

На правах рукописи

Митяков Евгений Сергеевич

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ
ИНДИКАТОРОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Специальность 08.00.13 – Математические и инструментальные
методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Нижний Новгород – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» на кафедре экономической информатики

Научный руководитель: Заслуженный работник высшей школы РФ,
доктор экономических наук, профессор
Трифонов Юрий Васильевич

Официальные оппоненты: Сенчагов Вячеслав Константинович,
Заслуженный экономист России,
доктор экономических наук, профессор,
Институт экономики РАН, руководитель
Центра финансовых исследований

Кузнецов Юрий Алексеевич
доктор физико-математических наук,
профессор, ФГБОУ ВПО «ННГУ им.
Н.И. Лобачевского», заведующей кафедрой
«Математическое моделирование
экономических систем»

Ведущая организация: Нижегородский филиал ФГАОУ ВПО
«Национальный исследовательский
университет «Высшая школа экономики»

Защита состоится 10 мая 2012 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.166.03 при ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» по адресу 603000, Н.Новгород, ул. Б. Покровская, д. 60, экономический факультет, ауд. 512.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке ННГУ им. Н.И. Лобачевского по адресу 603095, Нижний Новгород, проспект Гагарина, д. 23, корп. 1.

Автореферат разослан 9 апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Лебедев Юрий Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время, наряду с позитивными тенденциями в социально-экономическом развитии, страна постоянно сталкивается с проблемами и угрозами, вероятность которых в последние годы возрастает. К ним относятся высокая зависимость от мировых цен на энергоносители, значительный импорт продовольствия, высокий износ основных фондов, низкая инновационная активность предприятий и др.

Экономическая безопасность в настоящее время является одним из наиболее динамично развивающихся разделов экономики. Экономика, как наиболее сложная система, имеет много показателей, характеризующих ее состояние. В официальных таблицах прогноза социально-экономического развития России содержится более 300 показателей. Институтом экономики РАН разработана система 32 индикаторов экономической безопасности России и обоснованы их пороговые значения. Анализ динамики этих индикаторов позволяет делать выводы о состоянии и основных тенденциях социально-экономического развития страны. Важным свойством индикаторов является их взаимодействие, которое становится особенно ощутимым при определенных условиях нарастания опасности.

В получении аналитической информации и прогнозов поведения индикаторов экономической безопасности заинтересованы органы власти различных уровней, государственные институты, предприятия и организации, поскольку эта информация является ключевой при принятии решений в условиях нарастания угроз. Сложность прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности обусловлена тем, что со временем меняются не только количественные параметры взаимодействий между основными индикаторами, но и сам характер этих взаимодействий. Это обуславливает целесообразность разработки и развития математических методов анализа и прогнозирования поведения основных индикаторов экономической безопасности и определяет актуальность данного исследования.

Степень разработанности проблемы. В последнее время в научной литературе наблюдается рост числа исследований, посвященных экономической безопасности социально-экономических систем. Среди них можно выделить работы Л. Абалкина, И. Богданова, С. Волкова, С. Глазьева, И. Долматова, Н. Дюженковой, Н. Красникова, А. Куклина, С. Курдюмова, Г. Мекуша, Б. Мильнера, Е. Олейникова, В. Павлова, В. Сальникова, В. Сенчагова, О. Тарана, А. Татаркина, О. Филеткина, Ю. Яковца, С. Яшина и др.

Большое число научных исследований посвящено проблемам экономического прогнозирования. Среди них можно выделить работы А. Аганбегяна, И. Бесстужева-Лады, А. Викторова, В. Глушкова, А. Гранберга, К. Доугорти, А. Дубровой, Ю. Ефимычева, В. Ивантера, М. Кендалла, Н. Комкова, Д. Корнилова, Д. Львова, У.К. Паррамоу, А. Плехановой, Н. Полякова, И. Ромашовой,

В. Селина, Г. Серебрякова, А. Стьюарта, Дж. Терри, Р. Томаса, Ю. Трифонова, М. Узякова, Ф. Юрлова и др.

Значительное количество научных работ посвящено математическому моделированию и прогнозированию поведения социально-экономических систем. Среди авторов этих моделей можно выделить С. Айвазяна, А. Акаева, И. Антоновой, В. Арнольда, Дж. Бокса, В. Вайдлиха, А. Варшавского, Г. Дженкинса, Л. Канторовича, М. Красса, В. Леонтьева, Ю. Лукашина, В. Макарова, Б. Мандельброта, Д. Медоуза, Н. Моисеева, В. Мхитаряна, Э. Петерса, А. Прасолова, В. Садовничева, Э. Тихонова, Дж. Форрестера и др. Эти модели рассматривают эволюционные процессы, волновую динамику, структурную динамику, акцентируют внимание на проблематике жизненных циклов различных объектов, теории катастроф, хаоса, принятия решений и т.д. Существующие математические модели анализа поведения параметров социально-экономических систем во многих случаях используют аппарат корреляционно-регрессионного анализа. Кроме того, используются многомерные матричные методы, основанные на анализе межотраслевых связей.

Признавая вклад упомянутых ученых, следует отметить, что в данных исследованиях не достаточно представлены математические методы и модели, адаптированные к системе экономической безопасности. Существующие методы не всегда дают адекватные результаты в условиях неопределенности и не позволяют быстро реагировать на изменения взаимодействия между параметрами системы, что затрудняет их использование при анализе и прогнозировании поведения индикаторов экономической безопасности. Это обусловило выбор темы исследования, формулировку его цели и задач.

Область исследования соответствует требованиям паспорта специальностей ВАК 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики: п. 1.5 «Разработка и развитие математических методов и моделей глобальной экономики, межотраслевого, межрегионального и межстранового социально-экономического анализа, построение интегральных социально-экономических индикаторов», п. 1.8 «Математическое моделирование экономической конъюнктуры, деловой активности, определение трендов, циклов и тенденций развития».

Целью диссертационной работы является разработка и верификация математических методов анализа и прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности.

В соответствии с обозначенной целью поставлены следующие **задачи диссертационного исследования**:

- обобщить существующие математические методы и модели анализа и прогнозирования экономической динамики и выделить класс методов, предназначенных для анализа и прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности;

- разработать концептуальные основы и практический инструментарий оперативного и стратегического анализа и прогнозирования индикаторов экономической безопасности, включая математические методы, модели, методики и алгоритмы;
- провести апробацию разработанного инструментария на конкретных системах индикаторов экономической безопасности.

Объектом исследования является система индикаторов экономической безопасности страны и региона.

Предметом исследования являются математические методы анализа и прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности.

Методологической основой работы служат труды отечественных и зарубежных авторов в области математического моделирования, анализа и прогнозирования поведения социально-экономических систем.

Информационную базу исследования составили данные периодической печати, Росстата, аналитические, обзорные и справочные материалы.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

1. Выделен класс математических методов, предназначенных для анализа и прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности, в которых, в отличие от существующих методов, требующих анализа многочисленных взаимосвязей между параметрами системы, основной задачей является анализ тенденций поведения индикаторов экономической безопасности и своевременное выявление угроз. Указанные методы систематизированы по ряду критериев: размеру объекта, учету фактора времени, горизонту анализа и прогнозирования, степени агрегирования, наличию пороговых значений индикаторов, используемым разделам математики, наличию временного лага, уровню неопределенности, степени взаимодействия между параметрами системы, наличию внешних воздействий.

