном компоненте Python проигрывает только языкам C и C++).

Данный язык программирования широко используется в научных исследованиях, его также используют в своих разработках такие компании как Google, Яндекс, Nokia, NASA, CERN и др.

Приложение разработано в интегрированной среде разработки PyCharm, созданной чешской компанией JetBrains на основе IntelliJ IDEA. Сайт разработчика – [jetbrains.com/pycharm](http://jetbrains.com/pycharm). Данная среда разработки содержит средства для анализа кода, графический отладчик, инструмент для запуска юнит-тестов и поддерживает веб-разработку. PyCharm имеет двойное лицензирование и распространяется как проприетарное программное обеспечение (для коммерческого и промышленного использования), существует также лицензия Apache, по которой программа распространяется свободно в усеченной функциональности (для независимых, некоммерческих, исследовательских или учебных проектов).

Графический интерфейс создан посредством свободно распространяемой библиотеки wxPython, написанной на языке программирования C++.

Графическое представление результатов анализа и моделирования сделаны посредством свободно распространяемой библиотеки визуализации данных Matplotlib, разработанной Джоном Хантером, свободно распространяемой библиотеки визуализации данных Prettyplotlib, разработанной Ольгой Ботвинник и свободно распространяемой библиотеки работы с цветовой палитрой Brewer2mpl.

Моделирование осуществляется на основе свободно распространяемых библиотек SciPy и NumPy, лицензируемых на основе BSD соглашения.

Загрузка исходных данных о динамике ценных бумаг осуществляется на основе свободно распространяемой библиотеки Pandas, лицензируемой на основе BSD соглашения. Данная библиотека предназначена для анализа и структурирования данных. Для этих целей используется также стандартный модуль csv.

На рис. 5 представлена блок-схема алгоритма разработанного программного обеспечения [11]. На данной схеме можно видеть основные процессы, к которым относятся загрузка исходных данных, моделирование и оптимизация портфелей, а также вспомогательные, в данном случае результирующие процессы – процессы вывода и экспорта результатов моделирования в виде отчетов и графиков.

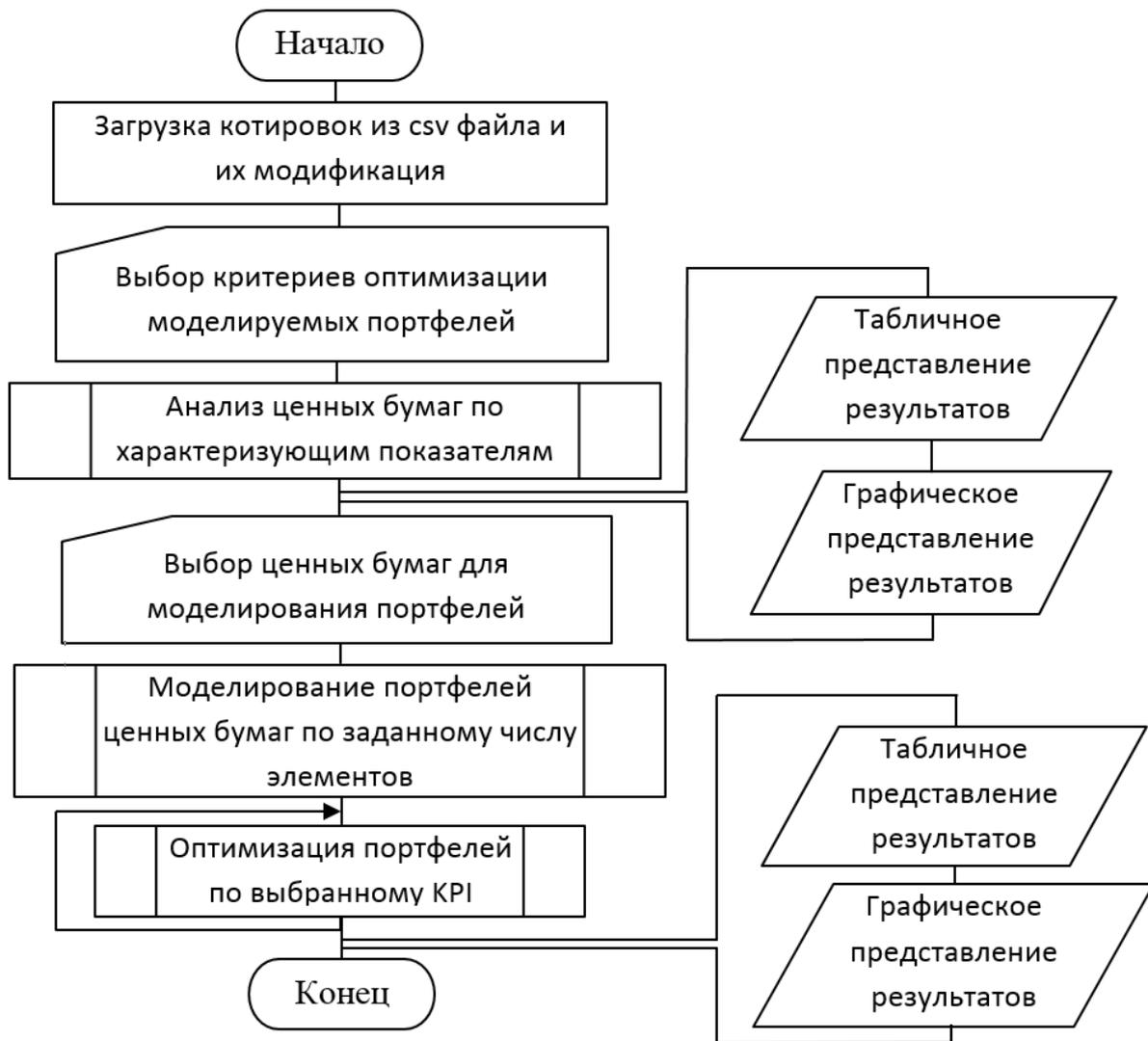


Рис. 5. Блок схема разработанной системы для моделирования портфелей по KPI.

Блок схема, представленная на рис. 5, отражает последовательность выполнения программных операций, а также циклический характер хода работы программы в точках условного перехода.

#### 4.2. Описание графического интерфейса экспертной системы

Графический интерфейс создан посредством свободно распространяемой библиотеки wxPython. Графический интерфейс представлен в виде окон, наполненных обособленной структурированной функциональностью.

В главном окне посредством меню выбирается варианты для анализа. В настоящее время поддерживается загрузка данных по ценным бумагам непосредственно через Интернет для бирж MOEX, NESE, NASDAQ, также возможно загрузить данные из выбранного csv файла. В меню также возможно получить справку по работе с программой и теоретико-методологическим основам предметной области.

