

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»»

Саркисов Артур Рачикович

**Формирование портфеля акций на фондовом рынке с
использованием непараметрических методов**

РЕЗЮМЕ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук НИУ ВШЭ

Научный руководитель:
кандидат физико-математических наук,
доцент Буянова Елена Александровна

JEL: G10, G11, G17

Москва – 2018

Актуальность исследования

Формирование инвестиционного портфеля является одним из основных вопросов современной теории финансов, и в экономической литературе существует большой блок работ, посвященных построению инвестиционного портфеля, в которых проводится анализ фундаментальных и технических характеристик эмитентов при помощи параметрических методов. Однако зачастую применение параметрических методов анализа приводит к неэффективности и смещениям финальных оценок. Связано это с тем, что в большинстве случаев анализируемые ряды данных являлись либо слишком короткими, либо имели неустойчивую внутреннюю структуру. Таким образом, на данный момент важным вопросом является разработка алгоритмов работы с короткими временными рядами и рядами с большим количеством выбросов. Именно попыткой решения данной задачи и обусловлен переход от методов анализа, основанных на параметрах распределения наблюдаемых величин, к методам, которые не предъявляют требований к распределению регрессоров, т.е. непараметрическим методам анализа. Поэтому **актуальность темы диссертационного исследования** обусловлена необходимостью совершенствования подходов к формированию инвестиционных портфелей на основе анализа факторов технического и фундаментального анализа.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Впервые разработаны алгоритмы построения инвестиционного портфеля, состоящего из акций российских компаний, торгуемых на ММВБ, при помощи трех непараметрических методов: CART, ANN и метода ядерного сглаживания

2. Эмпирически доказана эффективность данных методов путем сравнения полученной доходности по портфелям, построенным на их основе, с рыночной доходностью и доходностью портфеля, составленного при помощи параметрического метода, на горизонте стабильного рынка (январь 2016 - декабрь 2016) и на горизонте кризисного рынка (январь 2008 - декабрь 2008)
3. Выделен уникальный набор факторов, определяющих динамику российского фондового индекса и, следовательно, его доходность, которые подтверждают спекулятивную природу российского фондового рынка
4. Впервые проведен сравнительный анализ эффективности использования на российском фондовом рынке непараметрических методов между собой

Степень разработки научной проблемы в литературе

В области построения оптимального портфеля при помощи непараметрических методов следует выделить следующие два направления исследований. Первое: на ранних этапах развития данного направления исследователи пытались показать эффективность использования непараметрических методов, используя лишь стандартные показатели фундаментального анализа. Второе: в более поздних исследованиях осуществлялись попытки получить оптимальную комбинацию факторов как технического, так и фундаментального анализа, которая бы максимально подходила для конкретного рынка. Ниже представлен перечень основных работ по использованию непараметрических методов в финансах.

В своей работе Бриман (Breiman, 1987) сформулировал основные преимущества непараметрических методов:

- Не требуют предварительного отбора параметров; нет проблемы ошибочной спецификации
- Нечувствительны к монотонным преобразованиям независимых переменных
- Результаты робастны к выбросам в выборке

Андреяшин, Хардли и Тимофеев (Andriyashin, Haerdle, Timofeev, 2008), Бримен (Breiman, 1984), Чаварнакул и Инке (Chavarnakul and Enke, 2009) описали теоретические основы использования метода деревьев классификаций для построения оптимального портфеля на фондовых рынках развитых стран.

Метод ядерного сглаживания, был использован в работе Шираиши и Танигучи (Shiraishi & Taniguchi, 2007) для оценки дисперсии доходностей акций на Токийской фондовой бирже. Исследование авторов показало, что при помощи данного непараметрического метода можно эффективно прогнозировать поведение акций и строить оптимальный портфель. При этом, авторы отмечают, что эффективность того или иного непараметрического метода может быть различна в зависимости от структуры данных.

