

На правах рукописи

СЕМЁНЫЧЕВ Виталий Валерьевич

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ
И КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩИХ РЯДОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ДИНАМИКИ**

Специальность 08.00.13 – Математические и инструментальные
методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Самара - 2010

Работа выполнена в АМОУ ВПО «Самарская академия государственного и муниципального управления» на кафедре «Экономика и управление городским хозяйством».

Научный
руководитель: доктор экономических наук,
заслуженный экономист РФ
Титов Константин Алексеевич

Официальные
оппоненты: доктор экономических наук, профессор
Гераськин Михаил Иванович

кандидат экономических наук, доцент
Токарев Юрий Алексеевич

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет».

Защита состоится 27 декабря 2010 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.215.01, созданном при ГОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)», по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)».

Автореферат разослан 25 ноября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор экономических наук

М.Г.Сорокина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В настоящее время во всем мире отмечаются высокие темпы развития научных разработок, ускоренного характера реальной экономической отдачи. Ярko проявилась тенденция к постоянному изменению (**эволюции**) показателей не только используемой технологии и производимой продукции, но и социально-экономических процессов. При этом многими исследователями отмечается аномально высокая эволюция большинства процессов, протекающих в современной России.

Обычно рассматривают модели динамики в **виде временного ряда наблюдений показателей Y_k** , состоящие из **детерминированной части D_k** , которая декомпозируется на **тренд T_k** и **колебательную компоненту C_k** , и **помехи ε_k** (стохастической компоненты, шума). Эволюция выражается обычно в высоких темпах спада или роста показателей (неестественных с точки зрения стабильных экономик), появлении или исчезновении колебательной компоненты, интенсивной эволюции ее амплитуды, значительной мощности и гетероскедастичности (нестационарности дисперсии) помехи.

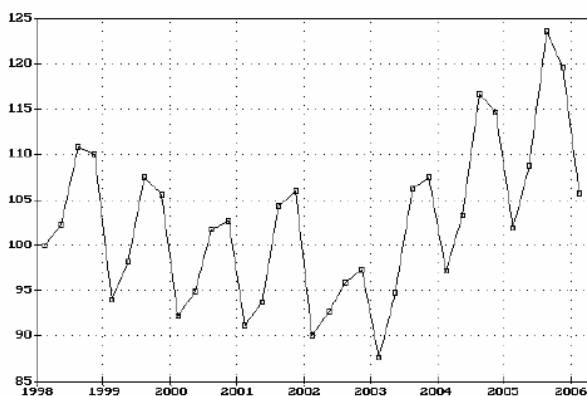
Эволюционировать могут не только **аналитические выражения** моделей компонент и **параметры D_k** , но и вид, параметры закона распределения **ε_k** , **характер взаимодействия** между всеми компонентами. Реальное взаимодействие компонент эволюционирующего ряда динамики не исчерпывается принимаемыми обычно простейшими структурами: или аддитивными (все компоненты ряда динамики независимы и суммируются в модели), или мультипликативными (все компоненты ряда в модели перемножаются, точнее, находятся в долеом отношении и между ними имеется зависимость). В экономической литературе многократно отмечалось явление **пропорциональности в структурах рядов**: зачастую уровни колебательной и стохастической компонент рядов пропорциональны уровням **T_k** , **ε_k** пропорциональна **D_k** и/или **C_k** .

Необходимо **полное** рассмотрение всех возможных на практике аддитивно-мультипликативных структур взаимодействия всех компонент ряда динамики, в том числе указанного частного пропорционального, но широко распространенного. Например, в диссертации приведены примеры большей точности структур мультипликативного взаимодействия тех же моделей **T_k** и **C_k** , чем аддитивного, при моделировании **рядов динамики цен**. Вообще, ценовые показатели в условиях эволюции существенно более подвижны, чем многие другие, например, объемы производства. Именно поэтому в диссертационных исследованиях их моделированию и прогнозированию следует уделить особое внимание.

На рис. 1 и 2 показаны распространенные на практике линейный, экспоненциальный и логистический тренды (их можно рассматривать как представителей трех основных типов роста **T_k** (без ограничения роста, с

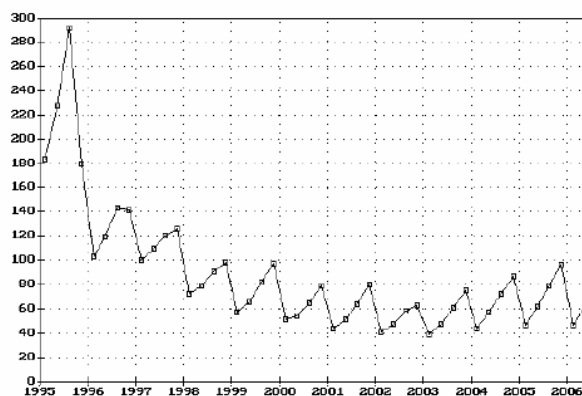
ограничением роста, с ограничением роста и точкой перегиба, соответственно), а также примеры эволюции C_k и значительной мощности ϵ_k .

I квартал 1998г. = 100



а

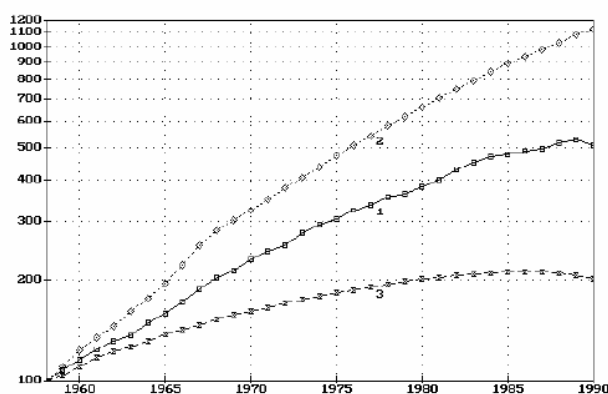
I квартал 1995г. = 100



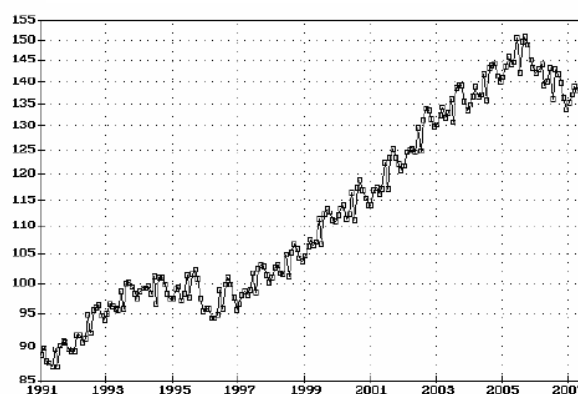
б

Рис. 1. а) индекс ВВП РФ; б) индекс физического объема инвестиций в основной капитал РФ

1958 г. = 100



а



б

Рис. 2. а) индекс потребительских цен РФ; б) индекс денежной массы М2 РФ в реальном выражении

Следует **усложнять** используемые до настоящего времени **модели** динамики показателей: на смену простым (по структуре и линейным по параметрам) моделям должны прийти сложные (по многокомпонентности, по характеру взаимодействия компонент) и нелинейные модели. Актуально и требование **к точности** их моделирования, особенно **на коротких интервалах наблюдения** (на коротких выборках). Огромное значение приобретает **мониторинг эволюции моделей**, использование их для **прогнозного моделирования** возможных траекторий динамики, оценки эффективности принятых или возможных управленческих решений.