2. Предложена методика приведения индикаторов экономической безопасности к безразмерному виду для различных моделей анализа их поведения. Первая модель использует информацию базового и текущего периодов для определения тенденций поведения индикаторов и степени саморазвития исследуемого объекта. Вторая модель основывается на сравнительном анализе индикаторов экономической безопасности различных социально-экономических систем. Третья модель позволяет определить степень удаления соответствующего индикатора от его порогового уровня. Методика предполагает применение нелинейных нормирующих функций различного вида и используется при построении интегральных индикаторов экономической безопасности.

3. Разработан метод моделирования динамики индикаторов экономической безопасности. Алгоритм метода включает: определение цели и задач исследования; выбор системы индикаторов; сбор данных и анализ натуральных показателей; их нормировку в соответствии с выбранной моделью мониторинга; агрегирование их в интегральные индексы, позволяющие проводить анализ тенден-

ций изменения различных составляющих системы экономической безопасности; прогнозирование поведения индексов экономической безопасности в среднесрочном периоде. Метод позволяет решать задачи анализа и прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности различной степени агрегирования: натуральных индикаторов, интегральных индексов по отдельным составляющим системы экономической безопасности, обобщенным индексам.

4. Разработан адаптивный алгоритм идентификации параметров системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику интегральных индексов системы экономической безопасности и позволяющих анализировать их совместную динамику. Использование методов аппроксимации и Фурье-анализа позволяет выявлять взаимосвязи между параметрами системы, обеспечивая при этом допустимое расхождение экспериментальных и модельных значений индексов. Использование механизма адаптации позволяет прогнозировать поведение интегральных индексов системы с допустимой ошибкой прогноза.

5. Обоснована целесообразность применения методов адаптивной фильтрации и фрактального анализа для оценки параметров макроэкономической динамики, что позволяет использовать соответствующие алгоритмы в задачах краткосрочного анализа и прогнозирования поведения системы индикаторов экономической безопасности. Получены аппроксимирующие функции для прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности (на примере Нижегородского региона). Проведен фрактальный анализ краткосрочных индикаторов экономической безопасности, в результате которого для большинства показателей выявлен персистентный характер ряда.

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в разработке и развитии математических методов количественного анализа и прогнозирования экономической безопасности.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в разработке конкретных рекомендаций по использованию предложенных методик в задачах федерального и регионального анализа и прогнозирования индикаторов экономической безопасности. Полученные в ходе исследования результаты могут быть востребованы в органах федерального и регионального управления, а также могут быть использованы в вузах при разработке соответствующих учебных курсов.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на:

- Международной научно-практической конференции «Современные аспекты экономики, менеджмента и инноваций». НГТУ, Н.Новгород, 2008;
- VII Международной научно-практической конференции «Государственное регулирование экономики. Региональный аспект». ННГУ, Н.Новгород, 2009;
- Всероссийской научно-практической конференции «Инновации в экономике, менеджменте и подготовке кадров». НГТУ, Н.Новгород, 2009;
- Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные аспекты экономики, менеджмента и инноваций». НГТУ, Н.Новгород, 2010;

- XXI Международной научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам КОГРАФ. НГТУ, Н.Новгород, 2011;
- XVI Нижегородской сессии молодых ученых (математические науки), Н.Новгород, 2011;
- I Межрегиональной научно-практической конференции «Проблемы роста экономики России в условиях модернизации и глобализации». Н.Новгород. - Нижегородский филиал ИБП, 2011;
- II Международной научно-практической конференции «Проблемы социально-экономической устойчивости региона». МНИЦ, Пенза, 2012.

Основные положения диссертации отражены в 20 научных публикациях, в том числе в 4 работах в журналах, рекомендованных ВАК РФ. Общий объем – 15,51 печ.л., в.т.ч. автору принадлежит 7,41 печ.л.

Структура и объем работы. Объем диссертации 150 машинописных листов. Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованных источников, состоящего из 108 наименований. В работе содержатся 54 формулы, 2 таблицы и 78 рисунков.

Основное содержание работы.

Во **введении** обосновывается актуальность выбранной темы, определяются цель и задачи, устанавливаются предмет и объект исследования, показывается теоретическая и практическая значимость, обосновывается научная новизна достигнутых результатов.

В **первой главе** дан анализ динамики индикаторов экономической безопасности страны и Нижегородского региона. Приведен обзор существующих методов и моделей анализа и прогнозирования экономической динамики.

Во **второй главе** выделен класс математических методов, предназначенных для анализа и прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности. Предложена методика приведения индикаторов экономической безопасности к безразмерному виду для различных моделей анализа их поведения. Разработан метод моделирования динамики индикаторов экономической безопасности, основанный на использовании индикаторов различной степени агрегирования. Разработан алгоритм идентификации параметров системы дифференциальных уравнений, описывающих поведение интегральных индикаторов экономической безопасности. Обоснована целесообразность использования алгоритмов адаптивной фильтрации и фрактального анализа для прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности.

В **третьей главе** произведена апробация разработанного инструментария в задачах анализа и прогнозирования экономической безопасности России и Нижегородской области.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Класс математических методов для анализа и прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности

Индикаторы экономической безопасности – это сбалансированная система показателей, отражающая основные «болевые точки» в развитии экономики. В нашем исследовании мы основываемся на системе индикаторов экономической безопасности страны, разработанной группой ученых ИЭ РАН под руководством В.К. Сенчагова. По этим индикаторам определены *пороговые значения* – предельные значения, игнорирование которых препятствует нормальному развитию экономики и социальной сферы и приводит к формированию разрушительных тенденций в области производства и уровня жизни населения. Кроме того, используется система индикаторов экономической безопасности региона, в разработке которой непосредственное участие принимал автор диссертации. Для оперативного анализа и прогнозирования в работе были использованы краткосрочные индикаторы социально-экономического развития страны и регионов с периодом отсчета один месяц. К ним относятся ВВП (ВРП), доходы консолидированного бюджета, инвестиции в основной капитал и ряд других. Наконец, в ряде случаев потребовалось использование и внешних (экзогенных) индикаторов.

В диссертации выделен *класс математических методов*, связанных с исследованием параметров экономической безопасности систем различного уровня. Методы в составе данного класса объединяют:

- объект исследования – системы экономической безопасности различного уровня;
- цель исследования – анализ тенденций поведения индикаторов экономической безопасности и своевременное выявление угроз;
- задачи исследования – количественный анализ информации, полученной из различных источников, выявление функциональных зависимостей между отдельными элементами системы экономической безопасности, разработка среднесрочных прогнозов и рекомендаций по принятию решений, направленных на достижение и поддержание необходимого уровня экономической безопасности.

Внутри данного класса математические методы и модели систематизированы по следующим критериям.

1. *По размеру объекта* можно выделить методы анализа и прогнозирования систем различных классов: мир, страна, регион, отрасль, предприятие. В диссертации рассматриваются соответствующие методы для страны и региона.

