

На правах рукописи

Беляков Станислав Сергеевич

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АГРЕГИРОВАНИЯ В МЕТОДАХ НЕЛИНЕЙНОЙ
ДИНАМИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ КОТИРОВКИ АКЦИЙ**

08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Ставрополь – 2005

Работа выполнена

в Карачаево-Черкесской государственной технологической академии

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор
Перепелица Виталий Афанасьевич

Официальные оппоненты: доктор экономических наук,
профессор
Ульяницкая Надежда Михайловна

доктор технических наук,
профессор
Винтизенко Игорь Георгиевич

Ведущая организация: Ростовский государственный экономический университет

Защита состоится « 21 » октября 2005 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.256.06 при Ставропольском государственном университете по адресу: 355009, Россия, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, Ставропольский государственный университет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ставропольского государственного университета.

Автореферат разослан « » _____ 2005 года

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



В.Х. Кужев

2006-4
16478

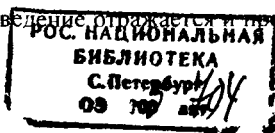
2185561

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Российский рынок ценных бумаг за свою новейшую постсоветскую историю пережил много хороших и плохих времен. Финансовый кризис 1998 года почти разрушил этот сектор экономики. Однако следует понимать, что без развитого рынка ценных бумаг построить рыночную экономику невозможно. Не случайно в последние годы одно из важнейших направлений развития России связано с принципиальным изменением роли рынка ценных бумаг в финансовой системе государства и его хозяйственном механизме в целом. Развиваются институты рынка ценных бумаг, регулирующие государством. Огромные усилия государства направлены на повышение доверия инвесторов к российской экономике.

Одной из важных задач на пути стабилизации фондового рынка России является привлечение частных лиц для инвестирования в предприятия и крупные компании нашей страны. Для инвесторов особо необходимым и актуальным является возможность прогнозирования ситуации на рынке ценных бумаг. Прогнозирование предполагает научно-обоснованное суждение о возможных состояниях экономической системы в будущем, об альтернативных путях и сроках его осуществления, оно должно предполагать получение качественных оценок этих состояний при помощи математических и инструментальных средств реализации.

Сложившейся к настоящему времени методологии экономико-математического прогнозирования присущи общие черты. Практически все прогнозные модели в той или иной мере используют экстраполяцию прошлых тенденций в отношении как общенациональных, так и частичных показателей производства, народонаселения, технического прогресса. Общая черта эконометрических и эмпирических прогнозов – стремление на основе отдельных, частичных показателей составить общую картину будущего экономического роста. При этом постулируется, вообще говоря, оправданный принцип, который гласит, что характер поведения во времени основного показателя наблюдаемого эволюционного процесса или системы отражает в завуалированной форме весь спектр воздействия внешней среды на нее и, таким образом, на поведение всей экономической системы. Чаще всего это поведение отражается и представляется в виде временного ряда.



Развитие экономического моделирования, анализа и прогнозирования в современных условиях связано с последовательным ростом уровня их формализации. Основу этого заложил прогресс в области прикладной математики, математической статистики, методов оптимизации, теории приближений, в эконометрике, прогностике и пр.

Среди факторов, характеризующих динамику рынка и влияющих на нее, есть изрядное количество данных нечисловой природы, значения которых известны только с определенной долей уверенности. Можно выделить различные типы неопределенностей, из которых для финансового анализа важны следующие:

- связанные с незнанием или неточным знанием некоторых факторов или процессов, влияющих на развитие ситуации;
- связанные с математической несоизмеримостью численных оценок величин, характеризующих динамику системы;
- связанные с нелинейностью и наличием у системы нескольких состояний равновесия или аттракторов;
- связанные с недостатком или неадекватностью понятийного аппарата и невозможностью отождествления фактов.

С целью понимания того, какие преимущества дают предлагаемые далее новые методы анализа данных и прогнозирования, необходимо указать на три принципиальные проблемы, возникающие при создании систем анализа финансовых рынков и разработке прогнозных моделей.

Первая - это определение необходимых и достаточных параметров для оценки состояния рынка, а также целевых функций, т.е. выбор критериев эффективности действий. Формализация, т.е. моделирование поведения системы, состоящей из разнородных компонентов, требует использования единой метрики для их описания.

Вторая проблема - это проблема размерности. Желание учесть в модели как можно больше показателей и критериев оценки может привести к нерешаемым практически объемам вычислительной сложности. Иными словами, суть этой проблемы сводится к ограничению на быстроедействие и размеры вычислительного комплекса в зависимости от количества информации, обрабатываемого в единицу времени.

Третья проблема возникает в силу проявления признака надсистемности.

Известно, что взаимодействующие системы образуют надсистему - систему более высокого уровня, обладающую собственными (надсистемными) свойствами, которых не имеет ни одна из составляющих систем. Проблема заключается в принципиальной невозможности выявить указанные проявления надсистемного отображения средствами, входящих в состав взаимодействующих систем.

Пришедшие на смену классическим новые подходы к прогнозированию появились именно с целью преодоления некоторых из перечисленных проблем. Эти подходы базируются на применении таких разделов современной математики, как нейрокомпьютеры, теория стохастического моделирования (теория хаоса), теория катастроф, синергетика и теория самоорганизующихся систем, включая генетические алгоритмы, теория фракталов и нечеткие логики. Считается, что эти методы позволят увеличить глубину прогноза на финансовых рынках за счет выявления скрытых закономерностей, присущих этим рынкам.

Таким образом, в связи с тем, что в рамках классического подхода не удастся получить существенного улучшения качества прогнозирования курсов ценных бумаг на фондовом рынке, актуальным является совершенствование методик прогноза, сочетая достоинства теории хаоса, клеточных автоматов и теории нечетких множеств.

Степень разработанности проблемы Большой вклад в исследование фондового рынка внесли зарубежные ученые, особо можно отметить труды У.Ф. Шарпа, Г. Марковица, Г.Дж. Александера, Дж.В. Бэйли, Б. Вильямса, Р. Колби, Д. Мерфи, Дж. Швагера, а также труды соотечественников Я.М. Миркина, А.В. Захарова, И.В. Костикова, Б.Б. Рубцова, А.О. Недосекина, Ю.В. Жваколюк, П.П. Кравченко, Т.Ю. Сафоновой, Н.И. Червякова и др.

