

На правах рукописи

Бочаров Дмитрий Андреевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ  
РЕШЕНИЯ ПО ПОСТРОЕНИЮ ИНВЕСТИЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ  
КРЕДИТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Специальность: 05.13.01 – системный анализ, управление и  
обработка информации (научное обслуживание)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Автор:



Москва – 2008

Работа выполнена в Московском инженерно-физическом институте (государственном университете).

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
Алфимов Роман Валерьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук  
Лакаев Анатолий Семенович,  
кандидат технических наук  
Золотухина Елена Болеславовна

Ведущая организация: Обнинский Государственный Технический  
Университет Атомной Энергетики (ИАТЭ)

Защита состоится 8 октября 2008 г. в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.130.03 в Московском инженерно-физическом институте (государственном университете) по адресу:

115409, Москва, Каширское ш., 31

Телефоны: 324-84-98, 323-96-25.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского инженерно-физического института (государственного университета).

Автореферат разослан «    » сентября 2008 г.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просьба направлять по адресу: Каширское ш., 31, диссертационный совет МИФИ.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н., профессор



Ю.Ю. Шумилов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследований.** В настоящее время в Российской Федерации наблюдается интенсивный рост фондового рынка. Количество активов, доступных кредитным организациям в качестве объектов инвестирования непрерывно растет. Для осуществления эффективных капиталовложений кредитные организации выполняют регулярный анализ и прогнозирование состояния рынка ценных бумаг. На основании этой информации с использованием специальных методик инвесторы формируют стратегии по управлению портфелем ценных бумаг на заданный период времени.

Наиболее распространенными являются так называемые активные и пассивные «механические» стратегии, которые основаны на поддержании пропорционального соотношения классов активов или отдельных ценных бумаг в портфеле. Несмотря на то, что данные стратегии не учитывают взаимосвязь между отдельными бумагами, они вполне приемлемы для управления сравнительно небольшими, слабо диверсифицированными портфелями. В случае с крупными портфелями, косвенные потери, связанные с неэффективностью управления, становятся слишком существенными, поэтому эффективность «механических» стратегий снижается.

В Российской Федерации одним из крупнейших портфелей ценных бумаг является портфель Государственной управляющей компании (ГУК), осуществляющей доверительное управление накопительной частью трудовой пенсии граждан по поручению Пенсионного Фонда Российской Федерации. В связи с особыми функциями законодательство накладывает целый ряд специфических ограничений на работу ГУК: строго ограниченный набор инвестиционных инструментов, ограничения на объемы инвестирования в каждый инструмент и в классы инструментов, ограничения на объемы операций и другие ограничения<sup>1</sup>.

Анализ функциональных возможностей существующих программных средств, проведенный автором, показал отсутствие инструментария, позволяющего формировать стратегии управления портфелем ценных бумаг ГУК с учетом всех

---

<sup>1</sup> См.: Федеральный закон «Об инвестировании средств для финансирования накопительной части трудовой пенсии в Российской Федерации» от 24.7.2002 N 111-ФЗ.

необходимых требований. В связи с этим особую актуальность приобретает необходимость разработки методов и средств автоматизации, позволяющих повысить эффективность разрабатываемых инвестиционных стратегий ГУК, с учетом особой специфики портфеля ценных бумаг и кредитной организации.

**Объект исследования.** Объектом исследования является российский рынок ценных бумаг в применении к задаче управления инвестиционным процессом ГУК.

**Предмет исследования.** Предметом исследования являются методы оптимизации стратегии управления портфелем ценных бумаг.

**Цель диссертационной работы.** Разработка методов и программных средств, позволяющих формировать эффективную стратегию управления портфелем ценных бумаг с учетом специфики кредитной организации и предпочтений лица, принимающего решения (ЛПР).

**Основные задачи.** Для достижения данной цели в диссертации решены следующие задачи:

- 1) выбор модели оптимального портфеля ценных бумаг, удовлетворяющей требованиям задачи ГУК;
- 2) разработка метода формирования инвестиционной стратегии ГУК;
- 3) формулирование базовых подходов к проектированию автоматизированной системы поддержки принятия решения по формированию стратегии управления портфелем ценных бумаг ГУК;
- 4) реализация выбранных подходов в виде программного комплекса автоматизированной поддержки принятия решения по формированию инвестиционной стратегии;
- 5) проведение сравнительного анализа эффективности внедрения разработанного программного комплекса на основании сравнения полученных результатов с результатами ранее применявшихся методов.

**Методы исследования.** Методологической и теоретической основой исследования послужило использование методов теории вероятностей, теоретико-множественного анализа, прикладной статистики, эконометрики и методов оптимизации.

**Научная новизна.** Научная новизна исследования состоит в следующем:

- 1) Разработан новый метод, позволяющий применять принципы теории оптимального портфеля ценных бумаг Г. Марковица для построения локально-оптимальной стратегии размещения денежных средств с учетом специфики кредитной организации.
- 2) Впервые математически сформулирована задача оптимизации инвестиционной стратегии с учетом специфики кредитной организации.
- 3) Предложен алгоритм решения задачи локальной оптимизации инвестиционной стратегии.
- 4) Предложена методика снижения размерности задачи оптимизации портфеля ценных бумаг на основе эвристик предметной области.

**На защиту выносятся:**

- 1) Основные положения метода формирования локально-оптимальной стратегии инвестирования.
- 2) Математическая формулировка задачи оптимизации инвестиционной стратегии.
- 3) Алгоритм решения задачи поиска локально-оптимальной стратегии.
- 4) Методика снижения размерности задачи.

**Практическая значимость.** Разработанное программное обеспечение показало свою эффективность в составе инструментального комплекса «Стратегии инвестирования», что подтверждается соответствующим актом о внедрении и использовании в Государственной управляющей компании: Государственной корпорации «Банк развития и внешнеэкономической деятельности (Внешэкономбанк)».

**Достоверность** полученных результатов подтверждается теоретическими выкладками, а также экспериментальными данными о практическом применении разработанного метода и программных средств.

**Апробация результатов исследования.** Результаты диссертационного исследования апробированы на научных сессиях МИФИ (ГУ), г. Москва, 2005, 2006, 2008 гг. Положения диссертации были использованы при подготовке учебного курса

«Банковские автоматизированные информационные системы» и нашли применение в учебном процессе МИФИ.