2. *По учету фактора времени* можно выделить статические и динамические модели. Статические модели используются в задачах сравнительного анализа нескольких объектов. Динамические модели связаны с анализом временных рядов широкого набора индикаторов.

3. *По горизонту анализа и прогнозирования* целесообразно рассматривать краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные модели. Различные задачи

анализа и прогнозирования экономической безопасности требуют различных временных рамок и периода дискретизации.

4. *По степени агрегирования* можно выделить методы, связанные с анализом натуральных индикаторов, анализом агрегированных индексов отдельных составляющих системы, а также с анализом обобщенных индексов. Анализ натуральных индикаторов является наиболее детальным. Однако для анализа тенденций в ряде случаев целесообразно проводить агрегирование информации. При этом по каждому направлению системы экономической безопасности, содержащему несколько натуральных индикаторов, вычисляется агрегированный индекс. Предметом анализа становится поведение агрегированных индексов и их взаимодействие, при этом более тонкие эффекты, связанные с взаимодействием индикаторов внутри каждого направления, не рассматриваются.

5. *По наличию пороговых значений индикаторов* можно выделить «беспороговые», «однопороговые» и «двухпороговые» модели. В отсутствие порога значение индикатора сравнивается с соответствующим значением в базовом периоде или с его средним значением по группе аналогичных объектов. При наличии одного или двух порогов значение индикатора сравнивается с пороговыми значениями.

6. *По используемым разделам математики* можно выделить методы, основанные на корреляционно-регрессионном анализе, системах дифференциальных и разностных уравнений, теории аппроксимации, Фурье-анализе, адаптивной фильтрации, фрактальном анализе и т.д. Все эти разделы или их комбинации использованы в диссертации при разработке методов анализа и прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности.

7. *По наличию временного лага* предлагается выделить модели без временного лага и с временным лагом. В некоторых случаях игнорирование временного лага приводит к неадекватным результатам.

8. *По уровню неопределенности* можно выделить детерминированные и стохастические модели. Детерминированные модели предполагают жесткие функциональные связи между переменными. Стохастические модели используют аппарат теории вероятности и математической статистики.

9. *По степени взаимодействия между параметрами системы* можно выделить модели, в которых производится рассмотрение параметров как независимых величин. Например, в задачах адаптивной фильтрации каждый параметр рассматривается отдельно. Ряд моделей учитывает зависимость последующего параметра от предыдущего (так называемые «каскадные модели»). Наконец, важной разновидностью моделей в данном виде классификации являются модели, в которых рассматриваются взаимозависимости между всеми параметрами с последующей идентификацией коэффициентов взаимодействия.

10. *По наличию внешних воздействий* можно выделить модели без внешних воздействий и с внешними воздействиями. Воздействие может быть отрицательным (шок в экономике) или положительным (государственное управление). В математическом аспекте это эквивалентно появлению ненулевых правых частей и нелинейных членов в уравнениях.

2. Методика приведения индикаторов экономической безопасности к безразмерному виду для различных моделей анализа их поведения

Поскольку все индикаторы имеют различную размерность, для их совместной оценки целесообразно, наряду с анализом натуральных индикаторов, проводить их нормировку. В диссертации выделены различные модели анализа поведения систем экономической безопасности, использующие различные виды нормировки индикаторов.

1. *Динамическая модель* использует информацию базового и текущего периодов и позволяет определять тенденции поведения соответствующих индикаторов. Основная цель анализа – определение степени саморазвития системы. В общем случае можно выделить «эффектные» и «затратные» показатели. Рост первых ведет к увеличению, а рост вторых – к снижению уровня экономической безопасности. Применительно к «эффектным» показателям использовалось нелинейное преобразование вида

$$y(a, x) = 2^{1 - \frac{a}{x}}, \quad (1)$$

где x – значение исходного показателя в текущем периоде, a – его значение в предыдущем (или базовом) периоде. Значение $x = a$ ($y = 1$) соответствует случаю отсутствия изменений; при $x > a$ ($y > 1$) наблюдается положительная динамика; при $x < a$ ($y < 1$) – отрицательная динамика поведения индикатора экономической безопасности. Применительно к «затратным» показателям использовалась обратная нормировка.

В качестве примера на рис. 1 приведены нормированные показатели инновационного развития Нижегородского региона в 2000-2009 гг. (базовый год – 2000).

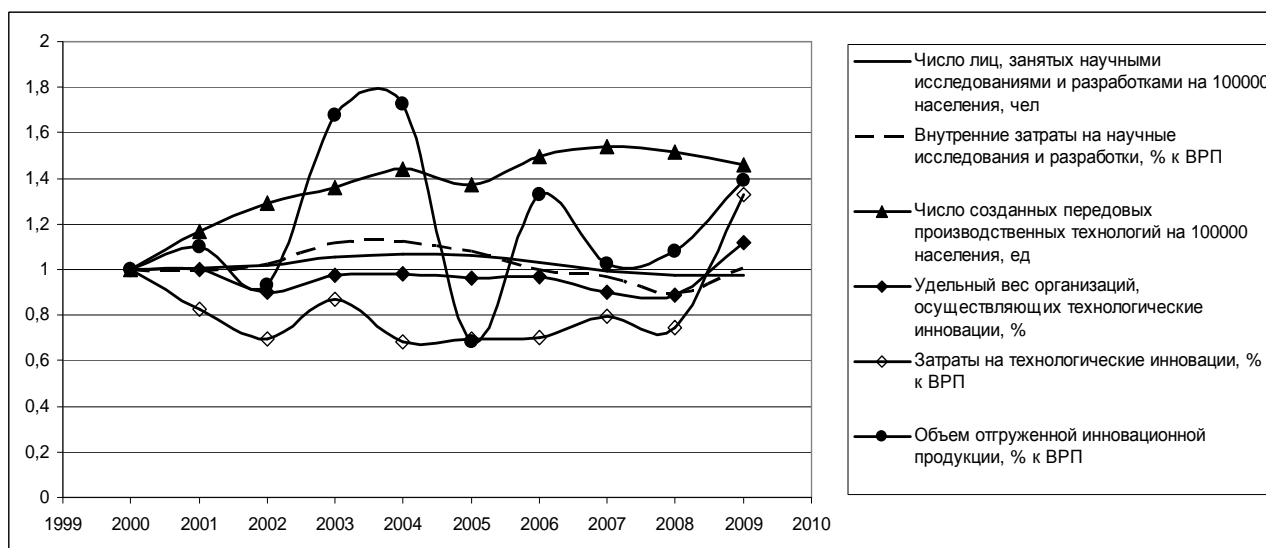


Рис. 1. Динамика показателей инновационного развития Нижегородского региона

Из рисунка хорошо видна сравнительная динамика показателей. Так, стабильный рост демонстрирует число созданных передовых технологий, значительную дисперсию – объем отгруженной инновационной продукции и т.д. Вместе с тем, такой подход иллюстрирует только саморазвитие системы.

2. *Сравнительная модель.* Основная цель – сравнение степени развития экономической системы с другими системами, позиционирование (определение рейтинга) исследуемого объекта. В этом случае параметр a в формуле (1) выбирается как среднее значение параметра x по группе объектов (отрасль, регион, страна). Значение $x = a$ ($y = 1$) соответствует случаю равенства исследуемого параметра среднему значению; при $x > a$ ($y > 1$) этот параметр имеет значение выше среднего; при $x < a$ ($y < 1$) – ниже среднего.