В основной области окна задаются параметры для анализа и моделирования. Выбирается период, за который пользователь желает получить данные, выбираются минимально приемлемый уровень доходности и безрисковая ставка, для моделирования указывается критерий оптимизации и ограничения на доли элементов в портфеле. Когда пользователь подтверждает окончательность выбора, запускается процесс анализа.

Результат процесса анализа ценных бумаг представляется в виде окна с табличной формой. Окно результатов анализа представляет данные об основных показателях результативности в табличном виде с возможностью сортировки. Также возможно представление данных в графической форме. Кроме того, настроена автоматическая выгрузка результатов в форме таблицы Excel.

После проведения анализа, пользователь должен выбрать элементы для моделирования. В настоящий момент поддерживается создание портфелей, содержащих до 10 элементов (включительно).

Окно результатов моделирования подобно окну результатов анализа представляет данные в табличной форме. Форма содержит информацию о всех портфелях с указанием значения оптимизируемого KPI, доходности, риска, а также долей элементов в портфеле. Также возможно представление данных в графическом виде. Кроме того, настроена автоматическая выгрузка результатов в форме таблицы Excel.

Рассмотрев графический интерфейс, необходимо остановиться подробнее на программном алгоритме работе.

В основу разработки программы заложен принцип модульной организации программ. Таким образом, разработанное программное обеспечение состоит из связанных между собой модулей, каждый из которых объединяет в себе определенный законченный функционал.

Рассмотрим данные модули более подробно.

### **4.3. Характеристика модулей экспертной системы**

**4.3.1. Модуль Window.** Данный модуль отвечает за создание главного окна приложения, которое появляется сразу после его загрузки. В данном модуле прописаны необходимые элементы графического интерфейса, необходимые для дальнейшей работы приложения. Меню приложения позволяет выбрать файл, содержащий исходную информацию для анализа и моделирования, а также получить соответствующую теоретическую и методологическую справку по работе самой программы и концепциям, на основе которых она реализована. В самой форме главного окна доступны для выбора различные показатели необходимые для анализа, они реализованы по средством списков, чекбоксов и переключателей. Когда все показатели выбраны, пользователь нажимая на кнопку «Start», вызывает привязанное к данной кнопке событие, которое активирует дальнейшую функциональность приложения.

**4.3.2. Модуль ImpDfA.** Данный модуль выполняется после нажатия кнопки «Start» в форме, созданной модулем Window. Событие, привязанное к данной кнопке, вызывает процедуру чтения информации из исходного файла. По окончании этого процесса вызывается модуль Analysis

**4.3.3. Модуль Analysis.** Данный модуль реализует функциональность по созданию формы представления данных об анализируемых элементах, агрегированию данных для их последующего представления в табличном и графическом виде. Для всех элементов анализируются важнейшие показатели, которые дают представление о том, как ведет себя та или иная ценная бумага, а именно среднедневная доходность, коэффициент Сортино, коэффициент Шарпа, коэффициент Трейнора, риск в форме волатильности, риск в форме отрицательной волатильности, бета коэффициент, максимальная просадка. В процессе работы модуль вызывает соответствующие функции, которые находят указанные значения. Данные функции реализованы в модулях Sortino, Sharpe, Treynor.

**4.3.4. Модуль Sortino.** Данный модуль реализует функциональность по нахождению коэффициента Сортино, риска в форме отрицательной волатильности, доходности и максимальной просадке.

**4.3.5. Модуль Sharpe.** Данный модуль реализует функциональность по нахождению коэффициента Шарпа, риска в форме волатильности, доходности и максимальной просадке.

**4.3.6. Модуль Treynor.** Данный модуль реализует функциональность по нахождению коэффициента Трейнора, бета коэффициента, доходности и максимальной просадке. После того как на основе процедур, заложенных в модулях Sortino, Sharpe, Treynor формируется форма представления данных в модуле Analysis по всем элементам, процесс анализа заканчивается

**4.3.7. Модуль AnResWindow.** После окончания анализа элементов, на экране появляется окно, содержащее описанные ранее показатели по всем ценным бумагам в табличном виде. При этом реализована возможность сортировки по любому показателю, а также возможность выбора ценных бумаг по средствам чекбоксов. Выбранные пользователями бумаги будут использованы в дальнейшем для моделирования. Помимо табличного представления данных, которое можно экспортировать в MS Excel, при нажатии кнопки «Graphic results» создается диаграмма рассеивания, визуализирующая результаты анализа. Данный результат также можно сохранить в графическом формате.

После того как пользователь заканчивает работу с результатами анализа отдельных элементов, он может запустить процедуру моделирования и оптимизации портфелей ценных бумаг по заданным в главном окне показателями KPI. Данное событие привязано к кнопке «Simulation», которая запускает соответствующий модуль.

**4.3.8. Модуль Simulation.** В данном модуле описан алгоритм перебора элементов для формирования портфелей с заданным количеством ценных бумаг. Результатом работы модуля является форма представления моделирования портфелей ценных бумаг из заданной совокупности по оптимизированному KPI. В процессе цикла происходит формирование всего множества уникальных портфелей ценных бумаг с вызовом оптимизационного механизма по каждому KPI. Данные механизмы реализованы в модулях KPIs и Optimization.

**4.3.9. Модуль KPIs.** Данный модуль получает выбранный в главном окне программы KPI и создает на его основе функцию, соответствующую KPI для определенного количества элементов, из которых состоит портфель.

**4.3.10. Модуль Optimization.** После создания модели происходит поиск оптимального значения, выбранного KPI и долей элементов в портфеле.

После того как алгоритм перебора завершен, в модуле Simulation формируется форма представления данных о результатах моделирования.

**4.3.11. Модуль SimResWindow.** Данный модуль получает результаты данных моделирования и на их основе создает табличное представление результатов моделирования. Данные можно сортировать, а также экспортировать в MS Excel.

Кроме того, доступно графическое представление результатов моделирования в виде диаграммы рассеивания (при необходимости возможно ее совмещение с результатами анализа). Данный результат также можно сохранить в графическом формате [12].