В известных моделях и методах их идентификации часто **не исследуется факт выполнения условий Гаусса-Маркова (Г-М)** для помехи при МНК-идентификации, **не предлагаются простые приемы их обеспечения**. Условиями Г-М (из них основные - нецентрированность, некоррелированность, постоянство дисперсии (гомоскедастичность)) обеспечивается оптимальность

МНК-оценок моделей динамики (несмещенность, эффективность, состоятельность). Инструментарий моделирования не должен использовать априорные предположения о величинах отдельных параметров моделей компонент и/или структурах их взаимодействия. Зачастую именно они и являются предметом исследований.

Известны недостатки и методологии оценки точности методов идентификации моделей. Как правило, в литературе приводятся лишь данные о конкретной выборке показателя, о полученных оценках параметров модели, о характеристиках точности моделирования и/или прогнозирования. По ним, однако, невозможно судить о возможностях примененного метода при других значениях параметров модели, при других моделях, при других значениях мощности ϵ_k .

Известные методы моделирования рядов требуют обычно использования длинных выборок, особенно для **рядов с колебательной компонентой, на которых** обеспечивается удовлетворительная точность на ежемесячных выборках от 48 до 120 наблюдений (т.е. на длительности от 4-х до 10-и периодов колебательной компоненты). Данное условие практически не позволяет осуществлять мониторинг эволюции на имеющих обычно место реальных коротких выборках. Будем считать в этих случаях **короткой** выборку длиной менее чем в 48 наблюдений. Для рядов без колебательной компоненты поставим цель осуществлять моделирование на меньших выборках.

Моделирование зачастую используется для **прогнозирования динамики показателей**. Поэтому целесообразно инструментарий создавать на базе **параметрических моделей**, допускающих эконометрическое толкование, существенно большее распространение вне интервала наблюдения, нежели при непараметрическом (алгоритмическом) подходе. Именно для параметрических методов имеется большая возможность «индивидуализации» прогнозов, чем для непараметрических или экспертных. Прогноз эволюционирующих рядов обычно является **краткосрочным**: на горизонт от одного до пяти периодов опроса показателей. Под **комплексом** моделей будем понимать **полную группу структур взаимодействия** (сочетаний) детерминированных и стохастических компонент ряда (в смысле указанной выше пропорциональности), **две модели эволюции** амплитуд колебательной компоненты и полную группу представителей основных типов моделей роста.

Итак, можно считать, что разработка комплекса моделей, методов их идентификации для моделирования и краткосрочного прогнозирования эволюционирующих рядов экономической динамики, удовлетворяющих сформулированным требованиям, **актуальна**, имеет важное народно-хозяйственное значение.

Состояние изученности проблемы. Значительные результаты в области построения теоретических моделей экономической динамики и их приложений получены Бессоновым В.А., Глазьевым С.В., Гранбергом А.Г., Колемаевым В.А., Кондратьевым Н.Д., Леонтьевым В.В., Моториным В.И., Солоу Р.М., Титовым К.А., Хасаевым Г.Р. и др. Использовались труды таких известных отечественных ученых, как Айвазяна

С.А., Афанасьева В.Н., Дубровой Т.А., Елисейевой И.И., Заровой Е.В., Клейнера Г.Б., Кошечкина В.И., Кремера Н.Ш., Лукашина Ю.П., Носко В.П., Мхитаряна В.С., Светунькова С.Г., Семёнычева В.К., Пересецкого А.А., Тихомирова Н.П., Хачатряна С.Р., Четыркина Е.М., Яновского Л.П. и др., а также результаты научных работ и зарубежных ученых - Берндта Э., Бокса Дж., Бухбергера Б., Доугерти К., Дженкинса Г., Джонстона Дж., Кашьяпа Р.А., Рамсея Дж., Тейла П. и др.

Цель и задачи исследований. Целью диссертации является разработка комплекса моделей и методов их идентификации, обеспечивающих повышение точности моделирования, краткосрочного прогнозирования эволюционирующих рядов экономической динамики, как инструмента принятия и оценки управленческих решений, осуществления мониторинга эволюции.

Для достижения данной цели были поставлены задачи:

- дать **общую характеристику** эволюционирующих рядов динамики, **разработать требования** к моделям рядов, методам их моделирования и краткосрочного прогнозирования;

- **проанализировать известные модели** рядов динамики, **методы их идентификации** на предмет удовлетворения требований моделирования и краткосрочного прогнозирования их эволюции;

- **предложить комплекс новых моделей**, образуемый новыми структурами рядов до достижения полной группы пропорционального взаимодействия детерминированных и стохастической компонент ряда при двух моделях эволюции колебательных компонент, а также при полной группе представителей типов моделей роста;

- **разработать** для указанного комплекса моделей рядов **новые методы их идентификации** с использованием МНК на коротких выборках с помощью единого подхода;

- **реализовать программный комплекс** для **идентификации** предложенных моделей;

- **предложить и реализовать методику** исследования точности разработанных методов моделирования и прогнозирования на тестовых выборках в широких диапазонах значений параметров моделей и отношений мощностей полезного сигнала и ϵ_k для **определения области их возможного использования**;

- **применить** методы на **реальных рядах** динамики СЭС различных уровней;

- **внедрить** полученные результаты.

Объектом диссертационных исследований являются эволюционирующие ряды динамики экономических показателей социально-экономических систем (СЭС). **Предмет исследований:** математические модели компонент и структуры эволюционирующих рядов динамики показателей СЭС, методы их идентификации и прогнозирования, обеспечение выполнения условий Г-М при применении МНК. **Область исследований соответствует паспорту специальности:** пункт 1.8.: Математическое моделирование экономической

конъюнктуры, деловой активности, определения трендов, циклов и тенденций развития.

Научная новизна исследований:

1. Предложены **шесть новых пропорционально мультипликативных структур** ряда динамики: четыре для стохастической компоненты и две - для колебательной компоненты.

2. Предложены **две новые модели эволюции** амплитуды колебательной компоненты.

3. Предложенные структуры и модели вместе с представителями полной группы типов моделей роста (линейной, обобщенной экспоненциальной и логистической) образуют **комплекс из десяти новых нелинейных моделей** рядов динамики, для которых **разработаны десять новых параметрических методов идентификации** рядов с помощью единого подхода **на основе ARMA-моделей**.

4. Для компенсации гетероскедастичности стохастической компоненты предложены **приемы** перехода в ARMA-моделях к относительным переменным, а для компенсации автокоррелированности - **приемы прореживания** используемой выборки и **ее предварительного сглаживания**.

Практическая ценность полученных результатов:

1. Комплекс предложенных моделей отражает многообразие возможных эволюций рядов динамики по пропорционально мультипликативному взаимодействию всех компонент, по эволюции амплитуды колебательной компоненты, по рассмотрению представителей трех типов моделей роста. В моделях **не используются априорные предположения** о структурах вхождения колебательной компоненты и помехи. Появилась возможность перебора всех возможных моделей и выбора наиболее точной.

2. Показана на коротких тестовых **выборках** (до 48 наблюдений при использовании модели с колебательной компонентой и 6, 12, 18 и 24 наблюдений при моделировании ряда гладким трендом) **высокая точность** предложенных методов моделирования (до 75-99%) и краткосрочного прогнозирования (до 15%) в широком динамическом диапазоне значений параметров (до 10-20 раз) и отношений мощностей шума и полезного сигнала (до 30-35%). Тем самым определена **широкая область возможного использования** предложенных методов, как инструмента принятия и оценки управленческих решений, мониторинга эволюции экономической динамики.