В качестве примера на рис. 2 представлена лепестковая диаграмма, которая содержит ряд показателей экономической безопасности Нижегородского региона в сравнении со среднероссийским уровнем в 2009 году. Из рисунка видны «слабые» места региона. К ним можно отнести расходы на социальные программы, внешнеторговый оборот, инвестиции на экологию, лесовосстановление. К числу «сильных» позиций региона можно отнести практически все показатели инновационного блока, выбросы от стационарных источников, сбалансированность бюджета.



Рис. 2. Сравнение показателей экономической безопасности Нижегородского региона со среднероссийским уровнем

3. *Модель сравнения с пороговым значением.* Используется при мониторинге индикаторов экономической безопасности страны, имеющих пороговые значения. В этом случае для соотношения типа «не менее порогового значения» можно использовать нормирующую функцию вида:

$$y(a, x) = \begin{cases} 2^{\left(\frac{1-a}{x}\right) / \ln \frac{10}{3}}, & \text{если } \frac{x}{a} > 1; \\ 2^{-\log_{10} \frac{a}{x} / \frac{1}{3}}, & \text{если } \frac{x}{a} \leq 1, \end{cases} \quad (2)$$

где x – реальное значение индикатора, a – его пороговое значение.

Значение $x = a$ ($y = 1$) соответствует случаю равенства исследуемого индикатора пороговому значению; при $x > a$ ($y > 1$) индикатор имеет значение выше порогового; при $x < a$ ($y < 1$) – ниже порогового. Для соотношения типа «не более порогового значения» используется обратная нормировка. Применение сложных функций дает возможность расширить динамический диапазон визуализации результатов. Так, логарифмическая зависимость позволяет исследовать тонкую структуру индикаторов внутри сектора $y < 1$, в то время как менее плавная степенная зависимость позволяет игнорировать несущественные детали при значительном превышении индикаторами своих пороговых значений.

В качестве примера на рис. 3 представлена лепестковая диаграмма, которая содержит ряд нормированных индикаторов экономической безопасности России в 2009 году. Сектор, ограниченный линией $y < 0,25$, соответствует зоне «катастрофического риска»; сектор, ограниченный линиями $y = 0,25$ и $y = 0,5$ – зоне «критического риска»; сектор, ограниченный линиями $y = 0,5$ и $y = 0,75$ – зоне «значительного риска»; сектор, ограниченный линиями $y = 0,75$ и $y = 1$ – зоне «умеренного риска». Зона «стабильности» – вне сектора, ограниченного линией $y = 1$.

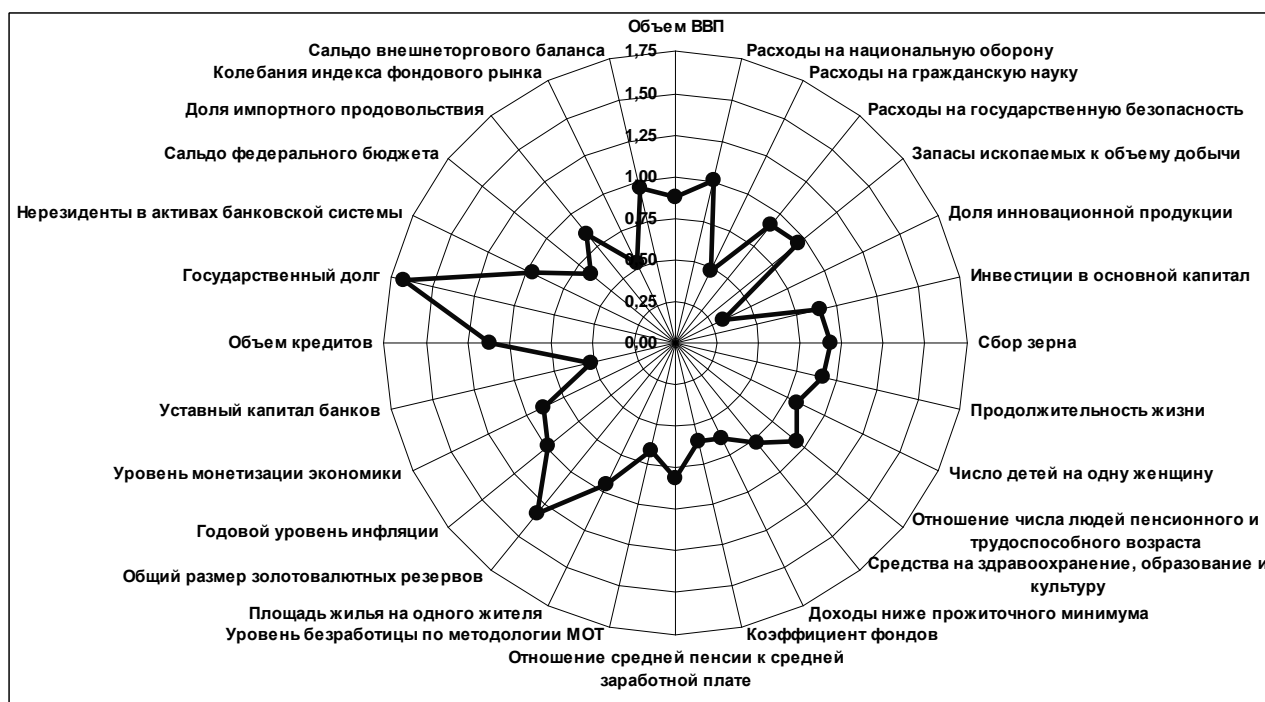


Рис. 3. Сравнение индикаторов экономической безопасности России с их пороговыми значениями

Из рисунка видно, что наиболее проблемными индикаторами, значения которых находятся вблизи зоны «критического риска», являются расходы на гражданскую науку, доля инновационной продукции, уставный капитал банков, колебания индекса фондового рынка. Это свидетельствует о недостаточном развитии финансового и фондового рынка, а также о неудовлетворительном состоянии инновационного сектора.

3. Метод моделирования динамики индикаторов экономической безопасности

В задачах мониторинга экономической безопасности используется множество индикаторов, имеющих различную размерность. Анализ динамики этих индикаторов может быть затруднен из-за сложности сопоставлений, с одной стороны, и слишком большого объема информации, с другой. В диссертации предложен метод для анализа и прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности. Его реализация предполагает следующие этапы: определение цели и задач исследования; выбор системы индикаторов; сбор данных; нормировка индикаторов; агрегирование информации; определение весовых коэффициентов; анализ и прогнозирование (рис. 4).

Процесс анализа и прогнозирования начинается с определения объекта, целей и задач исследования. На втором этапе производится формирование системы индикаторов, которые имеют различные размерности. Один из принципов построения системы индикаторов, принцип древовидной структуры, предполагает наличие в системе логически взаимосвязанных натуральных и обобщенных индикаторов различной степени интеграции.

На этапе сбора данных очень важно, чтобы источники информации были официальными, надежными и достоверными. Кроме того, должна быть обеспечена единая периодичность поступления информации. Для анализа тенденций и долгосрочного прогнозирования в диссертации использовались данные с периодичностью поступления один год. Для оперативного анализа и прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности использовалась информация с периодичностью поступления один месяц.