**4.3.12. Взаимосвязь модулей программы.** Взаимосвязь модулей программы представлена на рис. 10 [11].

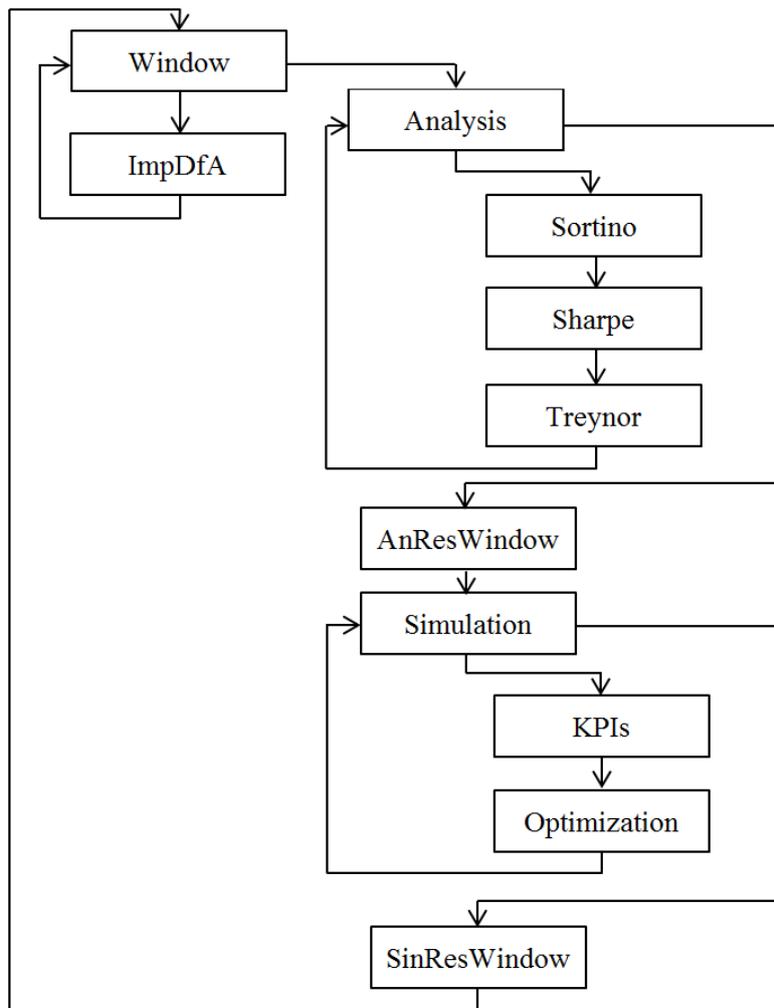


Рис. 6. Блок схема взаимосвязей модулей программы.

Показанная на рис. 6 взаимосвязь модулей программы, отражает последовательность передачи управления от одного модуля к другому и детализирует схему алгоритма работы программы, представленную на рис. 5.

Рассмотрев концепцию разработанного программного обеспечения, алгоритм и структуру его работы, теперь необходимо представить результаты его работы на реальных данных.

## 5. Аналитическое исследование рынков MOEX, NESE и NASDAQ за период с июля 2012 по июль 2014

На основе разработанного программного обеспечения для моделирования и оптимизации портфелей ценных бумаг возможно проводить следующие исследования:

- Анализировать ценные бумаги по основным показателям результативности. По результатам данного анализа можно разделить и сгруппировать ценные бумаги по уровням риска и доходности;
- Анализировать портфели ценных бумаг, состоящие из различного числа элементов. В результате можно определить неустранимый уровень риска, который невозможно снизить путем диверсификации и расширения количественного состава портфеля, а

также определить при каком количестве элементов в портфели данный уровень риска достигается (так как чем больше элементов в портфеле, тем сложнее им управлять и прогнозировать его поведение);

- Строить множество портфелей из выбранной совокупности ценных бумаг для их ранжирования, определения наиболее предпочтительный исходя из выбранной стратегии инвестирования;
- Проводить многократное моделирование на основе изменения критериев. Тем самым можно посмотреть на изменению в поведении интересующих портфелей в зависимости от изменения желаемых показателей результативности;
- Проводить многократное моделирование на основе изменения критериев. Тем самым можно посмотреть на изменению в поведении интересующих портфелей в зависимости от изменения желаемых показателей результативности;
- Проводить многократное моделирование на основе изменения критериев. Тем самым можно посмотреть на изменению в поведении интересующих портфелей в зависимости от изменения желаемых показателей результативности;
- Проводить многократное моделирование на основе изменения критериев. Тем самым можно посмотреть на изменению в поведении интересующих портфелей в зависимости от изменения желаемых показателей результативности;
- Находить оптимальные решения по структурному составу портфелей исходя из анализа исторических котировок и выбранных показателей результативности.

Для исследования работы разработанного программного обеспечения в части анализа были выбраны следующие критерии;

- временной горизонт: 01.07.2012 – 01.07.2014;
- безрисковая ставка – 10% годовых;
- минимально приемлемый уровень доходности – 30% годовых;
- Биржи: MOEX, NESE, NASDAQ.

Целью анализа является аналитический обзор указанных рынков, а также их сравнение по характеристика доходности и риска.

В таблицах 1 – 3 представлены по десять ценных бумаг с наибольшим значением коэффициента Сортино для каждой из указанных бирж.

**Таблица 1.** Десятка акций, торгуемых на MOEX по критерию коэффициента Сортино за период 01.07.2012 – 01.07.2014.

Тикер акции	Среднедневная доходность (годовая)	Коэффициент Сортино	Отрицательная волатильность	Коэффициент Шарпа	Волатильность
HALS	105,99%	2,2699	0,3348	1,5945	0,6020
MNPZ	66,15%	1,1931	0,3030	1,0499	0,5349
TANL	99,13%	0,9167	0,7541	0,6839	1,3032
ABRD	41,30%	0,9100	0,1242	1,5871	0,2000
JNOSP	62,02%	0,7847	0,4080	0,7923	0,6566
MGNT	46,59%	0,7623	0,2177	1,1427	0,3202
SVSBP	65,17%	0,7621	0,4615	0,6392	0,8630
CHZN	39,20%	0,4646	0,1981	0,9504	0,3073
DZRDP	51,82%	0,4497	0,4853	0,5114	0,8179
DVEC	49,01%	0,3829	0,4965	0,5381	0,7249

Для российской биржи MOEX наибольшее значение коэффициента Сортино за указанный период составило 2,2699, что является достаточно высоким показателем, однако стоит отметить, что в первой десятке ценных бумаг данный показатель имеет разброс от 0,3829 до 2,2699, что говорит о том, что эффективными для указанных пара-

метров анализа, может быть довольно небольшое число ценных бумаг. Всего же положительный коэффициент Сортино имеют 24 ценных бумаги из порядка 330, т.е. около 7% от обращающихся на бирже ценных бумаг.