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано 8 печатных работ, в том числе одна статья в журнале, включённом ВАК РФ в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, 2 статьи в периодических сборниках и пять докладов в сборниках трудов научных сессий.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка (107 наименований) и 4 приложений. Основная часть диссертации содержит 140 страниц машинописного текста, включая 18 рисунков и 20 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение.** Во введении обоснована актуальность темы диссертации, её научная новизна и практическая значимость, сформулированы цели и задачи исследования.

**Первая глава.** В первой главе автором определяются понятия инвестиционной стратегии, портфеля ценных бумаг, задач и целей инвестора, оптимизации портфеля ценных бумаг. Описываются особенности технологического процесса принятия решения о вложениях в ценные бумаги, рассматриваются подходы к решению задачи построения оптимальной инвестиционной стратегии.

Приводится описание наиболее распространенных стратегий управления портфелем ценных бумаг. Рассматриваются их характеристики, преимущества и недостатки, в том числе с точки зрения их применения для задачи ГУК.

Обосновывается необходимость использования автоматизированной системы поддержки принятия решения по построению инвестиционной стратегии. Приводятся результаты анализа рынка программного обеспечения на предмет существования готовых программных средств, позволяющих решать такую задачу с учетом специфики ГУК. Они свидетельствуют об отсутствии программных средств, удовлетворяющих требованиям ГУК, что подтверждает необходимость разработки собственного метода.

Поскольку решение глобальной задачи оптимизации стратегии не представляется возможным, решаемая задача интерпретируется как задача построения локально-оптимальной стратегии управления портфелем ценных бумаг, то есть стратегии, в рамках которой портфель ценных бумаг является оптимальным в каждый момент времени. Такая задача содержит в себе две подзадачи: задачу формирования оптимального портфеля ценных бумаг и задачу управления портфелем без нарушения его оптимальности.

В связи с этим автором рассматривается теория оптимизации портфеля ценных бумаг, предложенная Г. Марковицем, и наиболее известные на сегодняшний день математические модели оптимального портфеля. Проводится анализ моделей на предмет соответствия требованиям задачи ГУК, результаты которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты сравнительного анализа эконометрических моделей с точки зрения задачи ГУК**

Модель	Основные ограничения	Методы решения	Область применения	Наличие решения для большой размерности	Применимость с учетом специфики ГУК	Наличие способа адаптации для ГУК
Модель Марковица	Допущения теории Марковица, нормальность распределения, однопериодность, отсутствие коротких продаж	Метод критических линий, методы КП	Выбор типа актива для вложения средств, инвестиции в бумаги	Нет	Есть	Есть
Модель Блэка	Допущения теории Марковица, нормальность распределения, однопериодность	Метод критических линий, методы КП	Инвестиции повышенного риска, операции типа «короткая продажа»	Нет	Нет	Есть
Модель Тобина	Допущения теории Марковица, нормальность распределения, однопериодность, наличие безрисковых активов	Методы КП, метод Элтона-Грубера-Падберга	Принятие решения о распределении капитала между рисковыми и безрисковыми активами	Нет	Нет	Есть
Модель Шарпа	Доходность актива связана с доходностью индексного портфеля, симметричность распределения, взаимная некоррелируемость активов, постоянство дисперсий, взаимная некоррелируемость отклонений	Циклический перебор	Изучение изменения рынка акций, формирование портфеля из акций	Есть	Нет	Нет
Модель САРМ	Для всех инвесторов одинаковы: период инвестирования, безрисковая процентная ставка, ожидания будущих событий, информация	Метод критических линий, методы КП, методы ЛП	Формирование портфеля на основе оценок характеристик ценных бумаг	Есть	Нет	Нет
Модель АРТ	Воздействие двух типов факторов, ограничения на хар-ки факторов, отсутствуют какие-либо препятствия, инвесторы имеют однородные ожидания, задача является однопериодной	Метод ЛП, циклический перебор	Формирование портфеля на основе оценок характеристик ценных бумаг	Есть	Нет	Нет



На их основе автор делает следующие выводы:

- 1) на сегодняшний день отсутствует математическая модель оптимального портфеля ценных бумаг, в полной мере удовлетворяющая требованиям задачи ГУК;
- 2) фондовый рынок Российской Федерации не является типичным, с точки зрения современной западной экономической теории, и подвержен влиянию факторов, не учитываемых известными западными моделями, поэтому искомая модель портфеля ценных бумаг должна быть максимально независимой от специфики рынка;
- 3) независимые от рынка модели могут быть использованы только для формирования оптимального портфеля в предположении, что состояние рынка остается постоянным;
- 4) модель Марковица по совокупности признаков является наиболее близкой к модели, требующейся в задаче ГУК.

## **Вторая глава**

Во второй главе автор предлагает метод построения локально-оптимальной инвестиционной стратегии. Он базируется на шести положениях, необходимость выполнения каждого из которых обсуждается отдельно.

В основе метода лежат следующие положения:

- 1) Итерационное разложение модели оптимального портфеля во времени. Весь период инвестирования разбивается на равные минимальные промежутки времени, в течение которых условия задачи считаются неизменными. В случае с рынком ценных бумаг таким минимальным периодом целесообразно считать один рабочий день.
- 2) Моделирование реальных условий работы инвестора с помощью вариации исходных данных (подбора условий, при которых будет получено приемлемое решение) для каждого периода. Учет изменения состояния рынка и портфеля при переходе от каждого периода к следующему.
- 3) Учет условий и ограничений, связанных с работой кредитной организации на фондовом рынке.
- 4) Формирование локально-оптимальной стратегии путем «сложения» оптимальных портфелей всех единичных периодов.

- 5) Реализация возможности участия ЛПР в процессе формирования стратегии.
- 6) Использование специальной методики снижения размерности задачи оптимизации портфеля.

Разбиение инвестиционного периода позволяет сформировать портфель ценных бумаг каждого «единичного» периода с учетом изменившегося за день состояния рынка. При этом отсутствует отклонение распределения значений доходности ценных бумаг от нормального, что дает возможность воспользоваться классической моделью Марковица для построения однодневных оптимальных портфелей. При формировании таких портфелей предлагается учитывать ограничения, возникающие при практической работе кредитной организации на рынке ценных бумаг. Отдельным вопросом рассматривается проблема сложности вычислений, связанная со значительной размерностью задачи для портфелей крупных кредитных организаций. В этом случае предлагается формировать портфель не из конкретных ценных бумаг, а из групп ценных бумаг, объединенных в соответствии с критериями, предложенными ЛПР.