В развитии теоретической прогностики стоит отметить работы И. Бернара, Н. Винера, Д.Ж. Джонстона, Ж.-К. Колли, В.В. Леонтьева, К. Паррамоу, М. Песарана, О.М.Дж. Кендалла, Ю. Колека, Л. Слейтера и др. История развития продуктивной прикладной прогностики начинается с прогнозов Г. Ландсберга, Л. Фишмана, Дж. Фишера, прогноза Дж.Ф. Дьюхорста, Дж.О. Коппока, П.Л. Йейста, и др.

В бывшем СССР проводились серьезные экономические прогностические исследования. Отметим труды известных советских и российских ученых: А.Г. Аганбегяна, Л.В. Канторовича, С.А. Айвазяна, В.А. Кардаша, В.С. Немчинова, В.В. Новожилова, Н.П. Федоренко, С.С. Шаталина,

А.Н. Ширяева, а также труды соотечественников: В.А. Буторова, И.В. Бестужева-Лады, И.Г. Винтизенко, Г.В. Гореловой, А.А. Горчакова, В.Е. Демидова, А.С. Емельянова, Э.Б. Ершова, С.В. Жака, П.С. Завьялова, А.Н. Ильченко, В.И. Калининченко, В.В. Ковалева, Ф.М. Левшина, Ю.П. Лукашина, В.И. Максименко, Е.Н. Мельниковой, А.В. Морозова, А.Л. Новоселова, Г.Н. Хубаева, Б.В. Рязанова, Е.М. Четыркина и др.

При большом числе серьезных работ, широте исследований, обилии полученных в прогнозировании результатов, все еще находятся разделы прогностической науки, в которых новые методы могут улучшить решение, сделать его универсальным, конструктивным и более точным. Важно отметить, что последнее десятилетие – это начало активного изучения и переосмысливание вопросов математического моделирования экономических процессов. Пересматриваются законы линейной парадигмы, появляются публикации (Б.М. Фридман, Д.И. Лейсбон, Е.Д. Вейгель, А.Л. Тернер и др.), в которых отмечается, что многие экономические процессы не следуют нормальному закону распределения по причине невыполнения условия независимости наблюдений. Это в свою очередь ставит вопрос о неправомерности применения известных классических методов прогнозирования эволюционных процессов. В контексте экономических теорий появляется экономическая синергетика, как наука, занимающаяся изучением хаоса в повседнии, что не присуще устойчивой эволюционирующей экономической системе. Исследованию этих вопросов посвящены работы как, в основном, зарубежных, так и отечественных авторов: А.Е. Андерсон, Дж. Грендмонт, В.-Б. Занг, Б. Мандельброт, Э. Петерс, А.И. Пригожин, Э. Сигел, Р. Чен, В.А. Долятовский, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий и др.

Характеризуя степень разработанности новых подходов можно отметить следующее. Существуют уже разработанные системы и методики, использующие аппарат нечетких логик. Оболочки экспертных систем, поддерживающие работу с нечеткими знаниями, такие, например, как Gold Works, Guru, Flex и т.д. Созданы первые в мире электронные таблицы Fuzzi Calc, способные работать с нечеткими данными. Являются предметом промышленного использования и достаточно мощные средства разработки приложений, использующих аппарат нечетких логик, – это пакеты фирмы HyperLogic CubiCalc RTS и CubiCalc 2.0 для Windows.

Уже завоевали признание и нейросетевые технологии. Практика использования нейросетей показала их эффективность в таких областях, как прогнозирование, выявление зависимостей, ситуационное управление. Все это применимо и на финансовых рынках. Этот инструментарий позволяет выявлять и получать новые знания о динамике стоимости ценных бумаг, об изменениях показателей экономической активности и о колебаниях обменного курса валют, включая, государственные облигации. На базе этих знаний можно выявить взаимозависимости, существующие между этими характеристиками, что в свою очередь позволяет существенным образом повысить надежность прогнозирования.

Еще один подход, находящий все большее применение при анализе финансовых рынков, и, особенно, в случае наличия в них быстротекущих процессов базируется на методах теории хаоса, или, в другой терминологии, нелинейной динамики.

Применительно к области финансов на основе теории хаоса впервые был разработан принципиально новый подход к анализу рынка, отличный от "портфельной теории". Этот подход базируется на положении о том, что рынок представляет собой сложную нелинейную систему с обратной связью, а характер группового взаимодействия участников рынка порождает хаотическую динамику цен вследствие спорадического использования инвесторами информационного потока и, как следствие, возникновение квазистохастических временных интервалов их действия на рынках.

В условиях резкого увеличения требований к масштабам и темпам развития науки и техники для получения эффективных прибылей на российском рынке (в частности на рынке ценных бумаг) становятся актуальными вопросы планирования и принятия решений на основе прогнозирования.

Исследования в этой области обусловлены необходимостью внедрения в практику работы профессиональных участников рынка методов научного управления, основанного на строгой формализации процедур принятия инвестиционных решений, и необходимостью использования на практике новых инвестиционных технологий. Существенными составными частями таких технологий, используемых в настоящей работе, являются клеточные автоматы, фрактальный анализ и фазовые портреты, позволяющие в явлениях, на первый взгляд случайных, обнаружить порядок и некоторую структуру. Тот факт, что хаотические модели дают хорошее приближение для финансовых временных

рядов, говорит о важности изучения поведения финансовых рынков как нелинейных динамических систем и является дополнительным аргументом в пользу применения в задачах прогноза различных методов нелинейной динамики.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей диссертационной работы является исследование потенциальной прогнозируемости временных рядов курсов акций на фондовой бирже России на базе новых инструментариев нелинейной динамики, в частности, фрактального анализа, теории клеточных автоматов и фазовых портретов.

В соответствии с целью работы решались следующие задачи:

- анализ и оценка принципиальной возможности использовать некоторые методы нелинейной динамики, в первую очередь, фрактального анализа, фазового анализа и клеточных автоматов для предпрогнозного анализа и прогнозирования временных рядов котировки акций, для которых использование классических методов является проблематичным;
- оценка предпрогнозных характеристик временных рядов котировки акций российских компаний «Сбербанк», «Ростелеком», «РАО ЕЭС», «Сибнефть» и разработка методов предпрогнозного анализа этих рядов на базе их агрегирования с последующим использованием инструментария фрактального анализа;
- использование и адаптация инструментария фазового анализа для получения предпрогнозных характеристик, выбор подходящего принципа агрегирования и его применение для улучшения предпрогнозных характеристик агрегированных временных рядов;
- использование клеточно-автоматной прогнозной модели для прогнозирования временных рядов котировки акций и ее адаптация к специфике поведения курсов акций российских компаний;
- использование комбинированного подхода к построению визуализации и совместному применению результатов фазового анализа и R/S- анализа временных рядов с целью получения дополнительной информации для их прогнозирования.