**Таблица 2.** Десятка акций, торгуемых на NESE по критерию коэффициента Сортино за период 01.07.2012 – 01.07.2014.

Тикер акции	Среднедневная доходность (годовая)	Коэффициент Сортино	Отрицательная волатильность	Коэффициент Шарпа	Волатильность
VIPS	197,86%	4,2236	0,3974	2,6531	0,7081
LCI	134,62%	3,2122	0,3257	2,3733	0,5251
LIN	120,42%	3,1912	0,2833	2,1912	0,5039
TARO	70,48%	3,1662	0,1279	2,3799	0,2541
AER	76,69%	3,0361	0,1538	1,8949	0,3519
EQM	75,21%	2,9838	0,1515	2,6787	0,2434
BITA	142,89%	2,9821	0,3786	2,0980	0,6334
EVGN	87,56%	2,9432	0,1956	1,0075	0,7698
GTN	125,76%	2,8240	0,3391	2,0300	0,5703
VRS	186,61%	2,7729	0,5648	0,6040	2,9239

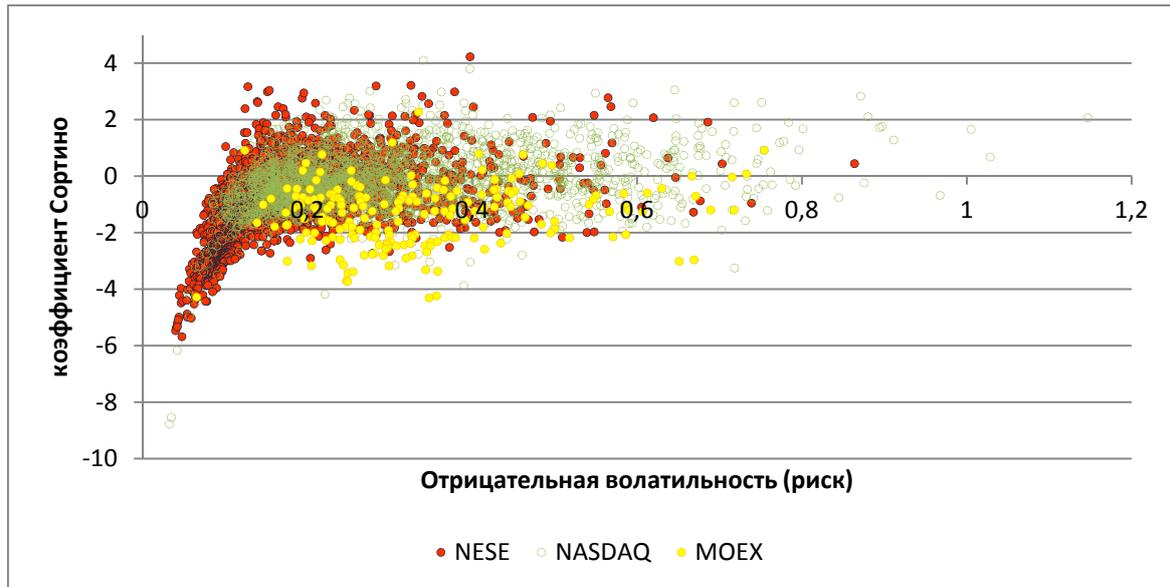
Для американской NESE наибольшее значение коэффициента Сортино за указанный период составило 4,2236, а разброс в первой десятке ценных бумаг в диапазоне 2,7729 до 4,2236. Всего же положительный коэффициент Сортино имеют 664 ценные бумаги из 2370, что говорит о том, что эффективными для указанных параметров анализа, может быть довольно большое число ценных бумаг, т.е. около 28% ценных бумаг, обращающихся на бирже.

**Таблица 3.** Десятка акций, торгуемых на NASDAQ по критерию коэффициента Сортино за период 01.07.2012 – 01.07.2014.

Тикер акции	Среднедневная доходность (годовая)	Коэффициент Сортино	Отрицательная волатильность	Коэффициент Шарпа	Волатильность
CELGZ	169,62%	4,1008	0,3405	1,3352	1,1955
ACAD	180,71%	3,7965	0,3970	1,3740	1,2424
SRPT	227,04%	3,0520	0,6456	1,1017	1,9701
NXST	112,88%	3,0064	0,2757	2,3181	0,4438
KERX	138,01%	2,9798	0,3625	1,5300	0,8367
NVGN	191,30%	2,9357	0,5494	0,9612	1,8861
GALW	276,62%	2,8308	0,8712	1,6764	1,5905
FNHC	99,35%	2,7604	0,2512	2,0839	0,4288
AMRI	116,79%	2,7175	0,3194	2,1362	0,4999
USCR	89,88%	2,6884	0,2227	2,0515	0,3894

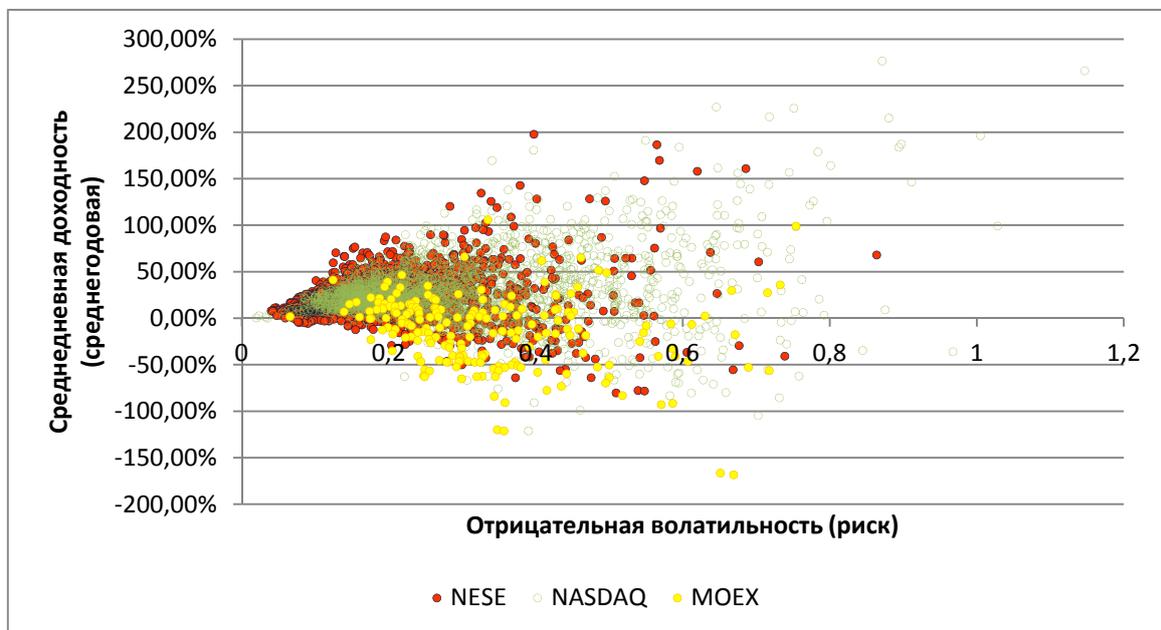
Для американской NASDAQ наибольшее значение коэффициента Сортино за указанный период составило 4,1008, а разброс в первой десятке ценных бумаг в диапазоне 2,6884 до 4,1008. Всего же положительный коэффициент Сортино имеют 897 ценные бумаги из 2364, что говорит о том, что эффективными для указанных параметров анализа, может быть довольно большое число ценных бумаг, т.е. около 38% ценных бумаг, обращающихся на бирже.