3. Осуществлено моделирование и краткосрочное прогнозирование программным комплексом, реализующим предложенные методы, реальных рядов динамики для СЭС различных уровней иерархии (демографических показателей города и его отдельных районов, цен на с/х культуры, объемов продажи товаров и др.).

Результаты диссертационных исследований **внедрены** в выполненных при участии автора НИР: «Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры г.о. Самара на период до 2015 г.» (заказчик - Департамент строительства и архитектуры г.о. Самара); «Организационно-экономическое

обеспечение развития жилищным фондом муниципального образования (заказчик - ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.»); «Разработка методов и программ эконометрического моделирования и прогнозирования стоимостных показателей уровня жизни населения и показателей развития агропромышленного комплекса Самарской области» (заказчик - Министерство экономического развития, инвестиций и торговли Самарской области). Внедрение результатов осуществлено и в учебный процесс АМОУ ВПО «Самарская академия государственного и муниципального управления» – для лекций и лабораторных занятий по курсам «Эконометрика» и «Маркетинг».

Методы исследований. В диссертации использовались методы и модели анализа экономической динамики СЭС, математический аппарат эконометрики, теории вероятностей и математической статистики, теории функций комплексного переменного, теории числовых рядов и вычислительной математики.

Достоверность полученных результатов обеспечена корректностью математических выводов, использованием репрезентативных тестовых выборок (на каждую модель ряда динамики - до 15 тыс.) и реальных статистических выборок.

Результаты диссертационных исследований **апробированы** на: - VI Всероссийской научно-практической конференции «Развитие инновационного потенциала отечественных предприятий и формирование направлений его стратегического развития». Пенза. 2008г.; IV Международной научно-практической конференции «Экономическое прогнозирование: модели и методы». Воронеж. 2008 г.; V Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные технологии в образовании, экономике и управлении». Воронеж. 2008 г.; Межвузовской конференции «Математическое моделирование, численные методы и информационные системы». Самара. СМГУ. 2009 г.; IV Международной научно-технической конференции «Аналитические и численные методы моделирования естественнонаучных и социальных проблем». Пенза. 2009 г.; I Международной научно-практической Интернет-конференции «Анализ, моделирование и прогнозирование экономических процессов». Волгоград. 2009; II Межвузовской конференции с международным участием «Математическое моделирование, численные методы и информационные системы». Самара. САГМУ. 2010 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, в том числе 4 - в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией (ВАК) для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций, получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, издано одно методическое пособие. Без соавторов опубликовано 6 статей.

Структура диссертации. Диссертационное исследование изложено на 147 страницах, состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка из 121 наименования и приложения, подтверждающего внедрение диссертационных исследований; содержит 41 рисунок, 15 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, раскрыта научная новизна, изложена практическая значимость полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены следующие вопросы: 1) общая характеристика эволюционирующих рядов экономической динамики; 2) вопросы декомпозиции эволюционирующих временных рядов, в том числе представление пропорционально мультипликативных компонент временного ряда в параметрической форме, предложены модели и структуры взаимодействия компонент эволюционирующих рядов; 3) известные методы идентификации временных рядов и выбор подхода для решения поставленной задачи.

Приведенные многочисленные примеры реальных эволюционирующих рядов динамики показывают, что в зависимости от многих факторов (является ли ряд интервальным или моментным, частным или агрегированным, натуральным, стоимостным, абсолютным или относительным и т.д.) характер и динамика эволюции могут быть весьма разнообразными.

На практике широко употребляемы, практически важны следующие типы моделей роста: **линейный тренд без ограничения роста** $T_k = A_0 + A_1 k\Delta$, Δ – период дискретизации (год, квартал, месяц и т.д.); **обобщенный экспоненциальный тренд с ограничением роста** $T_k = A_0 + A_1 \exp(\alpha_1 k\Delta)$; **логистический тренд Рамсея с ограничением роста и точкой перегиба** $T_k = A(1 - (1 + \alpha(k\Delta)) \exp(-\alpha(k\Delta)))$. Что же касается колебательной компоненты C_k , то практика показывает у нее большую вариацию амплитуды, меньшую - частоты и фазы. На коротких выборках можно ограничиться моделью в виде гармоник с идентифицируемыми частотой ω и фазой φ :

$C_k = A \sin(\omega k\Delta + \varphi)$, в которой эволюцию амплитуды предложено моделировать выражениями

$$A = A_0 + A_1 k\Delta \quad \text{и} \quad A = A_2 \exp(-\alpha_1 k\Delta).$$

Значительное внимание в диссертации уделено позиционированию компонент в структуре ряда. В простейших случаях, которые обычно и приводят в известной литературе, **считают**, что компоненты образуют временной ряд

$$\text{или аддитивно } Y_k = T_k + C_k + \varepsilon_k, \quad (1)$$

где ε_k отвечает условиям Г-М, независима от всех других компонент ряда, имеет их размерность,

$$\text{или мультипликативно } Y_k = T_k C_k \mu_k$$

(реже, в основном, из-за трудности идентификации, но не из-за меньшего распространения на практике), где μ_k и C_k имеют смысл пропорций, определяют зависимость между компонентами ряда.

Показаны невыполнение условий Г-М и неоптимальность МНК-оценок параметров моделей мультипликативных структур, в которых закон распределения μ_k принимают логнормальным (чтобы затем операцией логарифмирования свести задачу идентификации к линейной регрессии).

Предложена полная группа (вместе с моделью (1)) аддитивно-мультипликативных структур эволюционирующих рядов, отражающая отмеченное выше явление **пропорциональности взаимодействия** компонент в структурах

$$Y_k = T_k C_k \mu_k = T_k (S_k + 1)(1 + \varepsilon_k), \quad (2)$$

$$Y_k = (T_k + C_k) \mu_k = (T_k + S_k)(1 + \varepsilon_k), \quad (3)$$

$$Y_k = T_k \mu_k + C_k = T_k (1 + \varepsilon_k) + S_k, \quad (4)$$

$$Y_k = T_k + C_k \mu_k = T_k + S_k (1 + \varepsilon_k). \quad (5)$$

$$Y_k = T_k C_k + \varepsilon_k = T_k (S_k + 1) + \varepsilon_k. \quad (6)$$

В (2)–(6) компонента ε_k отвечает основным условиям Г-М (на закон ее распределения накладывается условие лишь симметричности). Показано, что в (2)–(6) **должны выполняться условия** $-1 < \varepsilon_k < 1$ и $-1 < C_k < 1$.

Модели (2), (3), (5) и (6) позволяют, в отличие от известных методов идентификации, применять параметрическую модель C_k . К разработке методов идентификации принят следующий комплекс из **десяти нелинейных моделей**:

$$Y_k = (A_0 + A_1 k \Delta + A_2 \sin(\omega_2 k \Delta + \varphi_2))(1 + \varepsilon_k), \quad (7)$$

$$Y_k = (A_0 + A_1 k \Delta)(1 + A_2 \sin(\omega_2 k \Delta + \varphi_2)) + \varepsilon_k, \quad (8)$$

$$Y_k = (A_0 + A_1 \exp(\alpha_1 k \Delta))(1 + \varepsilon_k), \quad (9)$$

$$Y_k = (A_0 + A_1 \exp(\alpha_1 k \Delta) + A_2 \sin(\omega_2 k \Delta + \varphi_2))(1 + \varepsilon_k), \quad (10)$$

$$Y_k = (A_0 + A_1 \exp(\alpha_1 k \Delta))(1 + A_2 \sin(\omega_2 k \Delta + \varphi_2)) + \varepsilon_k, \quad (11)$$

$$Y_k = A(1 - (1 + \alpha k \Delta) \exp(-\alpha k \Delta))(1 + \varepsilon_k), \quad (12)$$

$$Y_k = (A(1 - (1 + \alpha k \Delta) \exp(-\alpha k \Delta)) + A_2 \sin(\omega_2 k \Delta + \varphi_2))(1 + \varepsilon_k), \quad (13)$$

$$Y_k = A(1 - (1 + \alpha k \Delta) \exp(-\alpha k \Delta)) \cdot (1 + A_2 \sin(\omega_2 k \Delta + \varphi_2)) + \varepsilon_k, \quad (14)$$

$$Y_k = A_0 + A_1 k \Delta + (A_2 + A_3 k \Delta) \sin(\omega_2 k \Delta + \varphi_2) + \varepsilon_k, \quad (15)$$

$$Y_k = A_0 + A_1 k \Delta + A_2 \exp(-\alpha_2 k \Delta) \sin(\omega_2 k \Delta + \varphi_2) + \varepsilon_k. \quad (16)$$