Следование указанным положениям позволяет учесть особенности рынка ценных бумаг, особенности работы кредитной организации и сформулировать математическую задачу поиска локально-оптимальной стратегии инвестирования с учетом всех специфических требований и ограничений задачи ГУК.

После описания математической интерпретации целевой функции задачи оптимизации стратегии, а также ограничений задачи ГУК, приводится математическая формулировка задачи оптимизации стратегии в общем виде. Для стратегии  $S$  она выглядит следующим образом:

$$\max_X \left[ \prod_{t=1}^k \left( \sum_{i=1}^{n^{(S,t)}} e_i^{(S,t)} X_i^{(S,t)} + 1 \right) - 1 \right];$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sum_{i=1}^{n^{(S,t)}} \sum_{j=1}^{n^{(S,t)}} X_i^{(S,t)} X_j^{(S,t)} \text{cov}_{ij}} \leq R^{(S)}; \\ \sum_{i=1}^{n^{(S,t)}} X_i^{(S,t)} = 1, \quad t = \overline{1, k}; \\ X_i^{(S,t)} \geq 0, \quad i = \overline{1, n^{(S,t)}}, \quad t = \overline{1, k}; \\ X_i^{(S,t)} C^{(S,t)} \leq C_{i \max}^{(S,t)}, \quad i = \overline{1, n^{(S,t)}}, \quad t = \overline{1, k}; \\ \left| X_i^{(S,t)} C^{(S,t)} - X_i^{(S,t-1)} C^{(S,t-1)} \right| \leq V_{i \max}^{(S,t)}, \quad i = \overline{1, n^{(S,t)}}, \quad t = \overline{1, k}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $X_i^{(S,t)}$ ,  $X_j^{(S,t)}$ ,  $i, j = \overline{1, n^{(S,t)}}$  – доли  $i$ -й и  $j$ -й ценных бумаг в портфеле периода  $t$ , соответственно;  $R^{(S)}$  – максимальная величина риска;  $e_i^{(S,t)}$  – прогноз доходности  $i$ -го актива в течение периода  $t$ ;  $n^{(S,t)}$  – число активов, в которые могут быть размещены средства в течение периода  $t$ ;  $V_{i \max}^{(S,t)}$  – ограничение на объем операции с  $i$ -м активом в течение периода  $t$ ;  $C^{(S,t-1)}$ ,  $C^{(S,t)}$  – объем капитала, находящегося в управлении в течение периода  $t$  и  $t-1$ , соответственно;  $C_{i \max}^{(S,t)}$  – максимально допустимый объем капитала, который можно разместить в  $i$ -й актив на момент окончания периода  $t$ .

Полученная математическая задача, представляет собой задачу нелинейного (квадратичного) программирования, которая в общем виде при высокой размерности имеет экспоненциальную вычислительную сложность, что не позволяет решать ее без применения специальных подходов, основанных на свойствах задачи, характерных для данной предметной области.

### Третья глава

В третьей главе автором предлагается решение задачи поиска локально-оптимальной стратегии, сформулированной выше.

*Метод решения задачи поиска локально-оптимальной стратегии.* Поскольку в задаче (1) в определении множества решений присутствует нелинейное выражение, определяющее риск портфеля, нельзя однозначно сказать о выпуклости множества и, как следствие, наличии одной точки локального максимума целевой функции. Это

существенно усложняет решение задачи аналитическими или численными методами. В связи с этим, автор предлагает рассматривать задачу (1) как «черный ящик», на вход которого подается значение приемлемого риска, а на выходе получается значение максимальной доходности. Задача рассматривается в таком виде, в связи с отсутствием аналитического выражения, в общем случае описывающего зависимость доходности от риска.

Автором обосновывается применение одного из методов прямого поиска для нахождения доходности, соответствующей значению  $R^{(S)}$ , заданному в задаче (1). В методе поиска используется вспомогательная задача, позволяющая определить значение минимального риска по заданному значению доходности. В экономическом смысле, такая задача является обратной по отношению к задаче (1). Ее преимущество заключается в том, что нелинейная целевая функция определена на линейном выпуклом множестве, и следовательно, задача может быть решена любым численным методом нелинейного программирования.

Предложенный автором метод заключается в следующем. Для каждого единичного периода автор определяет вспомогательную задачу. Для периода  $t=k$  в стратегии  $S$  ее математическая формулировка выглядит следующим образом:

$$\min_X \left[ \sum_{i=1}^{n^{(S,k)}} \sum_{j=1}^{n^{(S,k)}} X_i^{(S,k)} X_j^{(S,k)} \text{cov}_{ij} \right],$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n^{(S,k)}} X_i^{(S,k)} - 1 = 0, \\ -X_i^{(S,k)} \leq 0, i = \overline{1, n^{(S,k)}}, \\ E^{(S,k)} - \sum_{i=1}^{n^{(S,k)}} e_i^{(S,k)} X_i^{(S,k)} \leq 0, \\ X_i^{(S,k)} C^{(S,k)} - C_{i_{\max}}^{(S,k)} \leq 0, i = \overline{1, n^{(S,k)}}, \\ \left| X_i^{(S,k)} C^{(S,k)} - X_i^{(S,k-1)} C^{(S,k-1)} \right| - V_{i_{\max}}^{(S,k)} \leq 0, i = \overline{1, n^{(S,k)}}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $X_i^{(S,k)}$ ,  $X_j^{(S,k)}$ ,  $i, j = \overline{1, n^{(S,k)}}$  – доли  $i$ -й и  $j$ -й ценных бумаг в портфеле периода  $k$ ;  $E^{(S,k)}$  – минимально допустимая доходность инвестиций;  $e_i^{(S,k)}$  – доходность  $i$ -й

ценной бумаги в течение периода  $k$ ;  $n^{(S,k)}$  – число активов, в которые могут быть размещены средства в течение периода  $k$ ;  $V_{i\max}^{(S,k)}$  – ограничение на объем операции с  $i$ -ой ценной бумагой в течение периода  $k$ ;  $C^{(S, k-1)}$ ,  $C^{(S, k)}$  – объем капитала, находящегося в управлении в течение периода  $k$  и  $k-1$ , соответственно;  $C_{i\max}^{(S, k)}$  – максимально допустимый объем капитала, который можно разместить в  $i$ -ю ценную бумагу на момент окончания периода  $k$ .