На рис. 7-12 представлены результаты графического сравнительного анализа ценных бумаг, обращающихся на анализируемых биржах по критериям, характеризующим доходность и риск инвестирования.



**Рис. 7.** Сравнительный анализ зависимости величины коэффициента Сортино от величины риска в виде получения отрицательных результатов от инвестирования для бирж NESE, NASDAQ и MOEX.

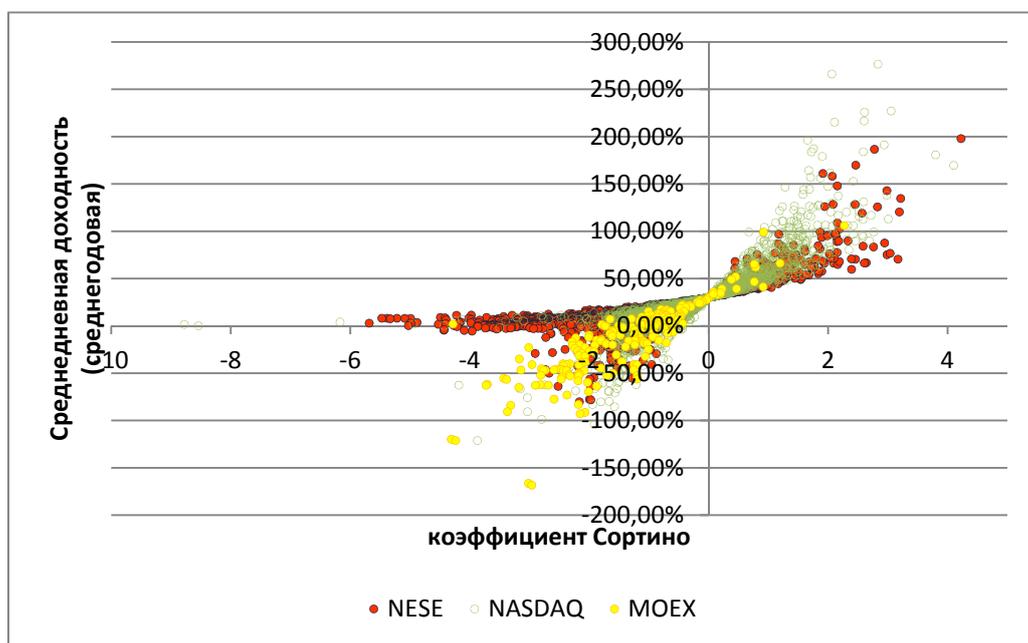
Исходя из рис. 7 можно заключить, что диапазон рисков получения убытков для американских бирж значительно ниже, чем на российской. Диапазон изменения коэффициента Сортино также показывает, что на американском рынке большее число устойчивых к падению ценных бумаг. Таким образом, российский рынок сильнее подвержен отрицательной динамике.



**Рис. 8.** Сравнительный анализ зависимости величины средней дневной доходности и величины риска в виде получения отрицательных результатов от инвестирования.

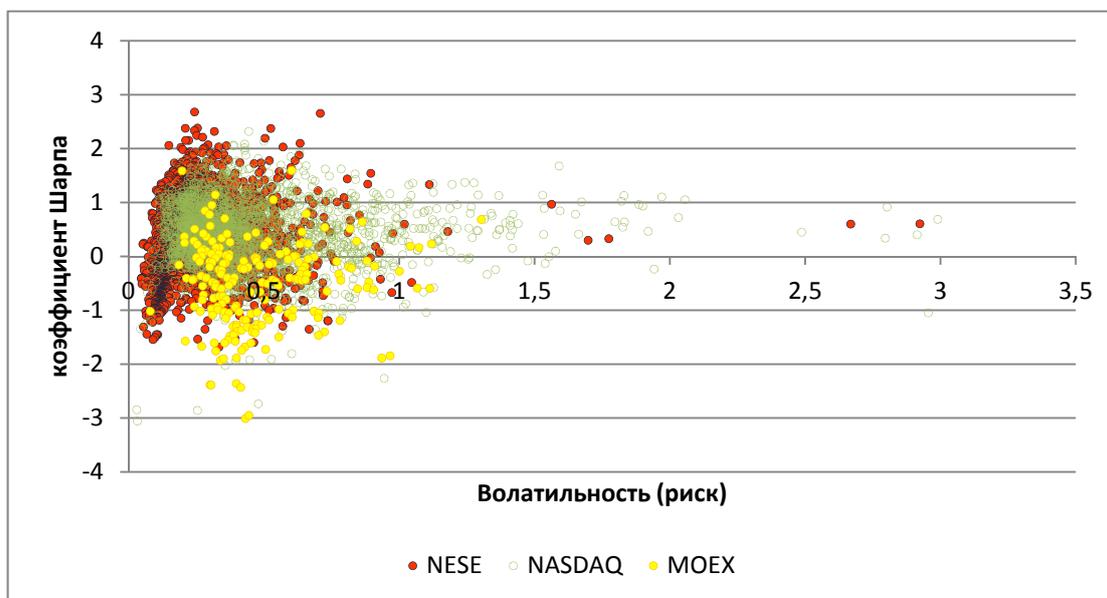
Исходя из рис. 8 можно сделать вывод, что диапазон прибыльности ценных бумаг на российском рынке существенно отклоняется в отрицательную сторону, что наряду с

уже отмеченным высоким уровнем получения убытков, позволяет говорить о том, что на российском рынке ограниченный набор надежных ценных бумаг, которые способны давать эффективные результаты от вложений.



**Рис. 9.** Сравнительный анализ зависимости величины среднедневной доходности и коэффициента Сортино от величины риска в виде получения отрицательных результатов от инвестирования для бирж NESE, NASDAQ и MOEX.

График, представленный на рис. 9, подтверждает ранее озвученные выводы относительно рискованности и доходности вложений на анализируемых биржах, но предлагает возможность взглянуть на общую картину несколько под другим углом.