Обзор используемого в экономической практике инструментария моделирования и прогнозирования рядов показал, что решение задачи идентификации предложенного комплекса моделей оправданно искать **путем развития** известных обобщенных параметрических ARMA-моделей: предложением новых структур рядов, моделей компонент и разработкой методов их идентификации.

Во второй главе приведены результаты по: 1) разработке методов моделирования и прогнозирования для рядов динамики с экспоненциальным трендом, а также (показанной на этой модели) методики исследования точности разработанных методов; 2) разработке методов моделирования и прогнозирования рядов динамики с линейным трендом; 3) разработке методов моделирования и прогнозирования рядов динамики с логистическим трендом Рамсея; 4) разработке методов моделирования и прогнозирования рядов динамики с эволюционирующими моделями амплитуды колебательной компоненты.

Само конструирование ARMA-моделей получило **существенное развитие и упрощение** за счет использования программы Maple, которая позволяет проводить численные и символьные вычисления, упрощать громоздкие математические выражения.

Проиллюстрируем проведенную разработку методов моделирования на примере модели в виде обобщенного экспоненциального тренда с пропорционально мультипликативной структурой вхождения компоненты ε_k :

$$Y_k = (A_0 + A_1 \exp(-\alpha_1 k \Delta))(1 + \varepsilon_k) = A_0 + A_1 \exp(-\alpha_1 k \Delta) + (A_0 + A_1 \exp(-\alpha_1 k \Delta))\varepsilon_k \quad (17)$$

Видим, что новая стохастическая компонента $(A_0 + A_1 \exp(-\alpha_1 k \Delta))\varepsilon_k$ в (17) гетероскедастична. Сконструирована при $k \geq 2$ для (17) ARMA-модель второго порядка:

$$Y_k = Y_{k-1} + \lambda_1(Y_{k-1} - Y_{k-2}) + \xi_k, \quad (18)$$

где $\xi_k = Y_k(\varepsilon_{k-1}\varepsilon_{k-2} + \varepsilon_{k-1} + \varepsilon_{k-2}) + Y_{k-1}(\varepsilon_k\varepsilon_{k-2} + \varepsilon_k + \varepsilon_{k-2}) + \lambda_1\{Y_{k-1}(\varepsilon_k\varepsilon_{k-2} + \varepsilon_k + \varepsilon_{k-2}) - Y_{k-2}(\varepsilon_k\varepsilon_{k-1} + \varepsilon_k + \varepsilon_{k-1})\}$ - центрированная, автокоррелированная и гетероскедастичная стохастическая компонента, а $\lambda_1 = \exp(-\alpha_1 \Delta)$.

Из (18) видно, что обращение к ARMA-модели является своеобразной **линеаризацией** (по определению, данному Айвазяном С.А. – «**перепараметризацией**») исходной модели на первом этапе идентификации.

Уменьшение автокорреляции можно провести приемами **прореживания** и **сглаживания** исходной выборки. При прореживании (удаления из расчета при идентификации каждого i -го наблюдения) получим несколько выборок: из исходной выборки исключаются наблюдения, обладающие тесной взаимосвязью, что должно уменьшить смещение и дисперсию оценки λ_1 . При сглаживании исходные данные заменяются выборками, содержащими средние значения из 2-х, 3-х и т.д. наблюдений, присваиваемые средним значениям аргумента интервала сглаживания, что позволяет также уменьшить автокорреляцию ξ_k .

Выбираем те МНК-оценки параметров модели, для которых точность моделирования и/или прогнозирования окажется выше. Можно

ориентироваться, в зависимости от конкретного приложения, или на точность моделирования, или прогнозирования, или на обе.

Для компенсации гетероскедастичности ξ_k предложен простой прием почленного деления (18) на Y_{k-1} , что дает

$$Y_k/Y_{k-1} = 1 + \lambda_1(1 - Y_{k-2}/Y_{k-1}) + \vartheta_k, \quad (19)$$

$$\text{где } \vartheta_k = (\xi_k + \xi_{k-2})(1 + \lambda_1) - (\xi_{k-1} + \xi_{k-2}) Y_k/Y_{k-1} - (\xi_k + \xi_{k-1}) \lambda_1 Y_{k-2}/Y_{k-1}.$$

В (19), по сути, реализуется взвешенный МНК с весами $W_k \approx \frac{1}{Y_k^2}$, что можно рассматривать как **развитие взвешенного МНК** на случай нелинейного экспоненциального тренда. Заметим, что гетероскедастичность ϑ_k определяется лишь вариацией отношений Y_k/Y_{k-1} и Y_{k-2}/Y_{k-1} , т.е. зависит от цепных темпов роста уровней ряда наблюдений Y_k . В силу того, что для экспоненциального тренда они постоянны, то и для ряда Y_k будет малой вариация дисперсии ϑ_k , т.е. обеспечена практическая гомоскедастичность ϑ_k . Можно к (9) применить МНК для нахождения МНК-оценки λ_1^0 и рассчитать оценку $\alpha_1^0 = -\frac{\ln \lambda_1^0}{\Delta}$. Подставляя α_1^0 в (17), осуществляя деление на Y_k , получим линейную регрессию

$$1 \approx A_0 \frac{1}{Y_k} + A_1 \frac{\exp(-\alpha_1^0 k \Delta)}{Y_k} + \frac{\varepsilon_k}{(1 + \varepsilon_k)} \quad (20)$$

с гомоскедастической стохастической компонентой.

МНК для (19) и (20) приводит к решению нормальных линейных алгебраических уравнений первого и второго порядков, соответственно. Показано, что с ростом мощности стохастической компоненты ϑ_k можно рекомендовать итерационный подход. На первой итерации параметры модели оцениваются обыкновенным МНК. Полученные оценки параметров $A_0^{<1>}, A_1^{<1>}, \alpha_1^{<1>}$ используются

при второй итерации для оценки весов МНК: $W_k = \frac{1}{(A_0^{<1>} + A_1^{<1>} e^{-\alpha_1^{<1>} k \Delta})^2}$ и т.д.

Аналогично конструировались ARMA-модели и разрабатывались методы идентификации для остальных предложенных моделей динамики, при этом порядок нормальных систем алгебраических уравнений для МНК-идентификации параметров не превысил шестого.

