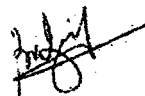


На правах рукописи



СЕМЁНЫЧЕВ Валерий Константинович

**ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЯДОВ
ДИНАМИКИ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ
АВТОРЕГРЕССИИ**

Специальность:

**08.00.13 – Математические и инструментальные методы
экономики**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
доктора экономических наук**

Москва - 2005

Работа выполнена в Самарском государственном аэрокосмическом университете имени академика С.П. Королева

Официальные оппоненты:

- доктор экономических наук,
профессор
Мхитарян Владимир Сергеевич

- доктор экономических наук,
профессор
Соловьев Юрий Павлович

- доктор экономических наук,
профессор
Хасаев Габидулла Рабаданович


Ведущая организация – Центральный экономико – математический институт РАН, г. Москва

Защита состоится «20» октября 2005 г. на заседании диссертационного совета Д.212.196.01 в Российской экономической академии имени Г.В. Плеханова по адресу: 115998, Москва, Стремянный пер., д. 36, корпус 3, ауд. 353.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российской экономической академии имени Г.В. Плеханова.

Автореферат разослан « 8 » августа 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат экономических наук, доцент

 Г.Д. Серов

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В диссертации рассмотрены вопросы повышения точности эконометрического моделирования и прогнозирования многокомпонентных рядов динамики показателей социально – экономических систем на основе параметрических моделей авторегрессии.

Под социально - экономической системой (СЭС) будем понимать сложную вероятностную динамическую систему, охватывающую процессы производства, обмена, распределения и потребления материальных и других благ, порождающую социально – экономические явления, социально – экономические, социально – политические, социокультурные и демографические процессы.

Динамика функционирования конкретных социально – экономических систем описывается обычно десятками, а в отдельных случаях и тысячами показателей последовательностей состояний и переходов от одних состояний к другим.

Будем определять показатель как обобщающую количественную характеристику СЭС в конкретных условиях места и времени.

К основным способам описания СЭС относится метод эконометрического моделирования, который объединяет в себе приёмы, модели и методы, предназначенные для того, чтобы на базе экономической теории, экономической статистики и экономических измерений, а также математико - статистического инструментария придавать конкретное количественное выражение общим (качественным) закономерностям, обусловленным экономической теорией.

Под моделью будем понимать образ реальной системы (процесса, явления) в форме математических соотношений, отражающий существенные свойства моделируемой системы и замещающий его в ходе исследования и управления.

Задачами моделирования являются, во - первых, анализ социально - экономических процессов и явлений, порождаемых СЭС, во - вторых, осуществление прогнозирования их динамики, и, в - третьих, выработка управленческих решений на всех уровнях хозяйственной иерархии. Первые две задачи из перечисленных относятся к содержанию данной диссертации.

Будем рассматривать как модели «временной динамики», когда аргументом показателя является физическое время (его наблюдения или выборка), так и «невременной динамики», когда аргументом одного показателя является выборка другого показателя.

Значительные результаты в области построения теоретических моделей экономической динамики получены Гранбергом А.Г., Емельяновым А.С., Интрилигатором М., Клейнером Г.Б., Колемаевым В.А., Кузьминым В.И., Леонтьевым В.В., Макаровым В.Л., Плотинским Ю.М.,

Соловьевым Ю.П., Солоу Р.М., Федосеевым В.В., Френкелем А.А., Хасаевым Г.Р., Четыркиным Е.М. и др.

Существенные результаты в области эконометрического моделирования и прогнозирования экономической динамики СЭС получены Айвазяном С.А., Афанасьевым В.Н., Балашом В.А., Берндтом Э., Боксом Дж., Бородичем С.А., Грейнжером К., Голубковым Е.П., Дженкинсом Г., Доугерти К., Дубровой Т.А., Елисеевой И.И., Кашьяпом Р.А., Клейнером Г.Б., Кобелевым Н.Б., Лукашиным Ю.П., Льюисом К.Д., Магнусом Я.Р., Мхитаряном В.С., Орловым О.П., Смоляком С.А., Пересецким А.А., Половниковым В.А., Рао А.Р., Тихомировым Н.П., Уотшем Т.Дж., Фришем Р., Тинбергом Я., Хатанака М., Хендри Д., Энглом Р., Юзбашевым М.М. и др.