Объектом исследования является фондовый рынок ценных бумаг, как один из главных финансовых элементов международной экономической системы.

Предметом исследования являются временные ряды такого финансово-экономического показателя, как котировки акций российских компаний на протяжении переходного периода отечественной экономики.

Методология и методы исследования. Теоретическую и методологическую базу исследования составляют научные труды современных российских и зарубежных ученых по методам статистического и фрактального анализа временных рядов, экономической синергетики, теории фазовых портретов и клеточных автоматов, а также работы, посвященные вопросам моделирования, прогнозирования и содержательной экономической интерпретации прогнозных процессов и результатов.

Информационную базу исследования составили аналитические и статистические материалы Госкомстата России, а также региональной власти и научно-практические публикации по финансово-экономическим вопросам.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с пунктом 1.8 «Паспорта специальности 08.00.13 – математические и инструментальные методы экономики»: «Математическое моделирование экономической конъюнктуры, деловой активности, определении трендов, циклов и тенденций развития».

Научная новизна. Научная новизна диссертационного исследования заключается в решении научной задачи – создание целостного теоретического, методологического и инструментального обеспечения для математического моделирования, анализа и прогнозирования экономических временных рядов. Научную новизну содержат следующие положения:

1. Развита методика анализа динамики котировки ценных бумаг с использованием фрактального анализа экономических временных рядов с памятью, адаптировано и апробировано на конкретных временных рядах математическое обеспечение реализации на персональной ЭВМ этого анализа с целью получения предпрогнозной информации, включая ее содержательную интерпретацию.

2. Разработан и апробирован новый метод преобразования временных рядов макроэкономических показателей в соответствующие им временные ряды методом агрегирования, что позволяет снять проблему размерности исследуемого временного ряда и улучшить их предпрогнозные характеристики.

3. На примере временных рядов котировки акций известных российских компаний таких как «Сбербанк», «Ростелеком», «РАО ЕЭС», «Сибнефть» осуществлен фрактальный анализ агрегированных временных рядов на базе алго-

ритма нормированного размаха и предложена содержательная предпрогнозная их интерпретация.

4. Осуществлено распространение и развитие фазового анализа для выявления предпрогнозной характеристики динамики агрегированных временных рядов котировки акций.

5. Адаптирована и реализована клеточно-автоматная прогнозная модель на базе агрегированных временных рядов котировки акций.

Практическая значимость полученных результатов. Практическая значимость работы определяется тем, что основные положения, выводы, рекомендации, модели, методы и алгоритмы диссертации ориентированы на широкое использование организационно-экономического, методического, алгоритмического обеспечения и инструментальных средств и могут быть использованы финансовыми учреждениями, органами регионального управления, разработчиками информационно-аналитических систем для поддержки принятия управленческих решений на различных уровнях социальной, экономической и административной деятельности.

Предложенные методы, алгоритмы, модели и программы апробированы на реальных экономических временных рядах и оправдали себя. Их корректность и адекватность подтверждаются расчетами на конкретных данных котировки акций российских компаний: «Сбербанк», «Ростелеком», «РАО ЕЭС» и «Сибнефть».

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается применением: системного анализа, математических и инструментальных методов экономики, включая статистику, прогностику и методы агрегирования; построением информационных моделей, включая проверенные практикой методы экспертных систем; известных методов теории нечетких множеств и теории клеточных автоматов; построением экономико-математических моделей, реализующих методы анализа и прогнозирования на базе современных информационных технологий; наглядной визуализацией результатов моделирования, анализа и прогнозирования; документальным характером использованных данных по объектам приложений разработанных моделей и методов.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Концепция предпрогнозного исследования экономических временных рядов с памятью, реализуемая на базе инструментария фрактального анализа и теории нечетких множеств.
2. Адаптация методов предпрогнозного анализа временных рядов котировки акций на базе их агрегирования и методов фрактального анализа.
3. Предпрогнозный анализ временных рядов котировки акций на базе фазовых портретов и агрегирования этих рядов.
4. Адаптация известной клеточно-автоматной прогнозной модели для прогнозирования временных рядов котировки акций.
5. Комбинированный подход к построению, визуализации и совместному использованию фазовых портретов и R/S- анализа временных рядов для получения дополнительной прогнозной информации.

Апробация и внедрение результатов исследования. Результаты исследования и его положения докладывались и получили положительную оценку на следующих конференциях и симпозиумах, проводимых различными академическими учреждениями и высшими учебными заведениями России:

- на VII Международном симпозиуме «Математическое моделирование и компьютерные технологии» (Кисловодск, 2005);

- на XIII Международной научно-практической конференции «Математика. Экономика. Образование» (Ростов-на-Дону, 2005);

- на VI Международной научно-практической конференции «Математическое моделирование в образовании, науке и производстве» (Тирасполь, 2005);

- на II Международной конференции «Нелокальные краевые задачи и родственные проблемы математической биологии, информатики и физики» (Нальчик, 2001);

- на I Региональной научно-практической конференции «Теория и практика экономических реформ: Проблемы и перспективы» (Черкесск, 1998);

- на II Региональной научно-практической конференции «Региональная экономика, управление и право» (Черкесск, 1999).

Результаты исследования, отдельные положения и рекомендации получили принципиальное одобрение Министерства экономики КЧР. Отдельные рекомендации, вытекающие из диссертации, приняты к внедрению в акционерном коммерческом банке «Кавказ-Гелиос». Разработанные модели фрактального

анализа и прогнозирования включены в лекционный материал дисциплины «Экономическая кибернетика» для студентов специальности «Прикладная математика» Карачаево-Черкесской государственной технологической академии.

Публикации. Основные результаты диссертации были опубликованы в 10 печатных работах общим объемом 3,38 п.л., в которых автору в совокупности принадлежит 2,9 п.л.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулирована цель и задачи работы, описана структура работы, изложены основные научные результаты, выносимые на защиту.