Показано на примере экспоненциального тренда, что вывод аналитических выражений для смещения и дисперсии оценок параметров при реализации является довольно сложной задачей. Более конструктивными представляются разработка и реализация предложенной **методики оценки точности и определения области возможного применения**. Методика включает в себя **проведение численного эксперимента** с организацией тестовых выборок детерминированных и стохастической компонент. Параметры детерминированной компоненты задаются **в широком диапазоне значений** (изменения до 10-20 раз), чтобы определить возможный диапазон применимости моделей и метода их идентификации. Выборки стохастической компоненты должны быть репрезентативны (представительны) и **варьироваться** в практически

важном, возможном диапазоне значений **отношений мощностей полезного сигнала (тренда) и шума** ξ_k : от 0 до 30–35%, как это обычно принимают в измерительной технике. Исследования выполнены **при** различных **репрезентативных объемах выборки** с тем, чтобы определить возможность использования коротких выборок. **Каждая точка** графиков показателей точности моделирования и прогнозирования (в функции соотношения отношений мощностей полезного сигнала и помехи) в диапазонах значений параметров модели и при данном объеме выборки тренда является усредненной для десятков выборок стохастической компоненты.

Совокупность предложенных методов и приемов идентификации позволяет рассчитывать на практическое удовлетворение условий Г-М при применении МНК и получение оценок, близких по свойствам к оптимальным.

В третьей главе приведены следующие результаты: 1) разработка программного комплекса для моделирования и прогнозирования рядов динамики; 2) исследование точности, области применения моделирования и прогнозирования предложенными моделями и методами их идентификации на тестовых выборках; 3) применение разработанных моделей и методов их идентификации на реальных рядах эволюционирующей экономической динамики.

Структурная схема разработанного программного комплекса, реализованного в среде Borland Delphi 7.0, представлена на рис. 3. Осуществлялась генерация детерминированных компонент моделей стохастической компоненты (операциями центрирования, нормирования, умножения на коэффициент, обеспечивающий нужное соотношение мощностей полезного сигнала и шума), а также расчет характеристик точности моделирования (коэффициента детерминации), точности прогнозирования (МАРЕ-ошибки, второго коэффициента Тейла).

Иллюстрацию полученных результатов приведем на примере логистического тренда Рамсея с аддитивным и мультипликативным шумом. Рассматривались выборки объемом 24, 36, 48 наблюдений. При исследовании коэффициент шум/сигнал $K_{n/s} = \frac{\sigma^2[\varepsilon_k]}{\sigma^2[D_k]}$ изменялся от 0 до 0,35. Всего было сгенерировано 15 360 выборок.

Зависимости R^2 и МАРЕ-ошибки прогноза выборки в функции соотношения мощностей шума и полезного сигнала $K_{n/s}$ при реализации приема прореживания выборки с аддитивным шумом показаны на рис.4 а) и б).

Варьируемые значения для параметров представлены в таблице 1:

Таблица 1

<i>Параметр</i>	<i>Минимальное значение</i>	<i>Максимальное значение</i>	<i>Шаг</i>
<i>C</i>	10	200	50
<i>α</i>	0,1	1,8	0,1

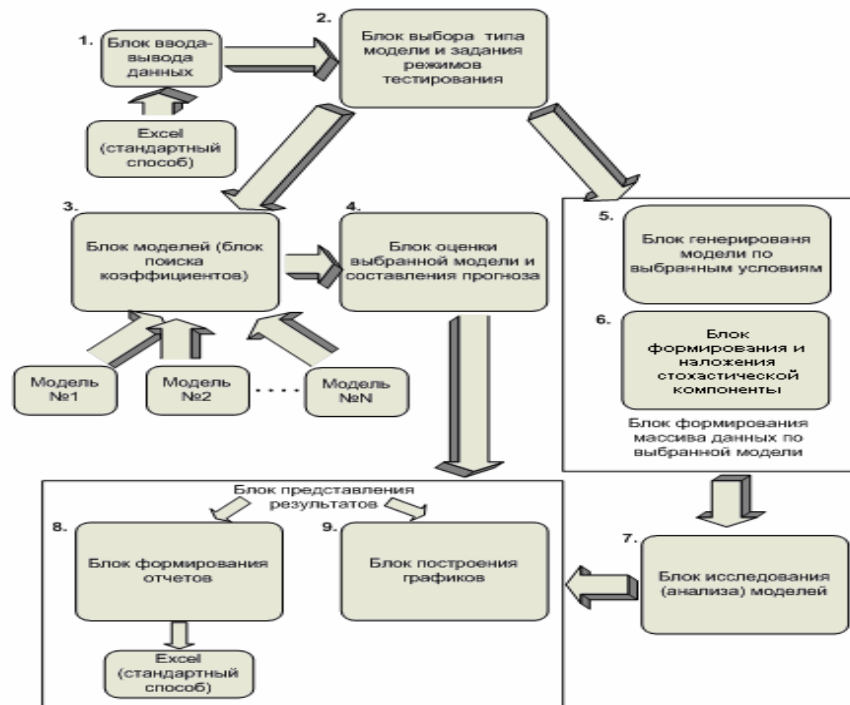


Рис.3. Структурная схема разработанного программного комплекса

На рис. 5 а), б) представлены точностные характеристики метода моделирования и прогнозирования ряда динамики моделью Рамсея с теми же диапазонами значений параметров, но с мультипликативным шумом и при использовании прореживания выборки, компенсации гетероскедастичности.

Оптимальный по точности и сокращению используемой выборки шаг прореживания оказался примерно равным порядку ARMA-модели, а сглаживание достаточно проводить на двух-четырёх наблюдениях.

Как при аддитивной, так и при мультипликативной помехах прореживание исходных выборок давало чаще более высокие результаты, чем сглаживание. Точность моделирования и прогнозирования для аддитивных структур моделей, как правило, лучше.