На этапе нормировки все индикаторы заменяются безразмерными индексами. При агрегировании индикаторов в обобщенные индексы по каждой из составляющих (проекций) системы экономической безопасности вычисляются обобщенные индексы как сумма соответствующих нормированных показателей с учетом их значимости:

$$z_i = \sum_{j=1}^n v_j y_{ij}; \sum_{j=1}^n v_j = 1, \quad (3)$$

где y_{ij} – j -й индикатор i -й проекции, v_j – его вес, определяемый с использованием методов квалиметрии, n – число индикаторов в составе данной проекции.

Затем производится вычисление обобщенного индекса системы индикаторов экономической безопасности как суммы обобщенных индексов всех ее составляющих с учетом их значимости:

$$Z = \sum_{i=1}^m w_i z_i; \sum_{i=1}^m w_i = 1, \quad (4)$$

где w_i – вес i -й составляющей (проекции) системы экономической безопасности, m – число проекций.



Рис. 4. Алгоритм реализации метода

Последний этап реализации предложенного метода заключается в решении задачи прогнозирования. Эта задача решается путем составления системы дифференциальных уравнений (СДУ), в которых переменными являются обобщенные индексы по различным проекциям системы экономической безопасности. Использование аппарата дифференциальных уравнений обусловлено тем, что, в отличие от методов прогнозирования, основанных на регрессионном анализе отдельных рядов, в данном случае устанавливается количественная взаимосвязь между переменными. Это дает возможность анализировать совместную динамику индексов.

4. Алгоритм идентификации параметров системы дифференциальных уравнений динамики индексов экономической безопасности

Задача заключается в составлении системы обыкновенных дифференциальных уравнений, которая описывает совместную динамику поведения интегральных индексов экономической безопасности. В математической постановке рассматривается задача Коши для системы однородных дифференциальных уравнений без управления и запаздывания:

$$\dot{x} = F(t, x), x(0) = x_0, \quad (5)$$

где x – вектор фазовых координат размерности n . Необходимо определить явный вид функции $F(x, t)$ по статистическим данным за фиксированный период времени.

Пусть x^* – известный вектор системы (5), а \bar{x} – сглаженный непрерывный вектор в области D . Тогда в предположении о слабой нелинейности правой части, справедливо следующее соотношение:

$$F(t, \bar{x}) = A_t \bar{x} + \alpha(t, \bar{x}), \quad (6)$$

где $\|\alpha\|_D = o(\|A\|_D)$, A_t – некоторый линейный оператор. В этом случае задача сводится к построению линейного оператора A_t .

На рис. 5 представлена блок-схема алгоритма. На первом этапе вычисляются коэффициенты корреляции между исходными векторами данных. Это необходимо для того, чтобы определить направления взаимного влияния между параметрами системы.

На следующем этапе необходимо вычислить аппроксимирующие сплайн-функции, их первые производные и уточнить периоды колебания обобщенных индексов. В данном алгоритме использован один из возможных подходов, основанный на аппроксимации статистических данных кубическими сплайнами по точкам и сглаживающими сплайнами. Использование кубического сплайна для анализа статистических данных позволяет оценить периодический характер переменных в задаче (5). Для решения задачи идентификации длиннопериодических решений использовалась кусочно-кубическая интерполяция со сглаживанием. В случае ярко выраженного колебательного характера процессов, коэффициенты c_{ij} матрицы A_t должны быть выбраны в форме первых членов тригонометрического ряда Фурье, а строка матрицы A_t принимает вид:

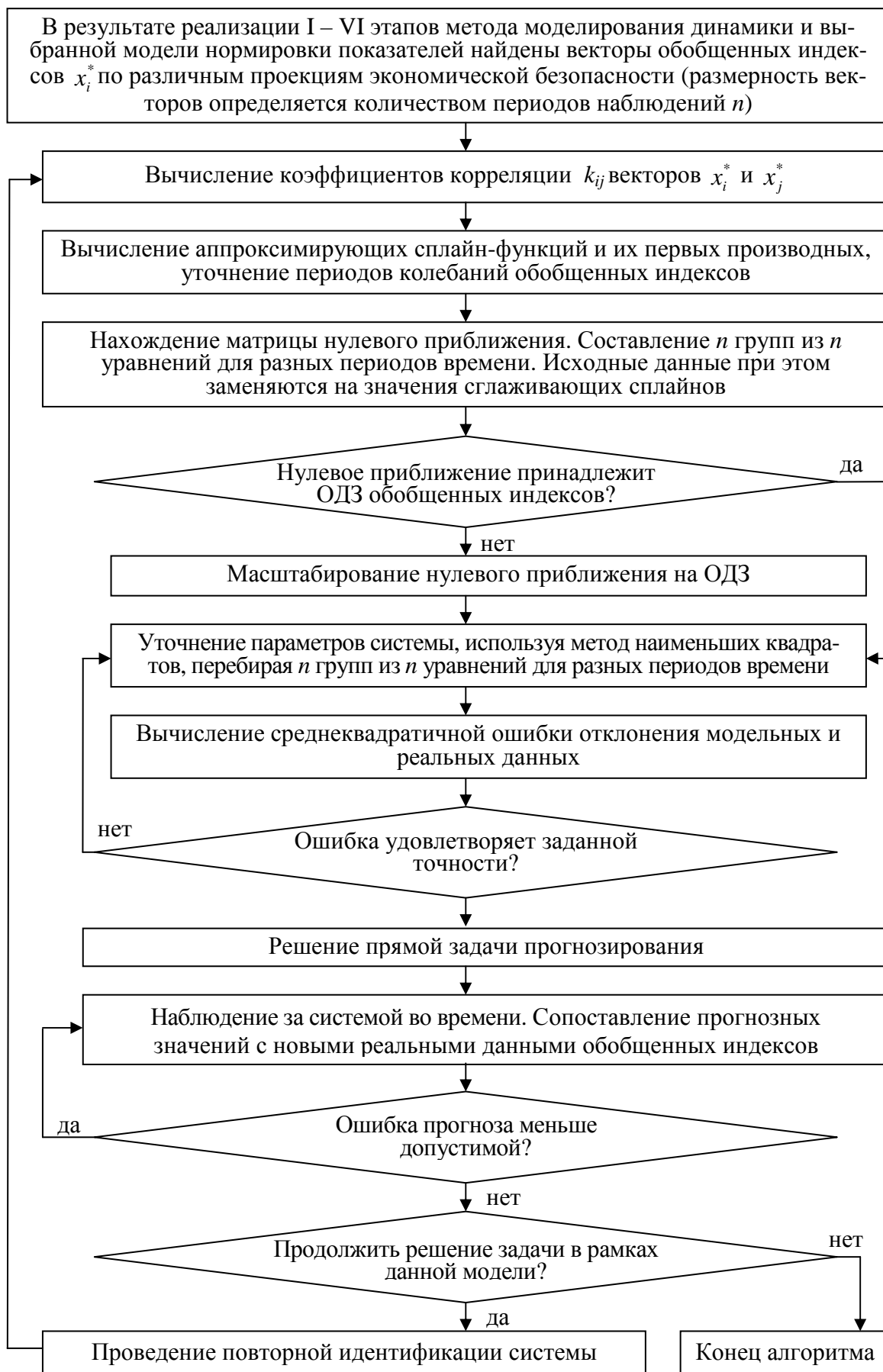


Рис. 5. Блок-схема адаптивного алгоритма идентификации параметров системы дифференциальных уравнений

$$c_{1i}x_1 + c_{2i}x_2 + \dots + c_{ii} \cos\left(\frac{\pi t}{T_{2i}} + \theta_i\right)x_i + \dots + c_{in}x_n + c_{ii} \cos\left(\frac{\pi t}{T_{1i}}\right) \quad (7)$$

где T_{2i} и θ_i – период изменений и фаза измеренного вектора x_i^* соответственно, T_{1i} – период изменений, близкий к периоду цикла Жугляра (7-12 лет).