В главе 1 «Анализ основных принципов существующих методов прогнозирования» исследуется фондовый рынок ценных бумаг, который является индикатором состояния современной экономики. При этом основными целями на российском рынке ценных бумаг являются становление и закрепление отношений собственности. Участниками фондового рынка могут быть как государство, так и биржевые компании, являющиеся организаторами торговли ценными бумагами, валютой, товарами и т.д. Выпуск ценных бумаг необходим тогда, когда государство или другие производители материальных ценностей нуждаются в дополнительном капитале. В России наиболее известны биржи: Московская межбанковская валютная биржа (ММВБ), а также Самарская межбанковская валютная биржа, Нижегородская Валютно-фондовая биржа, Азиатско-Тихоокеанская межбанковская валютная биржа (Владивосток), Ростовская Валютно-фондовая биржа, Уральская региональная валютная биржа, Сибирская межбанковская валютная биржа (Новосибирск), Российская торговая система (РТС) и др. ММВБ является одной из крупнейших бирж, на ней торгуется более 200 видов различных ценных бумаг крупных компаний, которые расположены во всех регионах России, а также государственные ценные бумаги. ММВБ активно сотрудничает с международными организациями профессиональных участников финансового рынка и поддерживает контакты с Международной ассоциацией фондовых бирж (FIBV), Федерацией европейских фондовых бирж (FESE), Федерацией евро-азиатских фондовых бирж (FEAS), Ассоциацией уча-

стников международных фондовых рынков (ISMA) и другими. В этой главе раскрыта неопределенность котировки акций рынка ценных бумаг и проблема прогнозирования его показателей. Теория эффективности рынка утверждает, что в рыночной цене бумаг верно и почти без задержки отражается вся известная информация и все ожидания участников рынка. Согласно этой теории, постоянно обыгрывать рынок невозможно, потому что поступление новой информации носит случайный характер, а реакция рынка на нее почти мгновенна. Следовательно, в любой момент времени все бумаги оценены рынком совершенно точно. Поэтому, как гласит теория, бумаги не могут быть переоценены или недооценены достаточно долго для того, чтобы можно было извлечь из этого прибыль. Фондовый рынок нуждается в прогнозировании показателей рынка ценных бумаг. Сделан обзор классических и современных подходов к прогнозированию показателей рынка ценных бумаг. Приведена классификация методов прогнозирования и определены основные их недостатки. Результатом этого обоснования является постановка задачи исследования.

Представлены основные идеи и принципы фундаментального и технического анализа для прогнозирования показателя рынка ценных бумаг. Фундаментальный анализ основан на статистических методах прогнозирования. Здесь возникают 2 проблемы: 1) необходимость наличия представительного объема статистических данных о процессах изменения параметров, что приводит к трудоемкости процесса прогнозирования, 2) статистические методы прогнозирования базируются на вероятностном подходе, т.е. основным условием адекватности этих методов является подчинение временных рядов нормальному закону распределения. Технический анализ состоит в изучении прошлых цен с целью определения вероятного направления их развития в будущем. Недостатком технического анализа, основанного на графическом анализе линий тренда, является его механический характер.

Современные методы (искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы) позволяют решать задачи прогнозирования, классификации, поиска оптимальных вариантов, и совершенно незаменимы в тех случаях, когда в обычных условиях решение задачи основано на интуиции или опыте, а не на строгом (в математическом смысле) ее описании. Важным недостатком этих методов является сложность для понимания и программной реализации.

В ходе исследований сделаны выводы о качестве возможностей классических методов прогнозирования и раскрыты причины их низкой эффективности для прогнозирования котировок акций на рынке ценных бумаг. Показана целесообразность использования инструментария нелинейной динамики (клеточные автоматы и фазовые портреты) для анализа и эффективного прогнозирования показателей рынка ценных бумаг.

В главе 2 «Фрактальный анализ исходных и агрегированных временных рядов котировки акций» инструментарий фрактального анализа адаптируется к специфике рассматриваемых экономических временных рядов котировок акций. Указанная адаптация осуществлена с главной целью - улучшить предпрогнозные характеристики этих временных рядов.

Необходимость указанного улучшения предпрогнозных характеристик обусловлена тем, что в результате применения неадаптированных методов фрактального анализа выявилось фактическое отсутствие трендоустойчивости рассматриваемых временных рядов. Фрактальный анализ временных рядов котировки акций осуществлен путем использования метода последовательного R/S - анализа, вычислительная схема которого состоит в следующем.

Обозначим через Z представленный временной ряд

$$Z = (z_t), \quad t = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

в котором последовательно выделяем его начальные отрезки $Z_\tau = z_1, z_2, \dots, z_\tau$, $\tau = 3, 4, \dots, n$, для каждого из которых вычисляем текущее среднее $\bar{z}_\tau = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} z_i$. Далее для каждого фиксированного τ , $\tau = 3, 4, \dots, n$ вычисляем накопленное отклонение для его отрезков длины t : $X_{t,\tau} = \sum_{i=1}^t (z_i - \bar{z}_\tau)$, $t = \overline{1, \tau}$. После чего вычисляем разность между максимальным и минимальным накопленными отклонениями $R = R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} (X_{t,\tau}) - \min_{1 \leq t \leq \tau} (X_{t,\tau})$ которую принято называть термином "размах R ". Этот размах нормируется, т.е. представляется в виде дроби R/S , где $S = S(\tau)$ - стандартное отклонение для отрезка временного ряда Z_τ , $3 \leq \tau \leq n$.

Показатель Херста $H = H(\tau)$, характеризующий фрактальную размерность рассматриваемого ВР и соответствующий ему цвет шума, получаем из соотношения $R/S = (a \tau)^H$, $H = H(\tau)$ Логарифмируя обе части этого равенства и полагая $a = 1/2$, получаем значения декартовых координат (x_τ, y_τ) точек H -

траектории, ординаты которых $y_\tau = H(\tau) = \frac{\log(R(\tau)/S(\tau))}{\log(\tau/2)}$ и абсциссы $x_\tau = \tau$, $\tau = 3, 4, \dots, n$.

Полученная в результате фрактального анализа R/S - траектория представляется в логарифмических координатах последовательностью точек, абсциссы которых $x_\tau = \log(\tau/2)$, а ординаты $y'_\tau = \log(R(\tau)/S(\tau))$. Соединяя отрезком соседние точки (x_τ, y'_τ) и $(x_{\tau+1}, y'_{\tau+1})$, $\tau = 3, 4, \dots, n-1$, получаем графическое представление R/S - траектории (H -траектории) в логарифмических координатах.