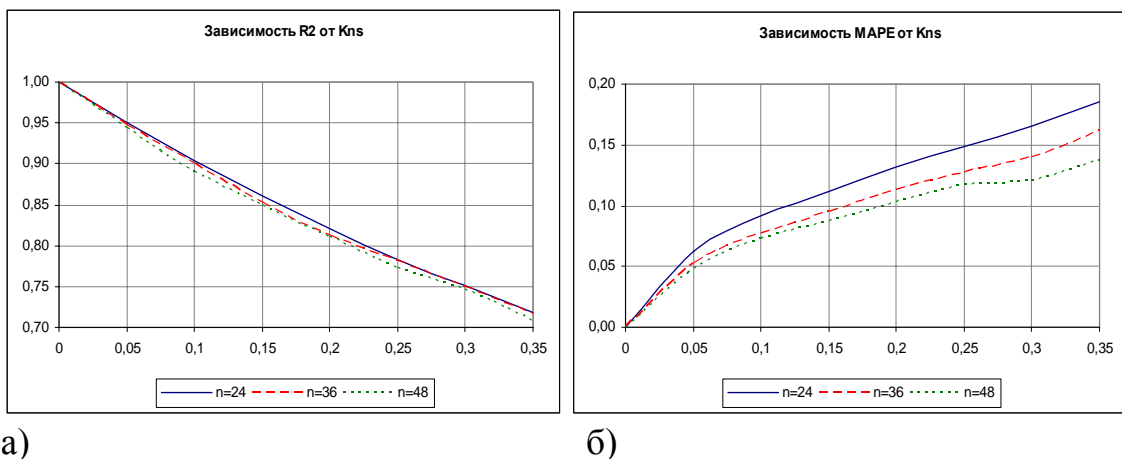


Рис. 4. Зависимость R^2 - а) и MAPE-оценки - б) от $K_{n/s}$

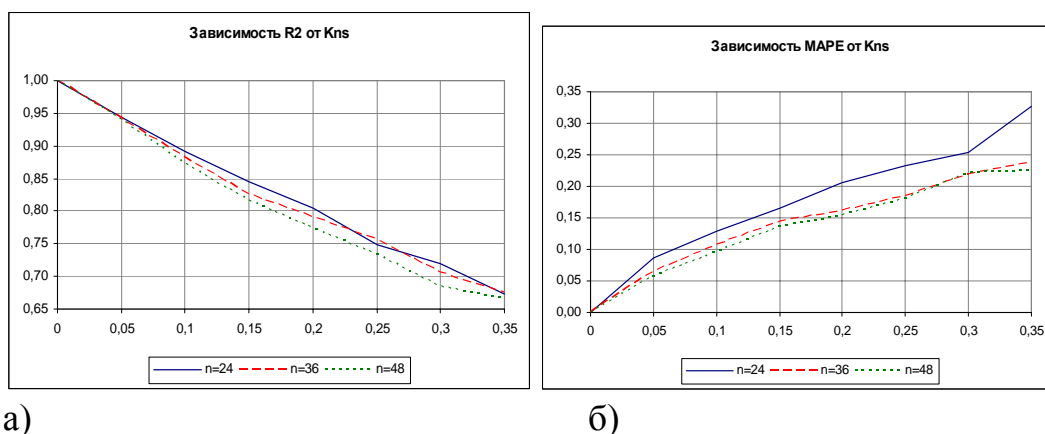


Рис. 5. Зависимость R^2 - а) и MAPE-оценки - б) от $K_{n/s}$

Близкие по характеру исследования были проведены для всех других предложенных моделей. Сделан вывод о высокой точности всех предложенных методов: точность моделирования была не менее 75–99%, а погрешность прогноза обычно не превышала 15% при соотношении мощностей шума и полезного сигнала до 30–35%, причем в широком диапазоне (10-20 раз) параметров моделей детерминированных компонент. Для моделей с колебательной компонентой показана высокая точность методов на выборках 24, 36 наблюдений, а при ее отсутствии в модели – на выборках 6, 12, 18 и 24 наблюдения.

Подчеркнем, что эти **результаты относятся к средним значениям** из диапазона параметров и при высокой мощности помехи. На приведенных в третьей главе диссертации примерах моделирования на реальных выборках **точность оказалась выше, а выборки еще короче.**

Заметим, что известные результаты Четыркина Е.М. для логистической функции при только одном наборе параметров и мощности шума в 5% не обеспечивали точность моделирования более 70%, а объемы используемых выборок в предложенных методах были больше в полтора и более раз.

Приведем количественные характеристики моделирования и прогнозирования некоторых реальных рядов динамики. Например, выполненная НИР «Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры г.о. Самара на период до 2015 г.» включала в себя комплекс мероприятий, направленных на решение системных проблем в области функционирования и развития коммунальной инфраструктуры на период до 2015 г. в соответствии с генеральным планом г.о. Самара, потребностями жилищного и промышленного строительства.

Ее важной частью являлся прогнозный рост объемов потребления коммунальных услуг, который строился на основании прогноза численности населения и норм потребления коммунальных услуг. Для моделирования населения г.о. Самара **временный ряд был разбит на два диапазона.**

В первом диапазоне (с 1970 по 1989 гг.) население росло, а **во втором** (с 1990 по 2009 гг.) уровни временного ряда показывают тенденцию к

уменьшению населения. Осуществлен выбор модели для первого и второго диапазонов временного ряда.

Для первого диапазона пробовались пять моделей:

1. $Y_k = C + A_0 e^{\alpha_0 k \Delta} + \varepsilon_k$,
2. $Y_k = (C + A_0 e^{\alpha_0 k \Delta})(1 + \varepsilon_k)$,
3. $Y_k = (C + A_0 e^{\alpha_0 k \Delta})(1 + A \sin(\omega k \Delta + \psi)) + \varepsilon_k$,
4. $Y_k = C + A_0 e^{\alpha_0 k \Delta} + A_1 e^{\alpha_1 k \Delta} \sin(\omega_1 k \Delta + \psi_1) + \varepsilon_k$,
5. $Y_k = C + (B_0 + B_1 k \Delta) e^{\alpha_0 k \Delta} + \varepsilon_k$.

Наиболее высокие точностные характеристики (коэффициент детерминации $R^2=0,99847$) дала предложенная в диссертации модель в виде обобщенной экспоненциальной функции и пропорциональной мультипликативной колебательной компоненте:

$$Y_k = (1307,0 - 276,68 \exp(-0,096735k\Delta)) (1 + 0,00631 \sin(0,47300k\Delta - 3,1277)) + \varepsilon_k$$

Для второго диапазона ряда динамики лучшей моделью ($R^2=0,99961$ при объеме выборки всего в 9 наблюдений) оказалась сумма обобщенной экспоненциальной функции и колебательной компоненты, у которой амплитуда эволюционирует по экспоненциальному закону

$$Y_k = 1130,5 + 129,72 e^{-0,32691k\Delta} + 37,031 e^{-0,34845k\Delta} \sin(0,66527k\Delta - 1,6281) + \varepsilon_k$$

из следующего семейства функций:

1. $Y_k = C + A_0 e^{\alpha_0 k \Delta} + \varepsilon_k$,
2. $Y_k = C + A_0 e^{\alpha_0 k \Delta} + A_1 \sin(\omega_1 k \Delta + \psi_1) + \varepsilon_k$,
3. $Y_k = C + A_0 e^{\alpha_0 k \Delta} + A_1 e^{\alpha_1 k \Delta} \sin(\omega_1 k \Delta + \psi_1) + \varepsilon_k$,
4. $Y_k = C + (B_0 + B_1 k \Delta) e^{\alpha_0 k \Delta} + \varepsilon_k$,
5. $Y_k = C + (B_0 + B_1 k \Delta) e^{\alpha_0 k \Delta} + A_1 \sin(\omega_1 k \Delta + \psi_1) + \varepsilon_k$,
6. $Y_k = C + (B_0 + B_1 k \Delta) e^{\alpha_0 k \Delta} + A_1 \sin(\omega_1 k \Delta + \psi_1) + A_2 \sin(\omega_2 k \Delta + \psi_2) + \varepsilon_k$.

При этом при прогнозе на один шаг вперед МАРЕ-ошибка прогноза оказалась равной 0,04%; второй коэффициент Тейла 0,038%. На два шага вперед МАРЕ-ошибка прогноза равна 0,034%; второй коэффициент Тейла 0,025%. МАРЕ-ошибка прогноза на три шага вперед 0,032%, а второй коэффициент Тейла 0,023%, на четыре шага вперед получили ошибки 0,037% и 0,028%, на пять - 0,034% и 0,026%.

Заметим, что использование стандартной программы Excel на тех же данных позволяет идентифицировать ряд известным способом

(в предположении мультипликативной структуры стохастической компоненты, ее логнормального закона распределения, выполнения операций логарифмирования, применения МНК для получаемой линейной регрессии) экспоненциальную модель вида $Y_k = A_1 e^{-\alpha k \Delta} \mu_k$ с показателем точности всего лишь $R^2 = 0,78$.

Важнее даже другое: предложенные в диссертации модели и методы их идентификации дали возможность определения асимптоты (равной $\approx 1\ 120\ 000$ человек), к которой число жителей г.о. Самара будет стремиться в течение ближайших пяти лет, учета присутствия эволюционирующей колебательной компоненты в уровнях ряда и планирования **важного управленческого решения:** инвестиции в ЖКХ г.о. Самары необходимы, в первую очередь, для поддержания существующей инфраструктуры (не для ее экстенсивного развития) и, главное, для ее модернизации в целях бесперебойного жизнеобеспечения населения с предоставлением услуг высокого уровня качества.