Так называемый I(d) processes (Bierens, 1997) был использован в работе Ауе и Минг (Aue & Ming, 2014), в которой авторы строили модель оптимальной диверсификации при отборе бумаг в портфель. В ходе своего исследования авторы выяснили, что фондовые рынки США (Dow Jones 30 и S&P 500) являются попарно коинтегрированы с фондовыми рынками стран БРИКС.

Крижановски с соавторами (Kryzanowski et al., 1992), Джанг и Лэй (Jang and Lai, 1994), Фрейтас (Freitas, 2001), Элис и Уилсон (Ellis and

Wilson, 2005) ,Ванстоун (Vanstone et al., 2010) , Фернандеса и Гомеса (Fernandez and Gomez, 2012) в своих работах использовали метод искусственных нейронных сетей для построения оптимального портфеля. В рамках данных работ был сформирован теоретический фундамент для осуществления отбора бумаг при помощи метода ANN, были описаны основные алгоритмы определения оптимального размера нейронной сети. Строились не только прогнозы стоимости финансовых инструментов при помощи метода ANN, но и тестировалась эффективность данного метода при подгонке под уже имеющиеся данные.

Агулар и Вест (Aguilar and West, 2000), Аврамов (Avramov, 2002), Барберис (Barberis, 2000), Браун (Brown, 1976), Кремерс (Cremers, 2002), Фрост и Саварино (Frost and Savarino, 1986), Кроуфорд и Вуд (Crawford and Wood, 2016) использовали различные вариации Байесовских методов для построения эффективных торговых стратегий на фондовых рынках. При этом, в данных работах отмечалась высокая степень устойчивости результатов при наличии структурных сдвигов в данных, а также при наличии коротких рядов данных.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – оценить эффективность использования непараметрических методов как инструмента отбора бумаг в портфель на российском фондовом рынке и предложить алгоритмы формирования портфелей и их управления на основе непараметрических методов.

Для достижения указанной цели сформулированы следующие **задачи:**

1. Упорядочить теоретические и эмпирические исследования, посвященные вопросу отбору активов при помощи параметрических и непараметрических методов
2. Сформировать систему фундаментальных, технических и макроэкономических факторов, при помощи которых будут построены портфели с использованием непараметрических методов
3. Разработать алгоритм построения и ребалансировки инвестиционного портфеля при помощи методов CART, ANN и метода ядерного сглаживания
4. Построить инвестиционные портфели на основе разработанных алгоритмов, и сравнить полученные результаты доходности с рыночными показателями, а также с показателями портфеля, составленного при помощи параметрического метода. Осуществить данную проверку на периоде стабильного рынка и на кризисном периоде
5. Осуществить выявление основных детерминант изменений российского фондового индекса. Проверить отобранные факторы на наличие экономической интерпретации
6. Сравнить эффективность непараметрических методов между собой. Решить задачу максимизации полезности инвестора для различных уровней степени несклонности к риску
7. Протестировать разработанные алгоритмы на ложную значимость на рядах случайного блуждания

Описание методологии исследования

При использовании непараметрических методов важным этапом является выбор корректных входных параметров

(например, для нейронных сетей – количество слоев и нейронов в каждом). В рамках данного исследования для каждого из трех представленных в работе методов (CART, ANN и метода ядерного сглаживания) были подобраны оптимальные параметры архитектуры, которые позволили построить эффективные алгоритмы формирования инвестиционного портфеля акций.

- Для метода деревьев классификаций использовалась SE Rule процедура проверки на обучающей выборке для определения оптимального размера дерева. Путем решения оптимизационной задачи был получен размер тестовой выборки на уровне 35% от общего числа наблюдений.
- Для метода искусственных нейронных сетей в результате выбора оптимальной архитектуры были сформированы сети с 3 скрытыми слоями по 9 нейронов в каждом. Использовался метод построения «обучение с учителем» с обратным распространением ошибки.
- Для метода ядерного сглаживания использовалась функция оценки Надарайя-Уотсона, показавшая в ходе тестирования результаты лучше методов Пристли-Као и Гассера-Мюлелра

В целом следует отметить, что несмотря на наличие процедур, позволяющих подбирать параметры архитектуры для непараметрических методов, основной метод подбора – метод проб и ошибок. Эффективность того или иного набора входных параметров можно достоверно изучить лишь эмпирически на тестовых выборках.