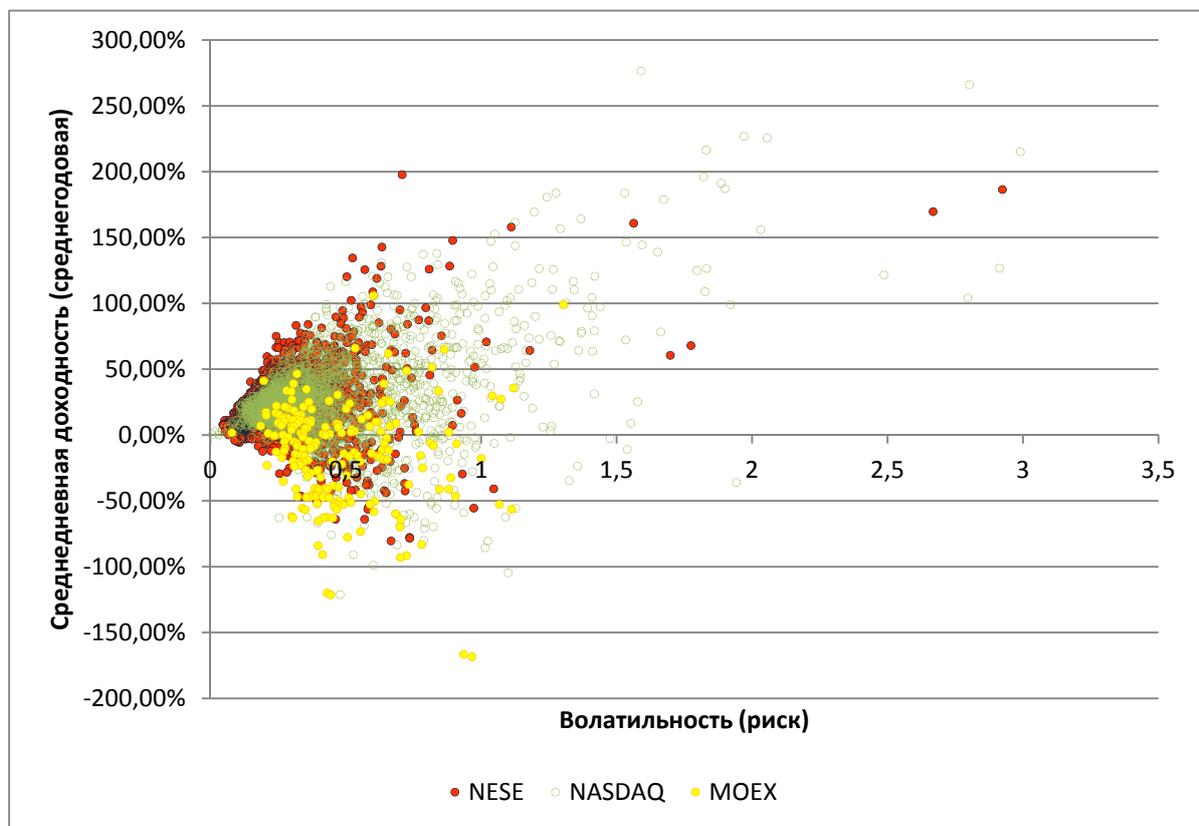


**Рис. 10.** Сравнительный анализ зависимости величины коэффициента Шарпа от величины риска в виде волатильности для бирж NESE, NASDAQ и MOEX.

Существенным фактом является волатильность котировок, так как несмотря на общие негативные показатели результативности ценной бумаги, она может приносить доход за счет больших колебаний в краткосрочной перспективе. Такие вложения будут намного более рискованными, так как необходимо правильно выбирать моменты для входа и выхода на рынок это необходимо проанализировать. Чтобы проанализировать эти факты необходимо сравнить анализируемые биржи по показателям, входящим в состав коэффициента Шарпа.

Исходя из рис. 10 видно, что количество элементов, которые имеют положительный коэффициент Шарпа на российском рынке значительно выше такого же количества для коэффициента Сортино. Это во многом объясняется тем фактом, что в расчет берется безрисковая ставка, а не MAR. Однако, учитывая, что такие инвестиции будут в основном опираться на стратегию краткосрочного вложения, это вполне приемлемо.

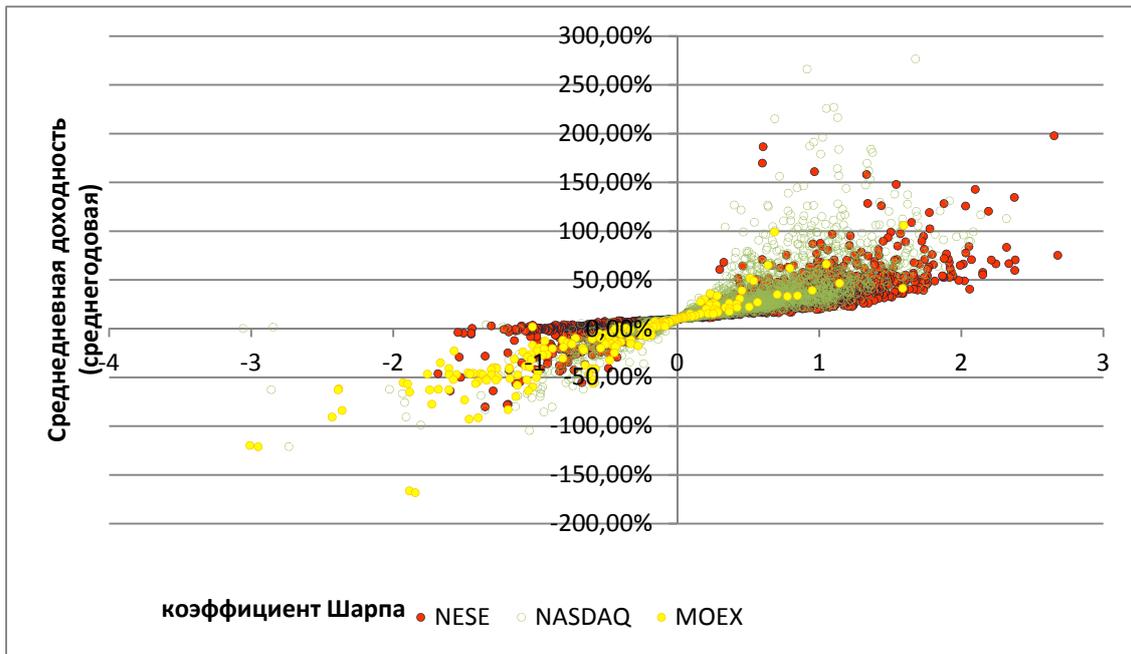
В целом рис. 10 позволяет сделать вывод о том, что российский рынок более волатилен, особенно это видно при сравнении нижней границы волатильности.