Проведенные моделирование и прогнозирование по отдельным районам г.о. Самара показали, что нет сколько-нибудь значительного «перетекания» жителей из одного района в другие, нет аномальной динамики числа жителей в каком-то районе, которое следовало бы учитывать.

Проведены расчеты и по моделированию и прогнозированию **средних цен на огурцы и средних цен на пшеницу** в РФ альтернативными моделями в виде аддитивного и пропорционально мультипликативного взаимодействия (об актуальности таких исследований указывалось выше) линейного тренда с гармонической компонентой.

Цена на пшеницу может быть описана линейным трендом с гармонической колебательной компонентой или мультипликативной структуры

$$Y_k = (344.4k + 882.0)(1 + 0.169 \sin(1.4202k + 0.097)) + \varepsilon_k, \quad k = 0..10.$$

или аддитивной структуры

$$Y_k = 382.8k + 833.28 + 472 \sin(0.8631k - 0.626) + \varepsilon_k, \quad k = 0..10.$$

что иллюстрирует рисунок 6.

Для цен на пшеницу мультипликативная модель дала $R^2 = 0,9059$ и MAPE-оценка - 9,4%, против 0,8988 и 16% для аддитивной.

Цена на огурцы в Российской Федерации за 1998-2008гг. может быть описана линейным трендом с гармонической колебательной компонентой или моделью мультипликативной структуры

$$Y_k = (3702,6 k \Delta + 4519,8)(1 + 0,125 \sin(0,6914k \Delta + 0,17)) + \varepsilon_k,$$

или моделью аддитивной структуры

$$Y_k = 3534,2 k \Delta + 5102,6 + 1898 \sin(0,9052k \Delta - 1,125) + \varepsilon_k.$$

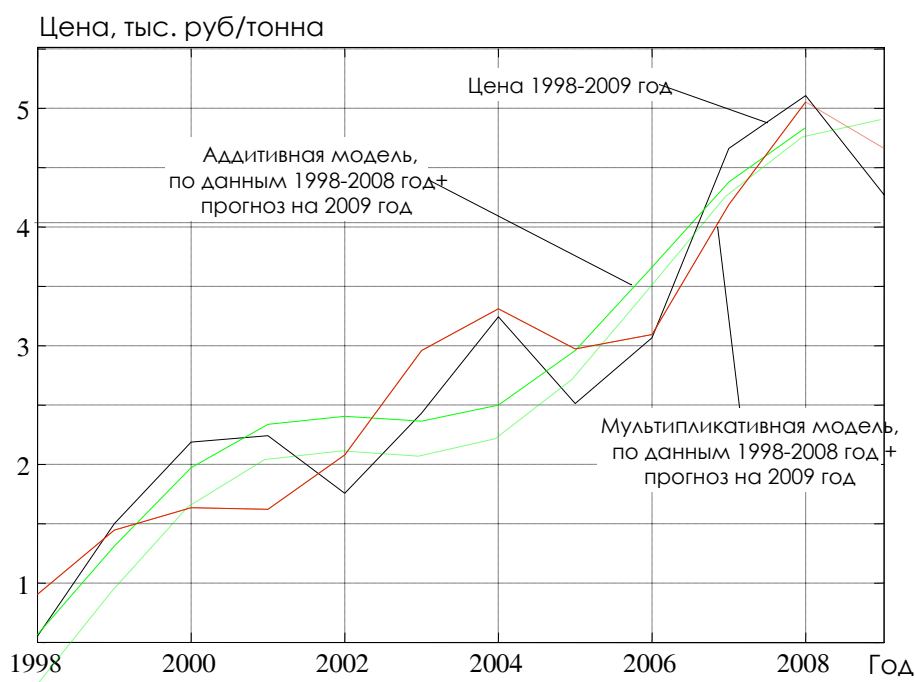
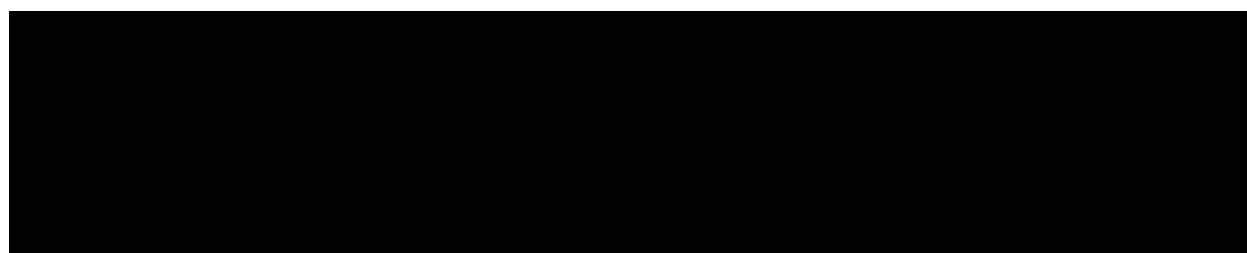


Рис. 6. Сравнение моделей в виде линейного тренда и гармонической колебательной компоненты мультипликативной и аддитивной структур для описания средних цен производителей пшеницы в РФ

Значения цен на огурцы, полученные с помощью приведенных выше моделей, оценка качества их идентификации R^2 и MAPE-оценка прогноза на 2009 год представлены в таблице 2. Сравняя R^2 и MAPE-оценку прогнозов, отметим вновь преимущество модели мультипликативной структуры.

Таблица 2

Сравнение моделей мультипликативной и аддитивной структур для описания средних цен на огурцы в Российской Федерации



Для описания цен за 1998-2009гг. (использовано уже известное значение цены за 2009г.) модель мультипликативной структуры будет иметь несколько другие параметры:

$$Y_k = (3704,8 k\Delta + 4459,9)(1 + 0,129 \sin(0,6914k\Delta - 0,43)) + \varepsilon_k.$$

R^2 для данной модели равен 0,992, а прогнозное значение средней цены на 2010 год составляет 53011 руб./тонну. Объем используемой в этом примере выборке равнялся двенадцати наблюдениям.

Видим преимущество мультипликативной структуры колебательной компоненты с линейным трендом даже не столько в большем значении коэффициента детерминации, но в существенно меньшей погрешности прогнозирования цены.

Проведенное моделирование и прогнозирование средних цен на пшеницу и для Приволжского федерального округа показало, что лучшей моделью ($R^2=0,99314$ и MAPE-оценка на один шаг 1,95%) из шести возможных является пропорционально мультипликативная структура колебательной компоненты и тренда в виде обобщенной экспоненциальной функции:

$$Y_k = (C + A_0 e^{\alpha_0 k \Delta}) (1 + A_1 \sin(\omega_1 k \Delta + \psi_1)) + \varepsilon_k.$$

Объем реальной выборки, использованной в этом случае равен тринадцати наблюдениям.

Очевидно, что с понижением иерархического уровня СЭС усиливается роль стохастической компоненты в уровнях ряда динамики (увеличивается $K_{n/s}$), а эволюция моделей его компонент и структуры становится более сложной.

Показана возможность применения модели с эволюцией амплитуды колебательной компоненты на данных объема продаж лекарственных средств «Pinkham Medicine Company»:

$$T_k = 216105 - 251.761k + 104517 \exp(-0.0058k) \sin(0.0522k - 0.798)$$

со следующими показателями: $R^2=0,77$ и MAPE-оценка прогноза на один шаг 0,2% (рис. 7).



Рис. 7. Модель с эволюцией амплитуды колебательной компоненты

Модель идентифицирована на выборках из 36 ежемесячных наблюдений.