В результате применения представленного выше метода последовательного R/S - анализа для каждого из рассматриваемых временных рядов котировки акций $X^1 = \langle x_i^1 \rangle$, $i = \overline{1, n}$ - «РАО ЕЭС», $X^2 = \langle x_i^2 \rangle$, $i = \overline{1, n}$ - «Сбербанк», $X^3 = \langle x_i^3 \rangle$, $i = \overline{1, n}$ - «Сибнефть», $X^4 = \langle x_i^4 \rangle$, $i = \overline{1, n}$ - «Ростелеком» получены нечеткие множества (НМ) глубины памяти $L(X^k) = \{(l; \mu(l))\}$, где l - глубина памяти на каждом отрезке временного ряда, $\mu(l)$ - значения функции принадлежности «глубины l » нечеткому множеству $L(X^k)$, $k = \overline{1, 4}$. Нечеткие множества глубины памяти этих временных рядов:

$$L(X^1) = \{(l; \mu(l))\} = \{(3; 0,9), (4; 0,66), (5; 0,26), (6; 0,26), (7; 0,05), (8; 0,02), (9; 0,05), (10; 0,02)\}, \quad (2)$$

$$L(X^2) = \{(3; 0,9), (4; 0,54), (5; 0,20), (6; 0,18), (7; 0,04), (8; 0,02), (10; 0,02)\}, \quad (3)$$

$$L(X^3) = \{(3; 0,9), (4; 0,71), (5; 0,28), (6; 0,19), (7; 0,02), (8; 0,07), (9; 0,02)\}, \quad (4)$$

$$L(X^4) = \{(3; 0,9), (4; 0,87), (5; 0,44), (6; 0,29), (7; 0,15), (8; 0,03)\}, \quad (5)$$

каждое из которых гласит о весьма низкой трендоустойчивости этих временных рядов в силу того, что в каждом из этих нечетких множеств максимальное значение функции принадлежности $\mu(l)$ достигается для минимально возможной глубины памяти $l = 3$: $\mu(l) = \max \mu(l)$.

В качестве основной идеи улучшения предпрогнозных характеристик рассматриваемых временных рядов в диссертации предложено и реализовано следующий метод агрегирования временных рядов. Сначала выбирается конкретное целое число $q \geq 2$ и рассматриваемый временной ряд $Z^k = \langle z_i^k \rangle$, $i = \overline{1, n}$ разбивается на $\hat{n} = \left\lfloor \frac{n}{q} \right\rfloor$ следующих друг за другом интервалов (отрезков) $Z_j^k(q)$,

$j = \overline{1, \hat{n}}$. После чего вычисляются максимумы $\hat{z}_j^k = \max_{i \in T^j(t)} z_j^k$, $j = \overline{1, \hat{n}}$, которые и представляют собой соответствующие уровни нового временного ряда $\hat{Z}^k = \langle \hat{z}_j^k \rangle$, $j = \overline{1, \hat{n}}$, $1 \leq k \leq 4$. В этой процедуре агрегирования число q называем термином «интервал агрегирования».

Реализуя агрегирование временных рядов (2)–(5) с интервалом $q = 5$ получаем новые временные ряды:

$$\hat{X}^1 = \langle \hat{x}_i^1 \rangle, \quad i = \overline{1, \hat{n}}, \quad (6)$$

$$\hat{X}^2 = \langle \hat{x}_i^2 \rangle, \quad i = \overline{1, \hat{n}}, \quad (7)$$

$$\hat{X}^3 = \langle \hat{x}_i^3 \rangle, \quad i = \overline{1, \hat{n}}, \quad (8)$$

$$\hat{X}^4 = \langle \hat{x}_i^4 \rangle, \quad i = \overline{1, \hat{n}}. \quad (9)$$

В результате применения метода последовательного R/S - анализа к временным рядам (6)–(9) получены следующие нечеткие множества глубины памяти этих временных рядов:

$$I(\hat{X}^1) = \{(3; 0,9), (4; 0,77), (5; 0,38), (6; 0,23), (7; 0,13), (8; 0,02), (9; 0,02), (10; 0,05)\}, \quad (10)$$

$$L(\hat{X}^2) = \{(3; 0,9), (4; 0,73), (5; 0,40), (6; 0,23), (7; 0,21), (8; 0,09), (9; 0,08)\}, \quad (11)$$

$$L(\hat{X}^3) = \{(3; 0,9), (4; 0,74), (5; 0,46), (6; 0,21), (7; 0,21), (8; 0,09), (9; 0,04)\}, \quad (12)$$

$$L(\hat{X}^4) = \{(3; 0,9), (4; 0,86), (5; 0,49), (6; 0,29), (7; 0,27), (8; 0,12)\} \quad (13)$$

Из анализа этих нечетких множеств вытекает, что прогнозные характеристики агрегированных с интервалом $q = 5$ временных рядов (6)–(9) (в первую очередь характеристика трендоустойчивости) остаются столь же неудовлетворительными, как и предпрогнозные характеристики исходных неагрегированных временных рядов (2)–(5).

При повторном агрегировании с интервалом $q = 10$ исходные временные ряды (2)–(5) преобразованы соответственно во временные ряды:

$$\tilde{X}^1 = \langle \tilde{x}_i^1 \rangle, \quad i = \overline{1, \tilde{n}}, \quad (14)$$

$$\tilde{X}^2 = \langle \tilde{x}_i^2 \rangle, \quad i = \overline{1, \tilde{n}}, \quad (15)$$

$$\tilde{X}^3 = \langle \tilde{x}_i^3 \rangle, \quad i = \overline{1, \tilde{n}}, \quad (16)$$

$$\tilde{X}^4 = \langle \tilde{x}_i^4 \rangle, \quad i = \overline{1, \tilde{n}}. \quad (17)$$

В результате применения метода последовательного R/S - анализа к временным рядам (14)–(17) получены следующие нечеткие множества глубины памяти этих временных рядов

$$L(\tilde{X}^1) = \{(3; 0,28), (4; 0,9), (5; 0,33), (6; 0,42), (7; 0,47), (8; 0,03)\}, \quad (18)$$

$$L(\tilde{X}^2) = \{(3; 0,25), (4; 0,9), (5; 0,46), (6; 0,37), (7; 0,22), (8; 0,03)\}, \quad (19)$$

$$L(\tilde{X}^3) = \{(3; 0,25), (4; 0,9), (5; 0,63), (6; 0,34), (7; 0,27), (8; 0,07), (9; 0,03), (10; 0,03)\}, \quad (20)$$

$$L(\tilde{X}^4) = \{(3; 0,23), (4; 0,9), (5; 0,84), (6; 0,56), (7; 0,47), (8; 0,09), (9; 0,04)\}, \quad (21)$$

графическое представление которых дано на рис. 1.