Для двух методов (деревьев классификаций и метода искусственных нейронных сетей) для построения торговой стратегии

было необходимо при формировании исходной выборки присвоить каждому наблюдению некий класс C_i из конечного множества классов $C = \{1, 2, \dots, J\}$. Для финансовых активов удобно распределять классы в зависимости от показателя их доходности (R_t) на 3 класса: {покупка актива}, {продажа актива}, {сохранение актива}. В качестве критерия присвоения одного из трех классов было использовано пороговое значение \bar{R}_i для каждого актива, которое основывалось на среднем значении доходности актива за определенный период в прошлом:

$$\left[\begin{array}{l} R_t > \bar{R}, y_t = \{\text{покупка актива}\} \\ R_t < -\bar{R}, y_t = \{\text{продажа актива}\} \\ -\bar{R} \leq R_t \leq \bar{R}, y_t = \{\text{сохранение актива}\}, \end{array} \right.$$

где пороговые значения $-\bar{R}$ и \bar{R} выбирались на основе среднего показателя доходности целевого рынка за рассматриваемый период.

В данной работе анализировались акции компаний, входящие в базу расчета индекса ММВБ, т.к. они являются наиболее ликвидными инструментами на российском рынке акций. Анализировалась недельная доходность акций, которая определялась следующим образом:

$$R_t = \frac{E_t(P_{t+1}) - P_t}{P_t}, \quad (1)$$

где: R_t – доходность акции в период t ,

P_t – цена акции в период t ,

P_{t+1} – цена акции в период $t + 1$,

$E_t(P_{t+1})$ – ожидаемая в периоде t цена акции в периоде $t + 1$.

Таким образом, первичное формирование портфелей, построенных при помощи методов деревьев классификаций и искусственных нейронных сетей, выглядело следующим образом (на примере алгоритма, использованного для тестового периода 2016г.):

1. Для каждой компании, входящей в базу расчета индекса ММВБ, формировалась матрица входных параметров X_i , включающая в себя данные за период с января 2008 г. по декабрь 2015 г.
2. На основе данных недельных доходностей за период с января 2008 г. по декабрь 2015 г. формировался вектор классов для каждого наблюдения $C_i =$
{(покупка актива), (продажа актива), (сохранение актива)} в зависимости от отношения недельной доходности и доходности индекса
3. На основе построенных деревьев классификаций и нейронных сетей отбирались акции компаний, которым на момент декабря 2015 г. был присвоен класс {покупка актива}.
4. Определялся вес акций, по которым был присвоен класс {покупка актива}, в портфеле. Вес для отобранных акций определялся путем решения следующей оптимизационной задачи по максимизации Sharpe ratio портфеля:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max \frac{r_p - r_f}{\sigma_p} \\ r_p = \sum_{i=1}^n w_i r_i \\ \sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n w_i w_j k_{ij} \sigma_i \sigma_j} \\ \sum_{i=1}^n w_i = 1 \\ w_i \geq 0, \end{array} \right. \quad (2)$$

где: r_i – доходность i – й акции,

σ_i – стандартное отклонение доходности i – й акции,

w_i – доля i – й акции в портфеле.

В качестве безрисковой ставки использовалась среднемесячная доходность государственных облигаций 3 – 5 лет RUGBITR5Y.