По сравнению с формулой (1), в формуле (2) выражения, описывающие риск единичного портфеля и его доходность, меняются местами. Все ограничения содержат нули в правой части, что соответствует виду классической задачи оптимизации. Знак модуля в последнем выражении системы имеет место только при формулировании задачи в общем виде. При переходе же к вычислениям к моменту начала периода  $t=k$  значения величин  $X_i^{(S, k-1)} C^{(S, k-1)}$  будут известны, и знак модуля можно будет исключить. Несмотря на то, что данное выражение будет принимать различный вид, алгоритм решения не изменится.

Пусть  $R^{(S)}$  – заданное значение риска в задаче (1) и необходимо вычислить соответствующее ему максимальное значение доходности  $E^{(S,k)} = E_{\max}^{(S,k)}$  для периода  $k$ .

Взяв произвольное значение доходности  $E^{(S,k)} = E_0$  и решив для него задачу (2), получим значение минимального риска  $R_0$  (см.: рис. 1), которое либо больше значения  $R^{(S)}$ , либо меньше его, либо совпадает с ним. Если  $R^{(S)} \neq R_0 \pm \varepsilon$ , где  $\varepsilon > 0$  – заданное ЛПР значение, характеризующее точность сравнения  $R^{(S)}$  и  $R_0$ , то необходимо несколько раз решить задачу (2) и подобрать значение  $E_0$  таким образом, чтобы значение  $R_0$  приблизилось к значению  $R^{(S)}$  настолько, что попало в ее  $\varepsilon$ -окрестность. При этом в зависимости от того, с какой стороны от  $R^{(S)}$  окажется  $R_0$ , необходимо увеличивать или уменьшать значение  $E_0$  (см.: рис. 2). При выполнении равенства  $R^{(S)} = R_0 \pm \varepsilon$  можно утверждать, что  $E_{\max}^{(S,k)}$  близко к значению  $E_0$  и верно соотношение  $E_{\max}^{(S,k)} = E_0 \pm A$ , где  $A = f(\varepsilon)$  – погрешность сравнения указанных

величин. Полученное значение  $E_0$  при решении вспомогательной задачи (2) в последней итерации будет являться искомым значением  $E_{\max}^{(S,k)}$  для задачи (1).

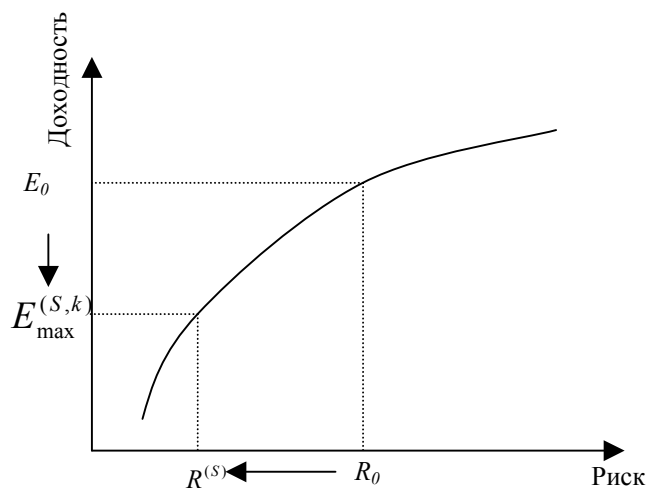


Рис. 1. Зависимость доходности инвестиций от риска

Ключевыми вопросами при использовании такого подхода является сложность определения первоначального значения  $E_0$  и шага его изменения при переходе к новой итерации. Согласно теории оптимизации портфеля Г. Марковица, оптимальный портфель лежит на верхней левой границе множества допустимых портфелей, так называемой эффективной границе, где располагаются оптимальные портфели для различных значений приемлемого риска. Для того чтобы при осуществлении поиска не выйти за рамки этой границы, автор предлагает начинать «движение» к искомой точке сверху. Задав первоначальное значение  $E_0$  заведомо большим, чем верхняя точка множества допустимых портфелей, и двигаясь вниз, можно быть уверенным, что если решение задачи минимизации риска для заданного уровня доходности существует, то оно будет найдено до попадания в зону неэффективных портфелей.

Значение шага движения может быть определено только эмпирически. Естественно, при отсутствии первоначальных знаний о свойствах исследуемой функции ЛПР будет сложно подобрать такой шаг  $\Delta E_0$ , который позволит достаточно быстро и точно определить точку  $E^{(S,k)} = E_{\max}^{(S,k)}$ , поэтому в рамках настоящего метода предлагается с помощью такого алгоритма осуществлять только поиск интервала, в котором находится искомая точка. Этот интервал будет определен, как только

очередная итерация «перешагнет» через точку  $R^{(S)}$ . Задача ЛПР состоит в нахождении баланса между величиной шага (и, как следствие, количеством итераций до нахождения интервала) и величиной найденного интервала (количеством итераций при последующем поиске внутри известного отрезка).