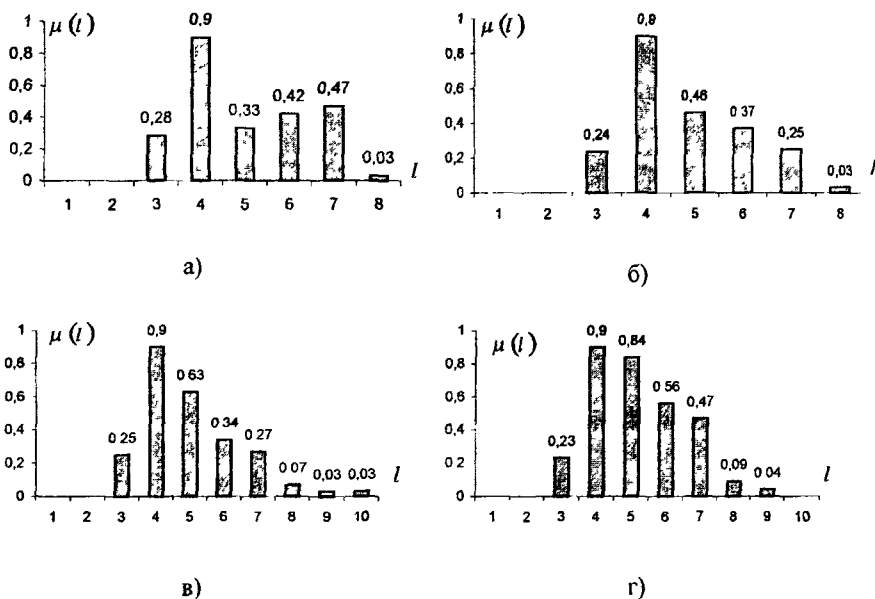


Рисунок 1 – Графическое представление нечеткого множества для агрегированных временных рядов: а) \tilde{X}^1 – «РАО ЕЭС», б) \tilde{X}^2 – «Сбербанк», в) \tilde{X}^3 – «Сибнефть», г) \tilde{X}^4 – «Ростелеком»

На основании полученных выше результатов появляется возможность предположить следующее правило для верхней оценки максимального интервала агрегирования временных рядов: интервал агрегирования следует считать недопустимо большим, если его использование приводит к существенным изменениям статистических показателей временных рядов, получаемых на выходе процедуры агрегирования.

Основной вывод для главы 2: в отличие от нечетких множеств (2)-(5) для исходных (неагрегированных) временных рядов и нечетких множеств (10)-(13) для временных рядов с интервалом агрегирования $q = 5$ полученные для интервала агрегирования нечеткие множества (18)-(21) демонстрируют существенное улучшение предпрогнозных характеристик, в первую очередь характеристику трендоустойчивости в силу того, что для минимально возможной глубины памяти $l = 3$ величина функции принадлежности является незначительной. При этом в каждом нечетком множестве на рис.1 (а,б,в,г) выполняется соотношение $\mu(3) < \min(\mu(4), \mu(5), \mu(6), \mu(7))$.

В главе 3 «Предпрогнозный анализ временных рядов котировки акций на базе фазовых портретов и агрегирования» с целью получения дополнительной прогнозной информации о динамике исходных и агрегированных временных рядов использован фазовый анализ, состоящий в построении фазовых портретов этих ВР с последующим разложением их на квазициклы.

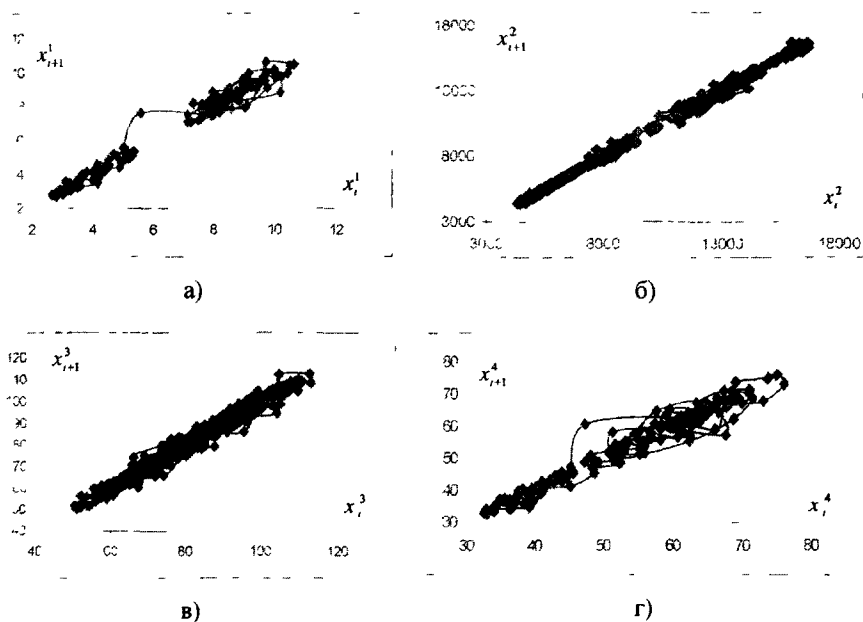


Рисунок 2 – Фазовые портреты исходных временных рядов а) X^1 – «РАО ЕЭС», б) X^2 – «Сбербанк», в) X^3 – «Сибнефть», г) X^4 – «Ростелеком»

Построение фазового портрета осуществлено в фазовом пространстве размерности $\rho = 2$, т.е. для ВР $X^k = \langle x^k \rangle$, $k = \overline{1,4}$, $i = \overline{1,n}$ фазовые портреты определяются в декартовых координатах множеством точек $\Phi_i(X^k) = \{(x^k, x_{i+1}^k)\}$, $i = \overline{1,2,\dots,n-1}$, $k = \overline{1,4}$. Фазовые портреты исходных временных рядов котировки акций представлены на рис.2.

Для каждого из представленных на рис.2 фазовых портретов осуществлено разложение его на квазициклы. На рис.3 представлены типичные квазициклы, составляющие большинство в указанных разложениях. Характерной особенностью этих квазициклов является то, что в значительной доле звеньев всей траектории фазового портрета они содержат такие пары соседних звеньев, которые имеют противоположное направление вращения. Вторая особенность рассматриваемых фазовых портретов состоит в том, что они содержат такие достаточно продолжительные отрезки траектории, в которых отсутствует цикличность. Аналогичные характеристики присущи и каждому фазовому портрету $\Phi_i(\hat{X}^k)$, $k = \overline{1,4}$, построенному для каждого агрегированного временного ряда (6)-(9) с интервалом $q = 5$.