На следующем шаге алгоритма находится матрица нулевого приближения. Для этого используется итерационный процесс подбора коэффициентов. Этот процесс будет сходиться, если нулевое приближение A_0 дает решение в подпространстве D , которое определяется значением векторов x_i^* .

Далее в алгоритме проверяется условие принадлежности нулевого приближения области допустимых значений (ОДЗ) обобщенных индексов. Если полученная область D_0 шире области D допустимых значений x^* , то матрицу A_0 масштабируем и, повторно решая задачу, уточняем область D_0 .

На следующем шаге алгоритма методом наименьших квадратов уточняются периоды T_{2i} , T_{1i} и поправочные коэффициенты d_{ij} . Для этого используется позиционный алгоритм, позволяющий найти коэффициенты исходной системы уравнений.

Далее вычисляется среднеквадратичная ошибка расхождения модельных и исходных данных. Если изменение коэффициента привело к уменьшению среднеквадратичной ошибки, то вычислительный эксперимент повторяется с тем же шагом в ту же сторону до тех пор, пока дисперсия не начнет расти. В итоге получается явный вид функции $F(x,t)$ в задаче (5) в виде матрицы A_t .

Следующим этапом алгоритма является решение прямой задачи, которая заключается в интегрировании системы дифференциальных уравнений и использовании полученного решения для прогнозирования поведения обобщенных индексов развития социально-экономической системы.

Адаптивность приведенного алгоритма заключается в том, что в процессе наблюдения за системой в случае недопустимого расхождения исходных и модельных данных возможно провести повторную идентификацию системы. Как только появляются новые данные, целесообразно сопоставление полученных по методике прогнозных значений с реальными данными обобщенных индексов.

На рис. 6 приведен пример реализации алгоритма для проекции «Социальная сфера» системы индикаторов экономической безопасности Нижегородского региона. Исходные данные, иллюстрирующие поведение индекса, изображены круглыми маркерами. Эти данные использовались в процессе идентификации параметров системы дифференциальных уравнений. Линии сглаженных сплайнов приведены штрих-пунктирной линией. Соответствующее решение задачи (5) с экстраполяцией до 2012 года отображено сплошной линией (решение 2). Решение, полученное с использованием неполного алгоритма идентификации без учета циклической составляющей, (решение 1), отображено пунктиром. Реальные данные за 2010 год представлены символом «X».

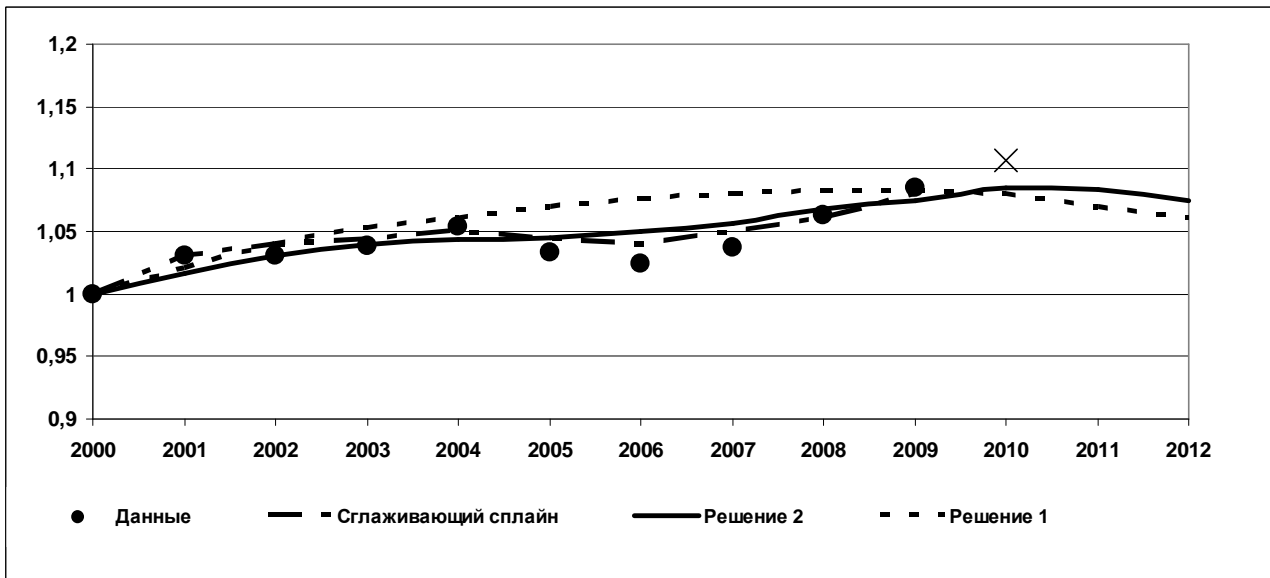


Рис. 6. Пример моделирования и верификации прогноза экономической безопасности Нижегородского региона для проекции «Социальная сфера»

В ходе исследования было выявлено, что данные за 2010 год в целом удовлетворительно соответствуют прогнозным значениям. Ошибки прогнозирования поведения динамических индексов в случае использования полного алгоритма идентификации существенно уменьшаются.

5. Использование алгоритмов адаптивной фильтрации и фрактального анализа в задачах краткосрочного прогнозирования индикаторов экономической безопасности

Для оперативных прогнозов поведения индикаторов экономической безопасности в работе предложено использовать методы адаптивной фильтрации и фрактального анализа, до сих пор применяемые, в основном, для анализа фондового рынка.

Апробация алгоритмов адаптивной фильтрации проведена на основе данных, предоставленных Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Нижегородской области. Были получены аппроксимирующие функции следующего типа:

$$y = mt + b + a_1 \cos(\omega t + \varphi_1) + a_2 \cos(2\omega t + \varphi_2). \quad (8)$$

В качестве примера на рис. 8 приведена динамика показателя «Доходы консолидированного бюджета Нижегородской области, млрд. руб.». Реальные данные представлены круглыми маркерами, прогнозная модель – сплошной линией. Для сравнения на том же рисунке приведен ряд экспоненциальной скользящей средней (штрих-пунктирная линия), а также линейный тренд, построенный по эмпирическим данным (пунктир). Модель строилась на основании данных за 2000-2009 гг. Реальные данные за 2010 год представлены символом «X».

На рисунке видно хорошее соответствие модельной зависимости исходным рядам данных. Что касается верификации прогноза остальных исследуемых показателей, то результаты можно считать вполне удовлетворительными, за исключением показателей, которые демонстрируют большую дисперсию.