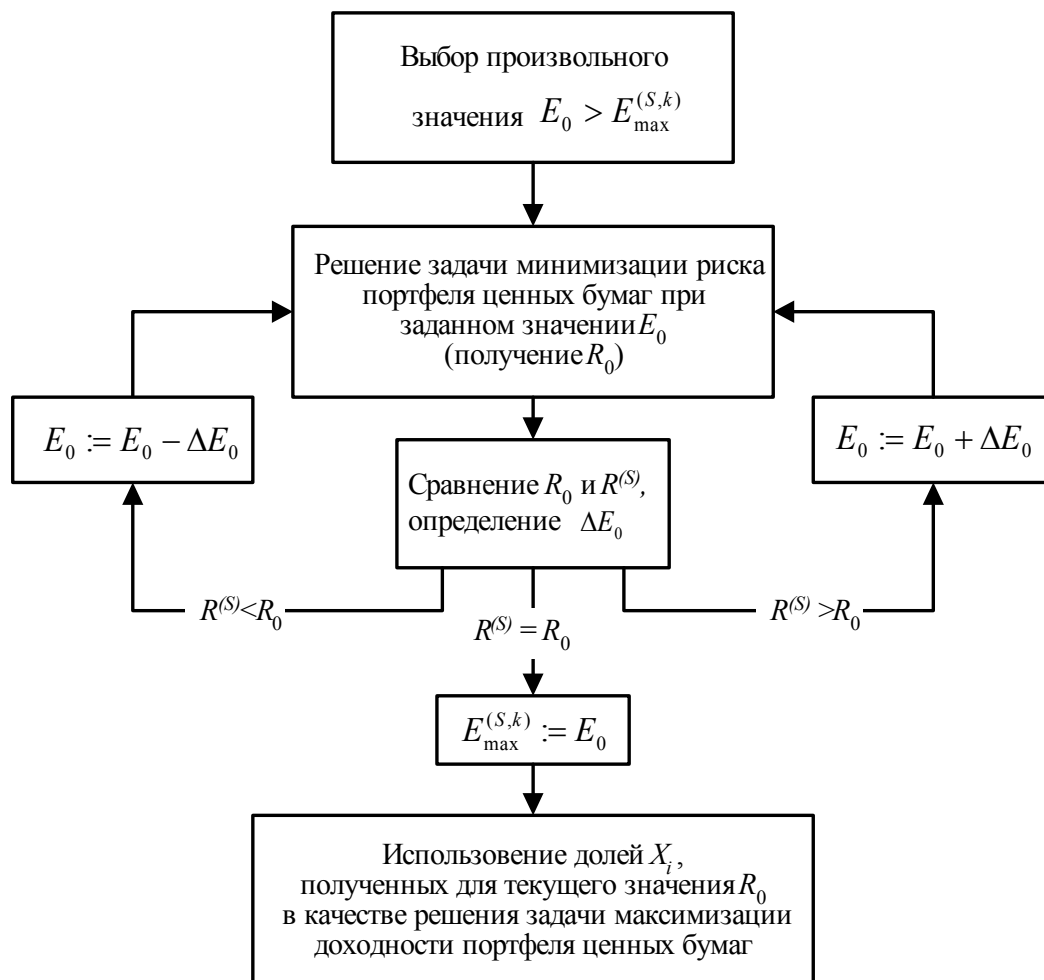


Рис. 2. Алгоритм прямого поиска точки максимальной доходности

После определения интервала исходных значений задача поиска точки  $R^{(S)}$  существенно упрощается. Существует ряд методов, позволяющих решить эту задачу. Автором используется метод золотого сечения, поскольку он не зависит от вида исследуемой функции, которая в данном случае не известна. В отличие от метода Фибоначчи, данный метод не требует предварительного знания количества итераций и обладает большей сходимостью, чем метод дихотомии.

Далее автором рассматривается решение вспомогательной задачи.

*Решение вспомогательной задачи.* Время, затрачиваемое программно-аппаратным комплексом на расчет локально-оптимальной стратегии, ограничено.

Поэтому критерием выбора конкретного метода, используемого для решения задачи (2), является скорость его сходимости. Чем она выше, тем меньшее количество алгоритмических итераций необходимо выполнить при «движении», или, так называемом «спуске», к точке экстремума.

Автор использует для решения задачи (2) метод проекции антиградиента – один из методов нелинейного программирования, отличающийся высокой скоростью сходимости. Он позволяет предварительно найти такое направление спуска, движение точки по которому при определенных ограничениях не выводит ее за пределы допустимого множества решений, и исключает возврат процедуры поиска в начало, сокращая временные издержки.

До перехода к решению осуществляется проверка целевой функции и всех ограничений вспомогательной задачи на удовлетворение условию строгой выпуклости. Выполнение данного условия говорит о единственности решения задачи минимизации портфеля при заданном уровне доходности. Автором показывается, что задача является строго выпуклой во всех случаях, кроме двух, когда в портфеле существуют две бумаги, ковариация которых равна 1 или -1. Первый случай говорит об абсолютной эквивалентности инвестиционной привлекательности двух бумаг. Такая ситуация возможна, только при рассмотрении одинаковых бумаг одного и того же предприятия, что говорит об ошибочном составлении ковариационной матрицы. Равенство ковариации бумаг -1 говорит об абсолютной противоположности бумаг в инвестиционном смысле, что является крайне маловероятным событием, и в силу этого, исключается из рассмотрения.

После доказательства выпуклости вспомогательной задачи приводится ее решение методом проекции антиградиента.

*Методика снижения размерности.* Задача (2) является задачей нелинейного программирования. В случае большой размерности решение такого класса задач существенно усложняется, поэтому автор уделяет особое внимание вопросу снижения размерности задачи. Большинство современных методов снижения размерности основаны на математических особенностях решаемых задач и в рассматриваемом случае являются малоэффективными. Наиболее перспективным в



данной предметной области автору представляется подход, связанный с объединением активов в группы и последующим рассмотрением полученных групп в качестве самостоятельных активов в задаче (2). Автор предлагает производить группировку на основе различных характеристик ценных бумаг. При этом экономические свойства полученных искусственных активов должны быть идентичны свойствам реальных активов, а численные характеристики представлять собой интегральные значения характеристик, входящих в искусственный актив ценных бумаг.

Согласно методике снижения размерности, предлагаемой автором, целесообразно разделять характеристики бумаг на «статические» и «динамические». Под «статическими» следует понимать характеристики, значения которых не меняются с течением времени, и характеризуют ценную бумагу с точки зрения общих вопросов позиционирования ее на рынке. К таким характеристикам можно отнести тип эмитента ценной бумаги, отрасль промышленности, объем выпуска, размер купонных платежей, дивидендов и другие показатели. К «динамическим» автор относит характеристики, изменяющиеся во времени и характеризующие динамику поведения актива на рынке. Например, различные типы доходности, коэффициенты ликвидности, статистические моменты доходности и другие показатели. Автор отмечает, что поведение ценных бумаг различных сегментов рынка существенно различается. В силу этого, целесообразно приступать к анализу и сравнению «динамических» характеристик активов только после того, как произведено первичное разделение бумаг на подгруппы, соответствующие одним и тем же значениям «статических» показателей.

Количество итераций подобных разбиений активов не ограничено. При каждом делении необходимо рассматривать только одну характеристику бумаги, при этом важным вопросом является определение последовательности анализируемых характеристик. Ответственность за этот выбор ложится на ЛПР.

В основе реализации методики группировки активов лежат принципы кластерного анализа. Принадлежность элементов к группе определяется их «расстоянием» от центра группы, то есть величиной расхождения значений их

характеристик от значений характеристик центрального элемента. Центральный элемент может представлять собой как физически существующий объект, так и некий «расчетный» показатель, например, среднее значение по группе. Таким образом, группа формируется из элементов, удаленных от центрального элемента не далее, чем на некоторую константу  $\Delta K$ . С точки зрения группировки ценных бумаг, целесообразно рассчитывать расстояние между двумя объектами группировки в евклидовой метрике. Критерием группировки является соотношение:

$$d_{i,c} \leq \Delta K, \quad (3)$$

где  $d_{i,c}$  – расстояние от  $i$ -го элемента до центра группы – элемента  $c$ .