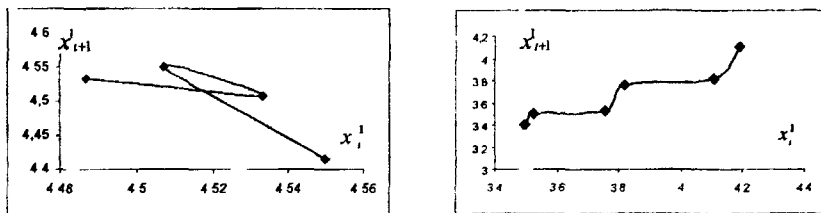


Рисунок 3 – Типичные квазициклы для фазовых портретов $\Phi(X^k)$ временных рядов X^k

На рис.4 представлены фазовые портреты $\Phi_i(\bar{X}^k)$, $k = \overline{1,4}$, агрегированных с интервалом $q = 10$ временных рядов (14)–(17). В результате разложения этих фазовых портретов на квазициклы выяснилось, что они характеризуются достаточно хорошими предпрогнозными свойствами. На рис 5 изображены квазициклы, которые являются типичными для фазовых портретов временных рядов, агрегированных с интервалом $q = 10$.

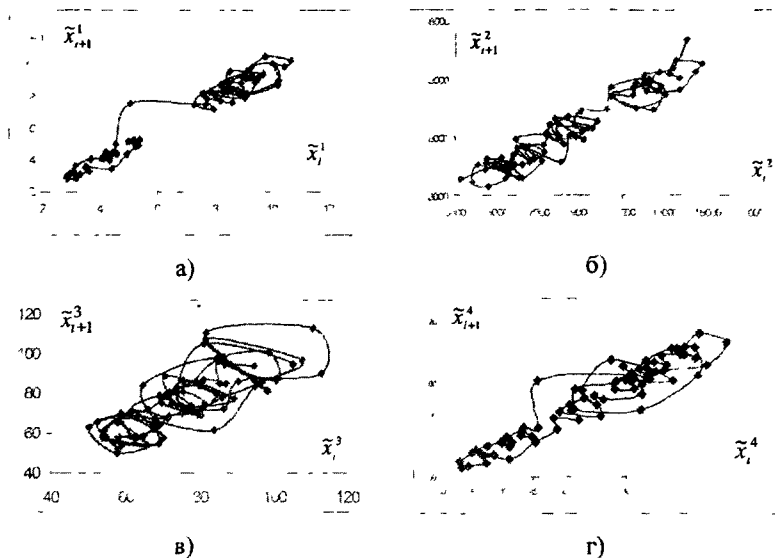


Рисунок 4 – Фазовые портреты агрегированных временных рядов: а) \tilde{X}^1 – «РАО ЕЭС», б) \tilde{X}^2 – «Сбербанк», в) \tilde{X}^3 – «Сибнефть», г) \tilde{X}^4 – «Ростелеком»

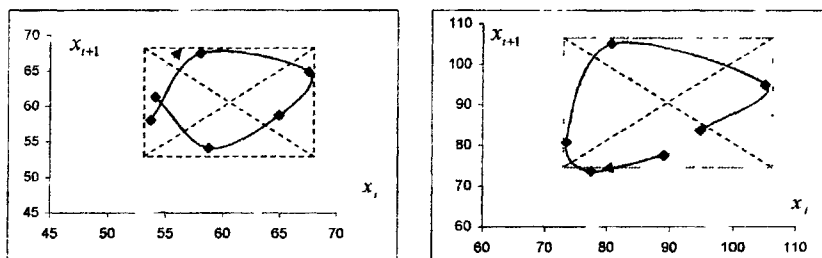


Рисунок 5 – Типичные квазициклы фазовых портретов $\Phi(\tilde{X}^k)$, $k = \overline{1,4}$, временных рядов, агрегированных с интервалом $q = 10$

Таким образом, результаты фазового анализа подтверждают, что использование процедуры агрегирования временных рядов существенным образом улучшает их прогнозные характеристики.

В главе 4 «Адаптация клеточно-автоматной прогнозной модели для временных рядов котировки акций» в качестве исследуемого экономического процесса рассмотрена динамика котировки акций «РАО ЕЭС», «Ростелеком», «Сбербанк», «Сибнефть».

Ввиду сложности нелинейных взаимодействий элементов экономических

показателей не все типы экономико-математических методов и моделей в состоянии формировать достоверный прогноз, поэтому целесообразно использовать нелинейно-динамический подход, основой которого является учет внутренних особенностей системы, а не статистические методы, в которых все факторы полагаются случайными или неопределенными.

В главе представлена математическая модель и метод для прогнозирования временных рядов котировки акций, обладающие долговременной памятью. Исследования проводились с использованием инструментария линейных клеточных автоматов и теории нечетких множеств. Алгоритм прогнозирования на базе клеточного автомата реализуется в системном единстве с процессом моделирования долговременной памяти и завершается получением прогноза, включая валидацию (оценивание погрешности результата). Алгоритм его реализации состоит из следующих шести этапов.

Этап 1. Использование статистических методов и визуализация для предварительного анализа данного временного ряда на предмет выявления наличия или отсутствия тяжелых хвостов, трендов, циклических или сезонных компонент и др.

Этап 2 Фрактальный анализ данного временного ряда с целью установления в нем долговременной памяти, включая оценку ее глубины, а также выявления в поведении временного ряда таких характеристик и тенденций, как трендоустойчивость или, наоборот, хаотичность, персистентность или антиперсистентность. Вычислительная часть фрактального анализа базируется на алгоритме R/S- анализа. Оценки, получаемые на выходе этого этапа, имеют числовую природу: наиболее адекватным является их представление в терминах и понятиях нечетких множеств.

Этап 3 Преобразование данного временного ряда в лингвистический временной ряд (ЛВР) с целью обеспечить возможность применить квазигенетический алгоритм, работающий с комбинаторными конфигурациями, составляющими собой структуру лингвистического временного ряда и его термножество U .

Этап 4 Построение определяемой данным лингвистическим временным рядом генетической памяти клеточного автомата состоит из подэтапов:

- формирование множества M всех l -конфигураций, содержащих в полученном ЛВР, $l = 1, 2, \dots, L$, где L - глубина памяти этого ЛВР,

- вычисление частот и частостей переходов l - конфигураций из M в состояния-термы из U .