После первичного формирования портфелей каждые 3 месяца происходила их ребалансировка, в рамках которой вновь строились деревья классификаций и нейронные сети для каждой акции с учётом новых данных. Происходила продажа бумаг компаний, которые были в портфеле и которым в процессе ребалансировки был присвоен класс {продажа актива}. Средства, полученные от реализации бумаг, распределялись среди активов с классом {покупка актива}.

При ребалансировке задача выбора весов принимала следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max \frac{r_p - r_f}{\sigma_p} \\ r_p = RHS + \sum_{i=1}^v \bar{w}_i r_i \\ \sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n w_i w_j k_{ij} \sigma_i \sigma_j} \\ \sum_{i=1}^n \bar{w}_i = 1 - w_{rhs} \\ w_i \geq 0, \end{array} \right. \quad (3),$$

где RHS – доходность акций со статусом {сохранение актива}. Определялась как сумма произведений долей соответствующих активов на их доходность.

При построении портфеля на основе Байесовского метода ядерного сглаживания не было необходимости в присвоении зависимым переменным определенного класса в зависимости от значения доходности. Также при построении портфеля при помощи Байесовских методов ребалансировка проходила путем решения задачи (2), т.к. в рамках алгоритма не предусмотрено выделение акций, которые были бы сохранены в портфеле. В этом случае каждый раз портфель строился, исходя из ожидаемой доходности, оцененной байесовским методом.

Ниже приведено описание переменных, использованных для формирования входного вектора:

- **Макроэкономические:** ВВП, темп роста ВВП, инфляция, темп инфляции, стоимость бивалютной корзины, сальдо торгового баланса, цена на нефть марки Brent
- **Переменные фундаментального анализа:** current ratio, quick ratio, cash ratio, long-term debt-to-equity, total debt-to-equity, debt ratio, financial leverage, net profit margin, return on equity, return on assets, return on common equity, изменения EPS к цене акции, Book Value per Share / Share Price, FCFE, изменение FCFE, капитализация компании
- **Переменные технического анализа:** скользящие средние с различными окнами, линии Бойленджера, моментум, Relative Strength Index (RSI), Moving Average Convergence/Divergence (MACD), Stochastic, объем торгов и Bid – ask-spread

Используя оптимальный для каждого метода вектор входных переменных, отобранный из исходного множества переменных, были построены инвестиционные портфели при помощи каждого из трех

непараметрических методов. Построенные при помощи непараметрических методов портфели показали доходность на протяжении всего инвестиционного горизонта 2016 года, превышающую как доходность рыночного портфеля, так и доходность портфелей, построенных при помощи параметрических методов. Построенные инвестиционные портфели были хорошо диверсифицированными: лишь при одной ребалансировке методом ядерного сглаживания был получен портфель, в котором доля одной акции составляла 21%. По итогам данного анализа наибольшую доходность показывали портфели, построенные при помощи метода ядерного сглаживания. Непараметрические методы показали свою высокую эффективность и при прогнозировании на 2008 году. При этом построенные портфели показали большую концентрацию, чем при прогнозировании на 2016 год, но при этом оставались диверсифицированными.

По итогам анализа наиболее значимых факторов при построении оценки активов на основе непараметрических методов было выявлено, что при построении портфелей всеми тремя методами наиболее значимыми переменными как при прогнозировании на 2016 году, так и при прогнозировании на 2008 год были: моментум, цена на нефть и величина bid-ask spread. Полученные результаты подтверждают гипотезу, что российский фондовый рынок является спекулятивным. Инвесторы анализируют движение цены на нефть как прокси переменную общего состояния экономики России; стараются инвестировать в акции компаний, которые уже были лидерами по темпам роста стоимости в прошлом; следят за тем, чтобы данные акции были ликвидны с минимальным Bid-ask spread.