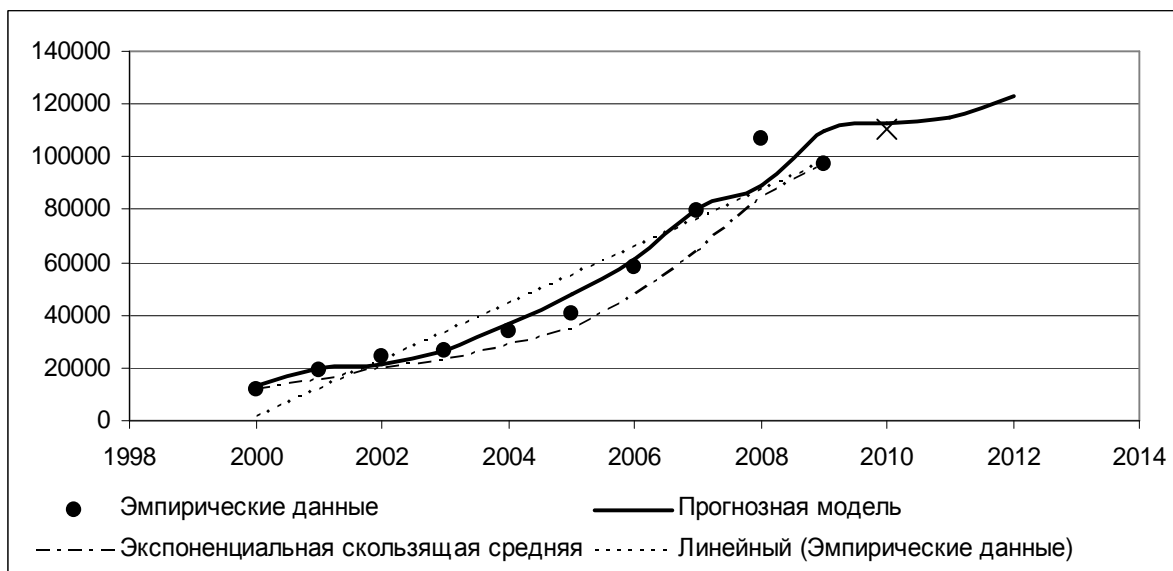


Рис. 8. Доходы консолидированного бюджета Нижегородской области, млн. руб.

Целесообразность использования фрактального анализа возникает при анализе экономических данных за длительный период времени. Способ для изучения фрактальных временных рядов базируется на научных исследованиях английского ученого Херста и носит название R/S метода. Его алгоритм сводится к следующему.

1. Преобразование исходного временного ряда длины M во временной ряд длины $N = M - 1$ на основе использования следующего правила:

$$n_i = \log(m_{i+1}/m_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, (M - 1), \quad (9)$$

где m_i – значение исходного ряда в точке i , n_i – значение нового ряда в той же точке.

2. Вычисление отклонения $x_{t,i}$ от среднего значения временного ряда по формуле

$$x_{t,i} = \sum_{i=1}^t (e_i - \bar{e}_i).$$

3. Для каждой итерации нахождения $N - 1$ значений $x_{t,i}$, которые используются при вычислении размаха $R = \max(x_{t,i}) - \min(x_{t,i})$.
4. Нормировка размаха R путем деления на стандартное отклонение S , которое вычисляется по N значениям.
5. Логарифмирование R/S и $N/2$.
6. Построение графика зависимости функции $\log(R/S)$ от $\log(N/2)$.
7. Нахождение путём линейной аппроксимации графика тангенса угла его наклона, представляющего собой показатель Херста.

Существуют три возможных варианта изменения показателя Херста:

1. $H = 0.5$ – «белый шум», процесс без памяти (все значения ряда некоррелированы);
2. $0 \leq H < 0.5$ – антиперсистентный или эргодический ряд (если система показывает рост в предыдущий период, то с большой вероятностью в следующем периоде начнется спад и наоборот);

3. $0.5 < H \leq 1$ – персистентный, или трендоустойчивый ряд (если ряд возрастает (убывает) в предыдущий период, то вероятно, что он будет сохранять эту тенденцию какое-то время в будущем).

На рис. 9 показана кривая R/S в двойной логарифмической шкале, полученная описанным алгоритмом для индикатора «Занятость населения».

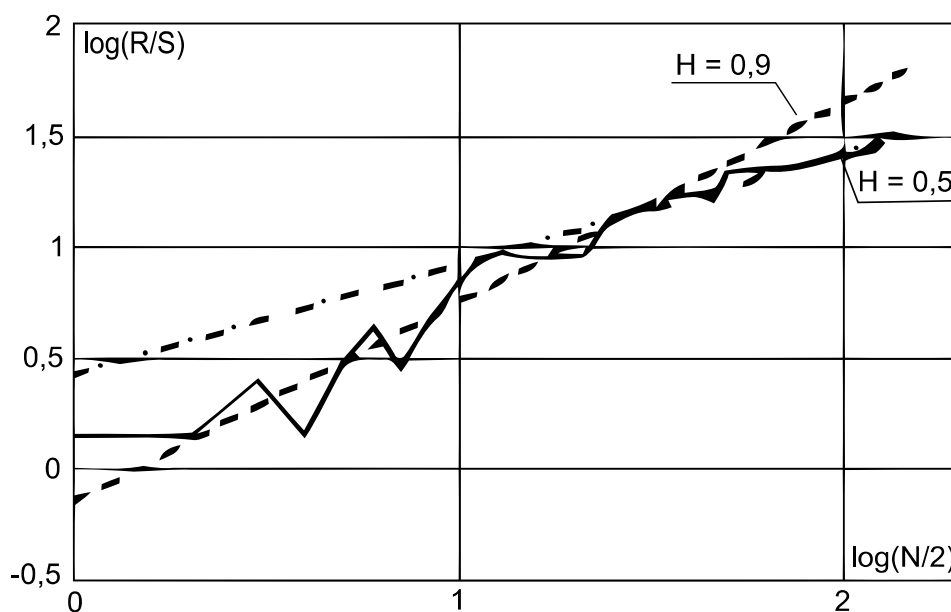


Рис. 9. R/S анализ для показателя «Занятость населения»

Фрактальный анализ краткосрочных индикаторов экономической безопасности показал, что они имеют среднюю длину цикла шесть-семь лет, то есть в течение данного срока система имеет связь с начальными данными – присутствует долгосрочная память. Для большинства показателей была получена высокая оценка H , что говорит о том, что индикаторы экономической безопасности демонстрируют фрактальные свойства. Это означает, что тенденции поведения краткосрочных индикаторов экономической безопасности с большой вероятностью будут сохраняться. Вместе с тем, для отдельных индикаторов (например «Добыча нефти») значение $H < 0.5$, что говорит об антиперсистентности тренда и указывает на то, что в будущем тенденции с большой вероятностью будут меняться.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Выделен класс математических методов, предназначенных для анализа и прогнозирования поведения индикаторов экономической безопасности, в которых, в отличие от существующих методов, требующих анализа многочисленных взаимосвязей между параметрами системы, основной задачей является анализ тенденций поведения индикаторов экономической безопасности и своевременное выявление угроз.