Этап 5 Формирование прогноза для рассматриваемых ВР и ЛВР путем реализации «мягких вычислений» на базе построенной памяти клеточного автомата:

- получение прогноза в виде нечеткого лингвистического множества;
- преобразование этого множества в числовое нечеткое множество, которое при необходимости с помощью процедуры дефазификации можно перевести в четкий числовой прогноз.

Этап 6 Валидация, т.е. оценка погрешности полученного прогноза для рассматриваемых временных рядов и ЛВР.

Все этапы предлагаемой прогнозной модели были осуществлены на агрегированных временных рядах двухнедельных показателей котировки акций российских компаний «РАО ЕЭС», «Сбербанк», «Ростелеком» и «Сибнефть».

Одной из целей исследований, предпринятых в главе 4, является получение оценок точности и надежности используемой прогнозной модели. Полученный здесь результат состоит в том, что для числового прогноза отклонение от реальных значений в среднем не превысила 10% в худшем случае. Особо отметим, что оценка является результатом авторской адаптации известных вычислительных схем клеточно-автоматной прогнозной модели к специфике временных рядов котировки акций российских компаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, полученные в ходе исследований можно представить в виде следующего перечня:

1. Проведен анализ основных принципов существующих подходов к прогнозированию временных рядов, осуществлено обоснование факта ограниченной применимости классических методов прогнозирования для экономических временных рядов с памятью.

2. Сформулирована и развита авторская концепция агрегирования экономических временных рядов для получения предпрогнозной информации методами нелинейной динамики и теории хаоса, в частности, фрактального анализа временных рядов, базирующейся на выявлении таких фундаментальных характеристик, как глубина памяти, наличие свойства персистентности и наличия

(или отсутствия) свойства трендоучтойчивости.

3. Выполнен предпрогнозный анализ временных рядов котировки акций на базе фазовых портретов и агрегирования этих рядов, в результате чего выявлена эффективность использования процедуры агрегирования.

4. Осуществлена адаптация вычислительной схемы этапов известной клеточно-автоматной прогнозной модели для прогнозирования временных рядов котировки акций.

5. Для получения дополнительной прогнозной информации предложено совместное использование R/S-анализа, клеточно-автоматной прогнозной модели и фазовых портретов.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ НАУЧНЫХ РАБОТАХ

1. Беляков С.С. Алгоритм перечисления всех вариантов нечетких множеств глубины памяти // Материалы первой научно-практической конференции аспирантов и студентов КЧГИ «Теория и практика экономических реформ: Проблемы и перспективы» – Черкесск: РИО КЧГИ, 1998. – С.57-60. – 0,16 п.л.
2. Беляков С.С. О возможности получать прогнозные знания из остаточной нерегулярной компоненты временных рядов с памятью // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Проблемы регионального управления, экономики, права и инновационных процессов в образовании», Таганрог, 8-10 сентября 2004 г. – Таганрог: Изд-во ТИУиЭ, 2004. – С.21-27. – 0,3 п.л.
3. Перепелица В.А. Овчаренко Н.Ф. Беляков С.С. Фрактальный анализ временных рядов инвестиций в основной капитал региона // «Современные наукоемкие технологии» – Иваново: ГОУ СПО Ивановского энергоколледжа, 2004. – №2. – С.19-26. – 0,33 п.л. (в т.ч. авт.0,22)
4. Тебуева Ф.Б. Овчаренко Н.Ф. Беляков С.С. Сравнительный фрактальный анализ экономических временных рядов с долговременной памятью // Материалы VI Международной конференции «Математическое моделирование в образовании, науке и производстве», г.Тирасполь, 5-9 июня 2005 г. – Тирасполь: РИО ПГУ, 2005. – С.105-109. – 0,21п.л. (в т.ч. авт. 0,14)
5. Тебуева Ф.Б. Овчаренко Н.Ф. Беляков С.С. Сравнительный R/S- анализ экономических временных рядов // Материалы XIII международной

№17600

2006-4

16778

3
конференции «Математика. Экономика. Образование», г. Ростов-на-Дону, 29 мая- 5 июня 2005 г. – Ростов-на-Дону, 2005. – С.192-195. – 0,16 п.л.(в т.ч. авт. 0,1)

6. Тебуева Ф.Б. Овчаренко Н.Ф. Беляков С.С. Разложение фазового портрета на квазициклы временного ряда инвестиций в основной капитал / Сб.научных трудов VII Всероссийского симпозиума «Математическое моделирование и компьютерные технологии», г. Кисловодск, 20-22 апреля 2004. – Кисловодск: Изд.центр КИЭП, 2005. – С.6-12. – 0,29 п.ч.(в т.ч. авт. 0,18)
7. Тебуева Ф.Б. Овчаренко Н.Ф. Беляков С.С. Сравнительный фрактальный анализ временного ряда «Всего налоговых поступлений» и временного ряда «Выпуск продукции и услуг» // Материалы 1-го международного форума «Актуальные проблемы современной науки», г. Самара, 1-3 июня 2005. – Самара, 2005. – С.95-99. – 0,21 п.л. (в т.ч. авт. 0,14)
8. Тебуева Ф.Б. Овчаренко Н.Ф. Беляков С.С. Выявление фрактальных характеристик для процесса прогнозирования временных рядов налоговых поступлений // Материалы Международной конференции «Математическое моделирование социально-экономических процессов», Дубай, 11-18 марта 2005 г., Дубай, 2005. – С. 102-105. – 0,16 п.л. (в т.ч. авт. 0,1)
9. Беляков С.С. Исключение тренда из временного ряда и программа вычисления фрактальной размерности // Тезисы докладов II –й Международной конференции «Нелокальные краевые задачи и родственные проблемы математической биологии, информатики и физики».- Нальчик: Изд-во НИИ ПМА КБНЦ РАН, 2001. – С. 15-18. – 0,16 п.л.
10. Беляков С.С. Фрактальный анализ временных рядов котировки акций на базе агрегирования. Деп. в ВИНТИ, 2005.– 35 с, № 3617 – 1398 от 09.04.2005. – 1,4 п.л.

404

Оригинал-макет подготовлен в множительно-полиграфическом участке КЧГТА
Сдано в набор 15.09.2005. Подписано в печать 16.09.2005 Формат 60x84/ 16
Бумага офсетная Гарнитура Таймс Печать офсетная Усл печ л 1,4 Заказ № 00224
Тираж 100 экз.

Множительно-полиграфический участок КЧГТА
г Черкесск, ул Ставропольская, 36