Алгоритм группировки представляет собой последовательный анализ расстояний между всеми элементами. Искомые эвристиками, рассматриваемыми в диссертационной работе, являются предельные значения расстояний  $\Delta K$ .

Таким образом, предложенная методика снижения размерности предполагает следующую последовательность шагов:

- 1) определение набора «статических» характеристик ценных бумаг;
- 2) определение набора «динамических» характеристик ценных бумаг;
- 3) последовательная группировка по «статическим» показателям;
- 4) последовательная группировка по «динамическим» показателям;
- 5) формирование искусственных активов;
- 6) решение задачи (2) для набора искусственных активов;
- 7) декомпозиция искусственных активов и интерпретация результатов на множестве реальных активов.

В общем случае, окончательное решение о составе групп и о том, какие показатели анализировать, автор возлагает на ЛПР. Для решения же задачи ГУК выбор характеристик предопределен наличием заданных ограничений. Поскольку ГУК обязана осуществлять свою деятельность при минимальных рисках, основными ее активами являются облигации. В этом случае, в качестве меры ранжирования по группам, автор предлагает рассматривать первый и второй статистический моменты доходности облигации – дюрацию и выпуклость.

После рассмотрения сущности этих понятий автор приводит результаты сокращения размерности задачи для портфеля государственных облигаций.

На рис. 3 на одном графике представлены доходность, риск, дюрация и выпуклость указанных бумаг. Не следует интерпретировать его в качестве инструмента для сравнения абсолютных значений показателей. Данный график служит только для сравнения относительного изменения характеристик бумаг. Облигации расположены по мере роста доходности.

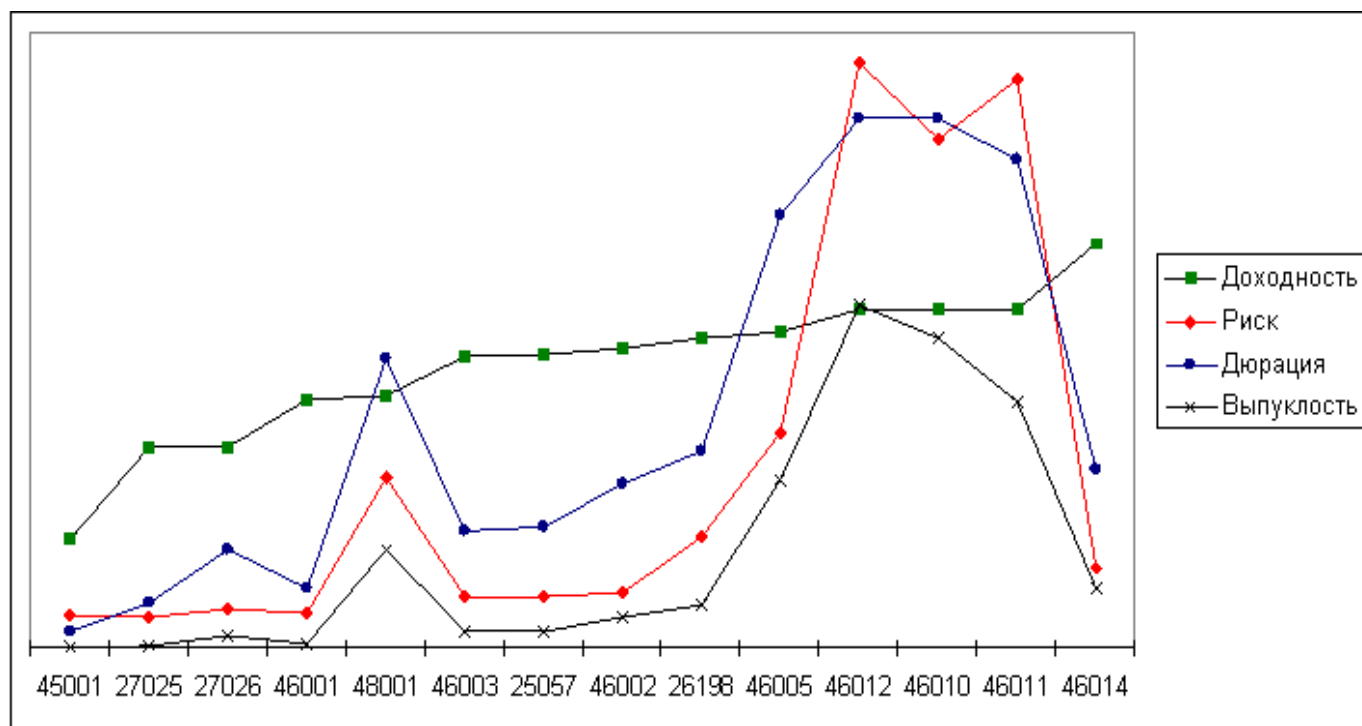


Рис. 3. Расчет показателей ценных бумаг

На оси абсцисс указаны государственные номера облигаций. Из рис. 3 видно, что объединение бумаг в группы по критерию дюрации и выпуклости возможно.

Для более наглядной иллюстрации на рис. 4 облигации расположены в порядке возрастания дюрации. Не трудно заметить, что имеет смысл объединить в одну группу: ОФЗ 27025 и ОФЗ 46001; ОФЗ 27026 и ОФЗ 46003 и ОФЗ 25057; ОФЗ 46002, ОФЗ 46014, ОФЗ 26198; ОФЗ 46012 и ОФЗ 46010. Таким образом, количество активов в портфеле сокращается с 14 до 8.

Число параметров, которые необходимо вычислить в качестве исходных данных модели Марковица равно  $n(n+3)/2$ , где  $n$  – число ценных бумаг в портфеле.