Помимо решения стандартной задачи максимизации дохода (задача 2), которая была сформулирована безотносительно предпочтений потенциального инвестора, в четвертом параграфе была решена задача максимизации полезности при разных значениях параметра предельной несклонности к риску. По результатам решения задачи максимизации было получено, что при помощи трех изучаемых непараметрических методов, можно получать максимальную доходность не ниже рыночной, для инвесторов с коэффициентов неприятия риска до **16,01** для метода ядерного сглаживания, для метода искусственных нейронных сетей – **15,9**, для метода деревьев классификаций – **15,4**. При условии, что стандартный коэффициент неприятия риска для инвестора-рискофоба варьируется от 10-12 (Janecsek, 2004), то из этого следует, что при помощи непараметрических методов можно получить оптимальные портфели с доходностью выше рыночной для большого множества потенциальных инвесторов. Данный факт подтверждает эффективность непараметрических методов как инструмента построения инвестиционных портфелей на рынке акций.

На последнем этапе была проведена проверка устойчивости результатов на рядах случайного блуждания. Проверялась гипотеза, что полученные при помощи описанных в работе торговых стратегий результаты являются случайными, и что при их использовании на рядах случайного блуждания также будет получена высокая доходность, что будет говорить, что результаты не основываются на экономических взаимосвязях. Для того чтобы проверить данную гипотезу были созданы ряды данных, подчиняющиеся случайному блужданию, и протестированы на данных рядах алгоритмы, используемые в данном исследовании. В рамках данного тестирования были

сформированы 50 различных рядов стоимостей акций, на основе которых был высчитан «рыночный индекс», а также показатели акций. По результатам тестирования не было выявлено ни одного случая, когда при использовании непараметрических методов была достигнута доходность, выше смоделированной «рыночной», что свидетельствует о том, что полученные результаты не являются случайными и основываются на экономических взаимосвязях между переменными.

Основные результаты, выносимые на защиту

1. Обоснована необходимость использования непараметрических методов в качестве инструмента для построения инвестиционного портфеля. Влияние выбора данного типа инструментария было показано на примере сравнения доходности портфелей, составленных при помощи непараметрических методов, с доходностью рыночного портфеля, а также портфеля, построенного при помощи параметрического метода.
2. Показано, что основными детерминантами российского фондового рынка являются переменные Momentum, величина Bid-Ask Spread, а также цена на нефть марки Brent. Данный результат является устойчивым, т.к. был подтвержден при анализе всеми тремя рассматриваемыми непараметрическими методами как при осуществлении прогноза на 2016г., так и при осуществлении прогноза на 2008г.
3. Доказано, что портфель, построенный при помощи метода ядерного сглаживания показал не только наибольшую доходность на временных горизонтах январь 2016 – декабрь 2016 и январь 2008-декабрь 2008, но также показал строго большую

доходность чем портфели, построенные при помощи других методов, при решении задачи максимизации полезности инвестора при различных значениях коэффициента несклонности к риску.

4. Показано, что при тестировании разработанных алгоритмов на рядах случайного блуждания не достигается положительных результатов доходности, что свидетельствует о статистической значимости результатов.

Список опубликованных статей

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК министерства образования и науки Российской Федерации:

- 1) Саркисов А.Р., Голодова Ж.Г. Формирование инвестиционного портфеля коммерческого банка: учет показателей позиционирования эмитентов на фондовом рынке// Финансы и кредит. 2012. №35. С. 24-29. – 0,4 п.л. (личный вклад автора - 0,3 п.л.)
- 2) Буянова Е.А., Саркисов А.Р. Формирование инвестиционного портфеля на российском рынке акций при помощи непараметрического метода - дерева решений// Корпоративные финансы. 2016. № 1. С. 46-58. – 1 п.л. (личный вклад автора - 0,6 п.л.)
- 3) Буянова Е.А., Саркисов А.Р. Формирование инвестиционного портфеля на российском рынке акций при помощи непараметрического метода - искусственных нейронных сетей// Корпоративные финансы. 2017. № 3. С. 100-110. – 1 п.л. (личный вклад автора - 0,6 п.л.)