**Рис. 11.** Сравнительный анализ зависимости величины коэффициента средней дневной доходности от величины риска в виде волатильности для бирж NESE, NASDAQ и MOEX.

График, представленный на рис. 11 позволяет сравнить доходность и волатильность рынков, американский рынок в целом более доходный и менее волатильный, причем более высокий уровень доходности может быть достигнут при меньшем уровне волатильности, чем на российском рынке. Так же стоит отметить, что самые высокодоходные бумаги американского рынка имеют высокие показатели волатильности.

Рис. 12 позволяет обобщить данные по анализу рынком на основе коэффициента Шарпа и подтверждает, что российский рынок более волатилен и менее устойчив в плане доходности.



**Рис. 12.** Сравнительный анализ зависимости величины средней дневной доходности и коэффициента Шарпа от величины риска в виде получения отрицательных результатов от инвестирования для бирж NESE, NASDAQ и MOEX.

Рассмотрев детально рынки в целом, можно перейти к выбору инструментов инвестирования и составлению портфеля ценных бумаг. Как уже было отмечено, риски есть на каждом рынке и по каждому инструменту, и для того, чтобы минимизировать риски потерь необходимо включать в состав портфеля бумаги, которые будут в зависимости от выбранной стратегии приносить определенный уровень доходности, но главное в любом случае они будут снижать риск потерь от вложений.

Даже на рисковом российском рынке, можно выбрать около 50 ценных бумаг, которые могут быть привлекательными с точки зрения инвестирования. Однако за таким количеством элементов очень трудно следить и уменьшение риска будет незначительным. Приемлемым числом элементов в портфели является до 10 элементов.

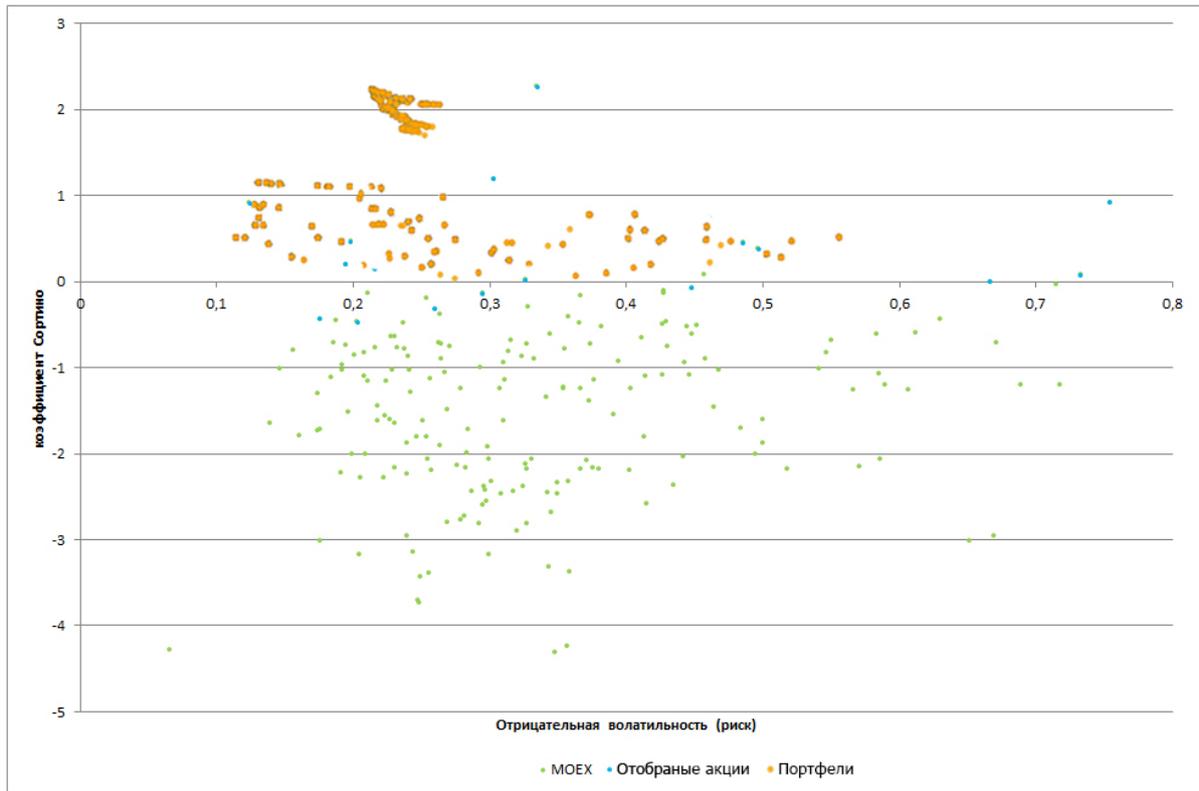
Разработанная программная система позволяет выбирать из анализируемых элементов неограниченное количество для составления портфелей ценных бумаг с их последующей оптимизацией, также возможно задать пороговые значения долей элементов. Однако, стоит отметить, что с ростом числа элементов для составления портфелей, растет и время на проведение моделирования, причем трудозатраты увеличиваются на порядки.

Для наших целей, были выбраны следующие характеристики для моделирования и оптимизации портфелей ценных бумаг на бирже MOEX:

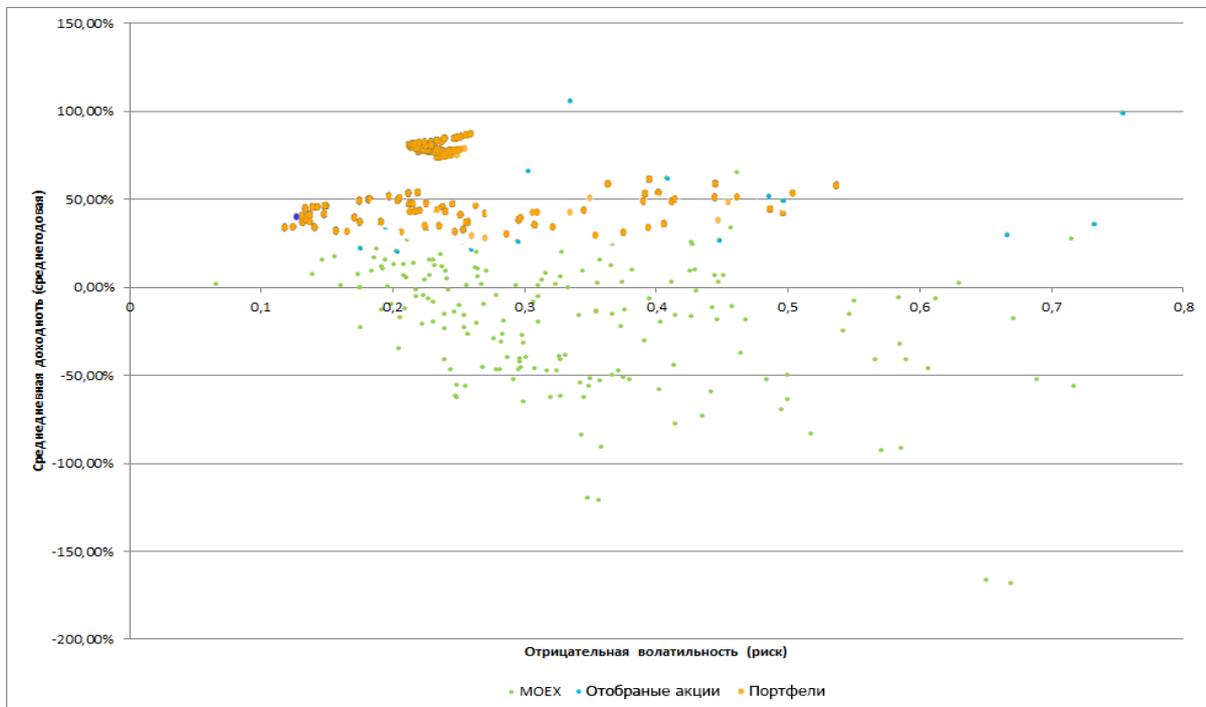
- Минимальная доля элемента в портфеле: 5%;
- Максимальная доля элемента в портфеле: 50%;
- Количество элементов в портфеле: 10 шт;
- Всего элементов: 20 шт;
- Критерий оптимизации: коэффициент Сортино.

На основе указанных параметров было смоделировано и оптимизировано 184 756 портфеля, скорость моделирования одного портфеля 0,56 сек., общее время моделирования 28,7 ч.

Результаты моделирования представлены на рис. 13-14.



**Рис. 13.** Сравнительный анализ зависимости величины коэффициента Сортино от величины риска в виде получения отрицательных результатов от инвестирования для ценных бумаг на бирже MOEX.



**Рис. 14.** Сравнительный анализ зависимости величины среднедневной доходности от величины риска в виде получения отрицательных результатов от инвестирования для ценных бумаг на бирже MOEX.

Как видно из рис. 13-14 для моделирования были выбраны ценные бумаги с разными значениями коэффициента Сортино и уровнем риска за анализируемый период. Смоделированные портфели при этом обеспечивают уменьшенный риск с обеспечением приемлемой доходности вложений. Анализируя различные варианты портфелей, пользователь может выбрать наиболее подходящий исходя из указанных оценок оптимизационного показателя и структурного состава портфеля.

Также можно использовать моделирование и оптимизацию для заранее определенных пользователем ценных бумаг, если не стоит проблема выбора альтернативных возможностей для инвестирования.

В целом в состав программы заложены большие возможности получения аналитической информации о всем рынке, оценка которой позволит получить более полное видение рыночной ситуации. Однако стоит, отметить, что список показателей, на основе которых происходит оценка ценных бумаг, должен быть существенно расширен путем добавления показателей, характеризующих деятельность предприятия (финансовые коэффициенты, фундаментальный анализ), дополнительных показателей эффективности (коэффициентов Трейнора, бета, положительный потенциал, максимальная просадка за день и подряд, максимальный рост за день и подряд), а также других существенных показателей, что сделает максимально полными результаты проводимого анализа.

## 6. Заключение

В целом разработанная программная система обладает достаточно большой базовой функциональностью для обеспечения ЛПР аналитической информацией.

Дальнейшая работа должна быть направлена на оптимизацию работу программного обеспечения, реализацию многопроцессорной обработки информации на стадиях анализа и моделирования для уменьшения времени исполнения данных процессов.

Также необходимо расширить список анализируемых показателей для обеспечения максимальной полноты анализа, оптимизировать интерфейс программы для максимально удобной работы.

Помимо этого, необходимо дополнить разработанную систему, добавив в нее функциональность по прогнозированию поведения ценных бумаг, для чего необходимо провести фактически новое исследование, направленное на обзор подходящих методов для прогнозирования, тестирование данных методов на основе исторических котировок, выделение их преимуществ и недостатков и программную реализацию.

## Список литературы

1. Берзон Н. И., Дорошин Д. И. Особенности применения показателей эффективности финансовых инвестиций // Финансы и кредит. 2012. № 14. С. 21-33.
2. Берзон Н. И., Володин С. Н. Оценка финансовых активов по критерию «риск–доходность» с учетом длительности инвестирования // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2010. Т. 14, № 3. С. 311-325.
3. Markowitz H. Portfolio Selection // The Journal of Finance. 1952. Vol. 7, No. 1. P. 77-91.
4. Сидельцев С.В. Ключевые показатели моделирования оптимального портфеля ценных бумаг // В кн.: «Наука и молодежь в XXI веке»: материалы II регион. студ. науч. конф., Омск, 2013. Омск: ОмГТУ, 2013. С. 144-149.
5. Sharpe W.F. The Sharpe ratio // Journal of Portfolio Management. 1994. Vol. 21, No. 1. P. 49-58.
6. Treynor J.L. How to rate management of investment funds // Harvard Business Review. 1965. Vol. 43, No. 1. P. 63-75.

7. Modigliani F., Modigliani L. Risk adjusted performance: how to measure it and why // The Journal of Portfolio Management. 1997. Vol. 23, No. 2. P. 45-54.
8. Sortino F., Price L. Performance Measurement in a Downside Risk Framework // Journal of Investing. 1994. Vol. 3, No. 3. P. 59-65.
9. <http://www.zenvestment.com/others/v2ratio/>.
10. Имитационное моделирование экономических процессов: учеб. пособие. 2-е изд. / А.А. Емельянов, У.А. Власова, Р.В. Дума. М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009. 416 с.
11. Sideltsev S. / Automated Portfolios Simulation with Specified Criteria // Young Scientist USA. Applied Science. 2014. 143-148.
12. Сидельцев С.В. Терминология и практическое применение моделирования портфелей ценных бумаг. // В кн.: «Язык науки и техники в современном»: материалы III междунар. науч.-техн. конф., Омск, 2014. Омск: ОмГТУ, 2014. С. 254-258.