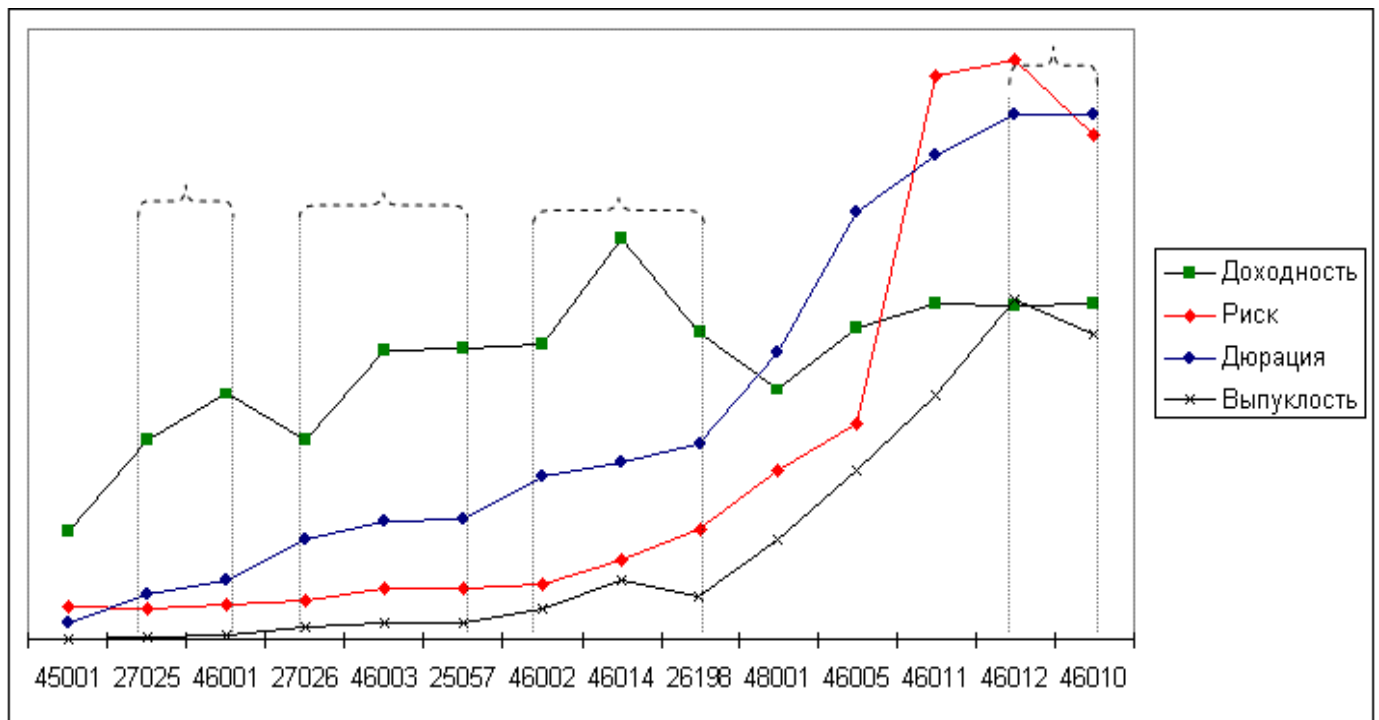


Рис. 4. Группировка по значению дюрации

В табл. 2 показан эффект сокращения числа входящих параметров и количества уравнений при решении задачи Марковица.

Таблица 2

**Эффект сокращения количества уравнений**

Количество (для 14 бумаг)	До группировки	После группировки
исходных параметров задачи Марковица ( $n(n+3)/2$ )	119	44
уравнений в системе при решении задачи Марковица	15	9
неравенств в системе при решении вспомогательной задачи	44	26

В ходе исследовательской работы, проводившейся на базе портфеля облигаций ГУК в течение 2005 и 2006 годов, были выявлены эвристические величины, представленные в табл. 3.

Здесь показаны допустимые границы расстояния значения дюрации облигации от центра группы. При удовлетворении условию (3), облигация считается относящейся к данной группе, то есть эквивалентной остальным бумагам группы с точки зрения подхода «доходность-риск».

**Эвристики предметной области**

Тип облигации	Допустимое расстояние значения дюрации облигации до центра группы
ОВГВЗ	0,48
Еврооблигации	2,1
Облигации субъектов РФ и местных органов власти	1,25
ОФЗ	1,1
Облигации иностранных государств	1,25
Облигации банков-нерезидентов	1,25
Облигации прочих нерезидентов	1,9

Результаты применения критерия группировки можно интерпретировать следующим образом. Если актив может быть отнесен к двум группам одновременно, то есть находится на пересечении групп, то выбирается группа с ближайшим центром. Если актив находится на равных «расстояниях» от центров обеих групп, для группировки используется значение выпуклости облигации. Равенство «расстояний» до центров групп является маловероятной ситуацией, тем не менее, согласно методике, в этом случае бумага относится к группе с большим риском. Такое решение принимается с целью исключения возможности недооценки риска той или иной бумаги. Данное условие является основополагающим при постановке экономической задачи ГУК, поскольку любая ошибка, вызванная несоблюдением этого условия, может привести к значительному материальному ущербу.

По результатам проведенного исследования автор делает следующие выводы:

- 1) группировка активов по предложенному критерию возможна;
- 2) степень сокращения размерности позволяет существенно снизить объем расчетов при формировании оптимального портфеля ценных бумаг;
- 3) полученные эвристические соотношения критериев группировки проверены экспериментально и позволяют формировать группы активов, не искажая их свойств и степени влияния на интегральные показатели портфеля;
- 4) при увеличении количества рассматриваемых ценных бумаг эффект от сокращения размерности усиливается. В рассмотренном примере, в рамках группы

однообразных активов наблюдалось сокращение количества уравнений на 40%. При группировке количества ценных бумаг, сравнимого с рыночным, сокращение количества уравнений достигает 59 %;

5) снижение размерности задачи позволяет сделать технически возможным решение задачи (2) методом квадратичного программирования за приемлемое время.

В заключение третьей главы автор приводит результаты сравнительного анализа предлагаемого метода построения локально-оптимальной стратегии с ранее используемыми методами.

Необходимые критерии сравнения сведены в табл. 4. Они включают в себя перечень основных характеристик, анализируемых с точки зрения решаемой задачи. В первую очередь, это наличие принципиальной возможности локальной оптимизации инвестиционной стратегии. Помимо этого, важны такие показатели, как длительность периода, в рамках которого производятся расчеты, возможность решения задачи большой размерности, возможность оценки исследуемого промежутка времени в целом.