2. Предложена методика приведения индикаторов экономической безопасности к безразмерному виду для различных моделей анализа их поведения. Методика предполагает применение нелинейных нормирующих функций различного вида и используется при построении интегральных индикаторов экономической безопасности.

3. Разработан метод моделирования макроэкономической динамики, основанный на нормировке множества показателей, имеющих различную размерность, их агрегировании в интегральные индексы с учетом их значимости и позволяющий анализировать обобщенные тенденции поведения различных составляющих системы экономической безопасности.

4. Разработан алгоритм идентификации параметров системы дифференциальных уравнений, основанный на сплайн-аппроксимации, позволяющий выявлять взаимосвязи между обобщенными индексами и делать среднесрочные прогнозы поведения социально-экономических систем. Данный алгоритм был успешно апробирован в задачах стратегического анализа и прогнозирования поведения системы индикаторов экономической безопасности России и Нижегородского региона.

5. Применен аппарат фрактального анализа и адаптивной фильтрации для анализа и прогнозирования динамики индикаторов экономической безопасности России и Нижегородского региона. Получены качественно новые результаты прогнозирования исследуемых временных рядов.

6. Разработан программный комплекс, основанный на предложенных методах и алгоритмах.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Митяков, Е.С. Система показателей устойчивого развития региона / Е.С. Митяков, Ю.М. Максимов, С.Н. Митяков // Экономика региона. – 2011. – № 2. – С. 226-231 (0,38/0,13 печ.л.).
2. Инновационные преобразования как императив экономической безопасности региона: мониторинг и прогнозирование / Е.С. Митяков [и др.] // Инновации. – 2011. – № 7. – С. 96-100 (0,31/0,06 печ.л.).
3. Митяков, Е.С. Фрактальный анализ информации о поведении быстрых индикаторов экономики России / Е.С. Митяков, Ю.В. Трифионов, В.А. Сазонтов // Прикладная информатика. – 2012. – №2(38). – С. 49-52 (0,25/0,12 печ.л.).
4. Митяков, Е.С. Классификация математических моделей устойчивого развития и экономической безопасности / Е.С. Митяков // Экономика, статистика и информатика. – 2012. – №1. – С. 128-131 (0,25 печ.л.).

Статьи в других журналах и аналитических сборниках

5. Митяков, Е.С. Анализ факторов, препятствующих инновациям / Е.С. Митяков, Д.В. Бондин // Современные аспекты экономики, менеджмента и инноваций: сб. матер. Междун. научно-практич. конф. / НГТУ. – Н.Новгород, 2008. – С.309-311 (0,19/0,1 печ.л.).
6. Митяков, Е.С. Дифференциальные уравнения с запаздыванием в экономических моделях [Электронный ресурс]. – Электрон. версия сборника. – Н.Новгород. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2009. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) (0,13 печ.л.).

7. Митяков, Е.С. Использование модели Лотки-Вольтерра в экономике / Е.С. Митяков // Инновации в экономике, менеджменте и подготовке кадров: сб. матер. Всероссийской научно-практич. конф. / НГТУ. – Н.Новгород, 2009. – С. 302-304 (0,19 печ.л.).
8. Митяков, Е.С. Модель динамики цены на рынке спроса и предложения / Е.С. Митяков // Инновации в экономике, менеджменте и подготовке кадров: сб. матер. Всероссийской научно-практич. конф. / НГТУ. – Н.Новгород, 2009. – С. 304-306 (0,19 печ.л.).
9. Митяков, Е.С. Динамическая модель устойчивого развития экономической системы / Е.С. Митяков, О.И. Митякова // Государственное регулирование экономики. Региональный аспект: материалы Седьмой междунар. научно-практич. конф.: в 2 т. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2009. Т. 2. – С. 359-361 (0,19/0,1 печ.л.).
10. Митяков, Е.С. Модель прогнозирования экономической конъюнктуры / Е.С. Митяков, О.И. Митякова // Инновации в экономике, менеджменте и подготовке кадров: сб. матер. Всероссийской научно-практич. конф. / НГТУ. – Н.Новгород, 2009. – С. 306-308 (0,19/0,1 печ.л.).
11. Митяков, Е.С. Применение дифференциальных уравнений с запаздыванием к анализу временных рядов / Е.С. Митяков // Актуальные аспекты экономики, менеджмента и инноваций: сб. матер. Всероссийской научно-практич. конф. / НГТУ. – Н.Новгород, 2010. – С. 304-306 (0,19 печ.л.).
12. Митяков, Е.С. Прогноз поведения экономики России на основе методов фрактального анализа [Электронный ресурс]. – Электрон. версия сборника / Е.С. Митяков, И.В. Беляев, Р.А. Петрухин. – Н.Новгород. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2011. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) (0,06/0,02 печ.л.).
13. Митяков, Е.С. Прогнозирование экономической безопасности региона на основе индексного метода/ Е.С. Митяков // Проблемы роста экономики России в условиях модернизации и глобализации: материалы I межрегиональной научно-практич. конф. / Н.Новгород. – Нижегородский филиал ИБП, 2011. – С.228-234 (0,44 печ.л.).
14. Митяков, Е.С. К вопросу о выборе весов при нахождении интегральных показателей экономической динамики / Е.С. Митяков, Д.А. Корнилов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2011. – №3 (90). – С. 289-299 (0,69/0,35 печ.л.).
15. Митяков, Е.С. Индексный метод моделирования и прогнозирования социально-экономических процессов / Е.С. Митяков, С.Н. Митяков, Ю.Ф. Орлов // Актуальные аспекты экономики, менеджмента и образования: сб. матер. Всероссийской научно-практич. конф. / НГТУ. – Н.Новгород, 2011. – С. 149-151 (0,19/0,06 печ.л.).
16. Математические модели социально-экономической динамики: учеб. пособие / Е.С. Митяков [и др.]. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2011. – 176 с. (11,0/4,1 печ.л.).
17. Митяков, Е.С. Использование фрактального анализа для прогнозирования макроэкономических объектов / Е.С. Митяков // Актуальные аспекты

- экономики, менеджмента и образования: сб. матер. Всероссийской научно-практич. конф. / НГТУ. – Н.Новгород, 2011. – С. 147-149 (0,19 печ.л.).
18. Митяков, Е.С. Использование методов фрактального анализа для исследования поведения индикаторов российской экономики / Е.С. Митяков // Нижегородская сессия молодых ученых. Математические науки: материалы докл. – Н.Новгород: Гладкова О.В., 2011. – С.33-35 (0,19 печ.л.).
19. Митяков, Е.С. Методика идентификации параметров системы дифференциальных уравнений динамики индексов устойчивого развития / Е.С. Митяков, Ю.Ф. Орлов // Промышленное развитие России: проблемы, перспективы: сб. статей 9-й научно-практич. конф.: в 3т. / НГПУ. Н.Новгород, 2011. Т. 1. – С. 259-264 (0,38/0,19 печ.л.).
20. Митяков, Е.С. Модели мониторинга развития социально-экономических систем / Е.С. Митяков // Проблемы социально-экономической устойчивости региона: сб. статей IX междун. научно-практич. конф. МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – С. 179-183 (0,31 печ.л.).