Моделирование ВВП США моделью того же вида

$$T_k = 633,77 + 36,4k + 8,5e^{0,0642k\Delta} \sin(0,9k\Delta - 2,952) + 16,1\sin(0,6k\Delta + 1,3)$$

дало $R^2=0,997$, а MAPE-оценка прогноза на один шаг равна 1%.

Видим, что в двух последних примерах также реализован мониторинг эволюции.

Отметим, что поиск реальных примеров для иллюстрации возможностей предложенных новых моделей и методов их идентификации порой затруднен из-за недостатка первичных статистических данных. Необходима разработка новых и совершенствование существующих систем показателей СЭС. Можно считать, что предложенные модели зачастую существенно «тоньше» применяемых в сегодняшней эконометрической практике.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Дана общая характеристика эволюционирующих рядов динамики, **сформулированы требования** к моделям рядов, методам моделирования их эволюции и краткосрочного прогнозирования. Проанализированы известные модели рядов динамики, методы их идентификации на предмет удовлетворения указанных требований.

Предложены **новые** пропорциональные аддитивно-мультипликативные **структуры** взаимодействия компонент ряда, **новые модели эволюции** амплитуды колебательной компоненты.

Вместе с широко употребляемыми, практически важными типами моделей роста они образуют **комплекс из десяти новых нелинейных моделей** ряда динамики. В моделях не используются априорные сведения о каких-либо параметрах и структурах моделей.

Для указанных моделей рядов разработаны **десять новых методов** их идентификации с использованием МНК **на основе единого подхода:** развития известных ARMA-моделей.

Стохастическая компонента в предложенных структурах отвечает основным условиям Г-М. В результате использования предложенных **приемов компенсации автокоррелированности и гетероскедастичности** МНК-оценки параметров моделей обладают свойствами, близкими к оптимальным.

Разработанная и реализованная **методика** исследования точности моделирования и краткосрочного прогнозирования определила на тестовых сигналах **области возможного использования** моделей, исходя из динамического диапазона параметров моделей и соотношения мощностей шума и полезного сигнала.

Показанная **высокая точность методов** идентификации предложенного многообразия моделей на коротких выборках позволила сделать вывод о возможности принятия и оценки управленческих решений, мониторинга эволюции практически важных рядов динамики.

Возможности внедрения предложенных моделей рядов динамики и методов моделирования показаны **на реальных выборках показателей СЭС разного иерархического уровня:** на реальных выборках динамики населения миллионного города, его отдельных районов, средних цен на огурцы и на пшеницу в РФ и ПФО, ВВП США, объема продаж лекарственных средств отдельной компании.

ПЕРЕЧЕНЬ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах, рекомендованных ВАК

1. Семёнычев, В.К. Моделирование и прогнозирование временного ряда суммой логистического, линейной и гармонической компонент на основе ARMA-модели [Текст] / В.К. Семёнычев, В.Д. Павлов, **В.В. Семёнычев** // Известия Уральского государственного экономического университета. - 2009. - №1 (23). - С. 128-140.
2. Семёнычев, **В.В.** Идентификация экспоненциальной тенденции во временном ряде мультипликативной структуры [Текст] / В.В. Семёнычев // Вестник СамГУПС. - 2009. -№. 3 (15). - С. 88-92.
3. Семёнычев, **В.В.** ARMA-моделирование тренд-сезонных временных рядов с мультипликативной структурой [Текст] / В.В. Семёнычев // Экономические науки. - 2009. № 6 (55). С. 314-318.
4. Сергеев, А.В. Моделирование и прогнозирование трендовых моделей с эволюционирующими колебательными компонентами [Текст] / А.А. Сергеев, **В.В. Семёнычев** // Вестник СамГУПС. - 2009. -№4. -С. 86-91.
5. Семёнычев, В.К. Классификация видов и структуры идентификации эволюции временных рядов экономической динамики [Текст] / В.К. Семёнычев, Е.В.Семёнычев, **В.В. Семёнычев** // Вестник Самарского муниципального института управления. - 2009. - №9. - С. 60-65.
6. Семёнычев, В.К. Методы, обеспечивающие выполнение условий Гаусса-Маркова при идентификации моделей рядов динамики аддитивной и мультипликативной структур [Текст] / В.К. Семёнычев, **В.В. Семёнычев**// Вестник Самарского муниципального института управления. - 2009. -№10. - С. 59-65.
7. Семёнычев, В.К. Исследование точности метода моделирования и прогнозирования экспоненциальной тенденции на основе обобщенных параметрических ARMA-моделей [Текст] / В.К. Семёнычев, **В.В. Семёнычев**, А.А. Коробецкая // Вестник Самарского муниципального института управления. - 2010. -№1(12). -С. 36-46.
8. Титов, К.А. Моделирование и прогнозирование эволюционирующей динамики численности населения г.о. Самара для программы комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры [Текст] / К.А. Титов, **В.В. Семёнычев**// Вестник Самарского муниципального института управления. - 2010. - №3(14). - С. 21-26.

В других изданиях

9. Семёнычев, **В.В.** Проблемы информационного обеспечения маркетинговой деятельности промышленных предприятий [Текст] / В.В. Семёнычев// Развитие инновационного потенциала отечественных предприятий и формирование направлений его стратегического развития: сб. материалов VI Всероссийской научно-практической конференции. Пенза: РИО ПГСХА, 2008. С. 103-105.
10. Семёнычев, **В.В.** Параметризация обобщенной экспоненциальной функции с аддитивной и мультипликативной стохастической компонентой

[Текст] / В.В. Семёнычев// Вестник Самарского муниципального института управления. - 2008. -№7. -С. 127-133.

11. Семёнычев, В.К. Моделирование и прогнозирование временного ряда суммой логистической, линейной и гармонической компонент [Текст] / В.К. Семёнычев, В.Д. Павлов, **В.В. Семёнычев**// Вестник Самарского муниципального института управления. - 2008. - №7. - С. 133-146.

12. Павлов, В.Д. Моделирование экономических процессов, изменяющихся по логистическим законам [Текст] /В.Д. Павлов, **В.В. Семёнычев** // Интеллектуальные технологии в образовании, экономике и управлении 2008: сб. материалов V Международной научно-практической конференции. - Воронеж: ГУП «Воронежская областная типография», 2008.- С. 39-44.

13. Семёнычев, В.К. Моделирование и прогнозирование рядов динамики моделью Верхулста с мультипликативной стохастической компонентой на основе параметрических ARMA-моделей [Текст] / В.К. Семёнычев, **В.В. Семёнычев**// Экономическое прогнозирование: модели и методы: материалы IV Международной научно-практической конференции. - Часть I. - Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2008. - С. 87-89.

14. **Семёнычев, В.В.** Моделирование и прогнозирование тренд-сезонных рядов экономической динамики при эволюции моделей [Текст] / В.В. Семёнычев // Материалы I Международной научно-практической Интернет-конференции. - Воронеж: Изд-во ЦНТИ, 2009. - С. 321-324.

15. **Семёнычев, В.В.** Использование метода наименьших квадратов при идентификации моделей рядов динамики с экспоненциальной тенденцией [Текст] / В.В. Семёнычев// Аналитические и численные методы моделирования естественнонаучных и социальных проблем: сб. статей IV Международной научно-технической конференции. - Пенза, 2009. - С. 234-239.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

16. Свидетельство о регистрации государственной программы для ЭВМ №2009611129 «Моделирование и прогнозирование многокомпонентных динамических рядов «Logistic»» от 20.02.2008 / Павлов В.Д., Семёнычев В.К., **Семёнычев В.В.**