Таблица 4

**Результаты сравнения предлагаемого метода со стандартной активной стратегией**

Параметр сравнения	Стандартная активная стратегия	Предлагаемый метод
Возможность построения оптимального портфеля, в соответствии с подходом «доходность-риск»	Отсутствует	Присутствует
Учет отрицательной корреляции бумаг	Отсутствует	Присутствует
Возможность анализа широко диверсифицированных портфелей	Присутствует	Присутствует
Возможность построения стратегии	Отсутствует	Присутствует
Необходимость выбора ценовых моделей для активов портфеля	Присутствует	Присутствует
Участие ЛПР в выработке решения	Отсутствует	Присутствует

На основании табл. 4 автор делает вывод о том, что применение стандартной «механической» активной стратегии дает возможность ограничить потери инвестора в случае неблагоприятного развития событий на фондовом рынке, но не позволяет

добиться эффективного управления капиталом, что в случае крупных капиталовложений приводит к существенным косвенным убыткам.

В рамках данной диссертационной работы автором было проведено сравнение результатов управления портфелем с помощью предложенного метода и результатов управления на основе активной стратегии сохранения пропорций. В качестве условий задачи были заданы: исследуемый период, перечень ценных бумаг и их характеристики, допустимый уровень риска для предлагаемой методики.

Критерием сравнения послужила доходность, показанная портфелем на конец исследуемого периода. В случае активной «механической» стратегии она составила 1,82% за 60 дней (см.: табл. 5).

Таблица 5

**Сравнение результатов использования активной и локально-оптимальной стратегий**

Период	Длительность периода (раб. дни)	Доходность активной стратегии (%)	Доходность оптимальной стратегии (%)	Эффект оптимизации (%)	Объем капитала (млн. рублей)	Эффект оптимизации (млн. рублей)
01.03.2005 – 27.05.2005	60	1,82	2,15	0,33	180 000	594
01.03.2005 – 01.03.2006	250	7,58	8,96	1,38	180 000	2 484

При построении стратегии в соответствии с предложенным автором методом, ее доходность была равной 2,15% за тот же период. Различие результатов объясняется неспособностью активной стратегии учитывать корреляцию стоимостей ценных бумаг различных компаний на фондовом рынке, что подтверждает преимущество применения нового метода и иллюстрирует возможность повышения эффективности управления денежными средствами ГУК.

**Четвертая глава**

В четвертой главе рассматривается применение предложенного метода на практике. Описывается архитектура и основные функциональные возможности

программного комплекса, разработанного автором на основе описанных выше положений. Дается краткая характеристика содержания и взаимодействия основных модулей программного обеспечения. Описываются интерфейсная часть и функциональные возможности каждого модуля. Приводятся результаты практического использования разработанного программного обеспечения для автоматизированного построения локально-оптимальной стратегии инвестирования в зависимости от различной конъюнктуры рынка.

По результатам проведенной практической работы и на основании представленного акта о внедрении делаются выводы относительно высокой эффективности практического применения созданного программного обеспечения.

### **Заключение**

В заключении приводятся итоги выполненной работы и формулируются основные полученные результаты.



## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен анализ современных методов и средств управления портфелем ценных бумаг, позволяющих осуществлять построение эффективных стратегий управления портфелем с учетом специфики рынка и кредитной организации. Используемый на практике метод построения «механических» активных стратегий не позволяет добиться эффективного управления портфелем ГУК.
2. Разработан метод, позволяющий формировать локально-оптимальную стратегию инвестирования с учетом особенностей ГУК и предпочтений ЛПР.
3. Сформулирована математическая задача оптимальной инвестиционной стратегии, учитывающая специфику ГУК и позволяющая моделировать любые рыночные ситуации, влияющие на процесс принятия решения об управлении портфелем ценных бумаг.
4. Предложен оригинальный метод решения задачи поиска локально-оптимальной стратегии.
5. Предложена методика снижения размерности задачи оптимизации портфеля ценных бумаг ГУК.
6. Разработан программный комплекс, позволяющий осуществлять расчет локально-оптимальной стратегии управления портфелем ценных бумаг ГУК для заданных начальных условий, выполнять сравнительный анализ стратегий между собой, изучать влияние рыночной конъюнктуры на эффективность вложений денежных средств в ценные бумаги.
7. Разработанные программные средства, в составе инструментального комплекса «Стратегии инвестирования», интегрированы в Автоматизированную информационную систему Государственной корпорации «Банк развития и внешнеэкономической деятельности (Внешэкономбанк)», являющейся Государственной управляющей компанией, и успешно применяются для поддержки принятия решений по формированию эффективной инвестиционной стратегии.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Бочаров Д.А. Методика поддержки принятия решения инвестором по управлению портфелем ценных бумаг с учетом реальных рыночных условий. НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ-2006. Сборник научных трудов. В 15 томах. Т.12. Информатика и процессы управления. Компьютерные системы и технологии. – М.: МИФИ, 2006. – с. 42-43.
2. Бочаров Д.А. Методика построения оптимальной инвестиционной стратегии. – Автоматизация и современные технологии, 2007, № 11. – с. 24-30.
3. Бочаров Д.А. Методика реализации автоматизированной поддержки принятия решения по управлению портфелем ценных бумаг. Объединенный научный журнал, №5, 2006. – с. 37-45.
4. Бочаров Д.А. Метод снижения размерности при решении задачи оптимизации портфеля ценных бумаг. Экономика и финансы № 7, 2006. – с. 7-11.
5. Бочаров Д.А. Недостатки современных математических моделей оптимального инвестиционного портфеля ценных бумаг. НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ-2006. Сборник научных трудов. В 15 томах. Т.12. Информатика и процессы управления. Компьютерные системы и технологии. – М.: МИФИ, 2006. – с. 44-45.
6. Бочаров Д.А. Недостатки типичной архитектуры OLAP систем и перспективы развития. НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ-2005. Сборник научных трудов. В 15 томах. Т.12. Информатика и процессы управления. Компьютерные системы и технологии. – М.: МИФИ, 2005. – с. 74-75.
7. Бочаров Д.А. Применение современных технологий интеллектуального анализа данных для поддержки принятия решений в финансовой и банковской деятельности. НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ-2005. Сборник научных трудов. В 15 томах. Т.12. Информатика и процессы управления. Компьютерные системы и технологии. – М.: МИФИ, 2005. – с. 72-73.
8. Бочаров Д.А. Исследование закона распределения доходности финансовых активов с помощью критерия Колмогорова. НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ-2008. Сборник научных трудов. Автоматизированные системы обработки информации и управления. Электронные измерительные системы. – М.: МИФИ, 2008. – с. 64-66.

Отпечатано в типографии ООО «Гипрософт»  
г. Москва, Ленинский пр-т, д.37А.  
Подписано в печать 14.08.2008.  
Тираж 100 экз.