Актуальность данных исследований обусловлена недостаточной точностью известных методов эконометрического моделирования и прогнозирования многокомпонентных рядов динамики показателей СЭС, состоящих в общем случае из трендов, сезонных, циклических и стохастических компонент, в силу того, что

- при наличии в рядах динамики сезонных и циклических компонент тренд обычно моделируют простыми моделями (алгебраическими полиномами или экспоненциальной функцией), но и для них в известных методах моделирования требуются большие объёмы выборки (и в силу этого необходимым условием является стационарность моделей на большом интервале наблюдения). При высокой динамике реформирования экономики, которая характерна для современной России, данное условие может вызвать существенную погрешность моделирования и прогнозирования;

- известные преобразования многих моделей трендов путём логарифмирования или замены переменных, сводящие их к линейным по параметрам, требуют «искусственных» предположений о виде стохастической компоненты и неработоспособны при учёте сезонной (циклической) компоненты. Например, при моделировании ряда динамики экспоненциальной функцией предполагают стохастическую компоненту для удобства логарифмирования в виде показателя мультипликативной экспоненты с логнормальной функцией распределения вероятностей значений. В этом случае, как и в ряде других, логарифмирование неработоспособно при наличии аддитивной или мультипликативной знакопеременной сезонной (циклической) компоненты. Другим известным примером преобразования является переход к обратным величинам;

- **определение параметров моделей** (обычно путём применения метода наименьших квадратов (МНК)), **над преобразованными величинами**, а не над исходными, вызывает погрешность, особенно при осуществлении прогнозирования;

- до настоящего времени практически не моделируют случаи присутствия в рядах «временной» и «невременной» динамики (кроме случая

линейной регрессии) **временного тренда и экзогенных воздействий**, что также ведёт к погрешностям, сужает область **реального** эконометрического моделирования и прогнозирования;

- зачастую **предполагают априори известными значения** некоторых параметров моделей (например, в моделях Верхулста или Гомперца), что или **ограничивает область применения** моделирования и прогнозирования, или **ведёт к погрешности** при неточном знании этих параметров;

- **применяемые в настоящее время на практике модели**, как правило, **просты**, но не в силу их адекватности реальным процессам и явлениям, а скорее из-за трудности определения класса и параметров более сложных моделей. **Практически отсутствуют исследования по характеру поведения, возможностям применения и методам идентификации таких моделей** динамики как суммы экспоненциальных функций и их произведений на линейные функции; гиперболические полиномы, дробно – рациональные функции в сочетании с сезонными и циклическими компонентами; логистические кривые, особенно в сочетании с временным трендом или с сезонными и циклическими компонентами; суммы кинетических функций;

- **структурная идентификация** осуществляется обычно путём последовательного перебора меры адекватности всех возможных и полностью идентифицированных моделей. При этом объём необходимых расчетов, и соответствующие вычислительные погрешности могут быть значительны.

Наконец, **отсутствует общий математический подход к решению задачи моделирования и прогнозирования широкого класса моделей**, а известны лишь отдельные эвристические решения по методам моделирования.

Целью исследований является разработка математических и инструментальных методов, обеспечивающих **повышение точности** эконометрического моделирования и прогнозирования значений многокомпонентных рядов динамики показателей социально – экономических систем **на основе параметрических моделей авторегрессии**.

Задачи исследований:

- **анализ номенклатуры широко применяемых многокомпонентных моделей** динамики показателей СЭС, **примеров их приложений**, а также известных математических и инструментальных методов их параметризации для **определения общего подхода к достижению цели исследований**;

- **разработка и развитие математического аппарата** эконометрического моделирования и прогнозирования **многокомпонентных рядов динамики показателей СЭС**: обоснование в качестве общего подхода для повышения точности **параметрических моделей авторегрессии**, получаемых с использованием **Z** – преобразования

нелучайных компонент рядов динамики, и предложение новых методов структурной и параметрической идентификации моделей;

- расширение возможностей применения эконометрического моделирования и прогнозирования рядов динамики показателей СЭС за счёт исследования свойств известных и предлагаемых моделей, приближения их к реальной практике моделирования и прогнозирования: учёта аддитивных и/или мультипликативных сезонных и циклических компонент, временного фактора, экзогенных воздействий, аддитивного характера стохастической компоненты;

- программная реализация разработанных методов эконометрического моделирования и прогнозирования на реальных статистических рядах динамики показателей СЭС, сравнение методов по точности с известными и внедрение результатов исследований.

Объект исследований: социально – экономические системы.

Предмет исследований: социально – экономические процессы и явления, протекающие в СЭС, математические и инструментальные методы эконометрического моделирования и прогнозирования динамики показателей СЭС.

В диссертации использовались модели и методы экономической теории, теории вероятностей, математической и экономической статистики, маркетинга, функций комплексного переменного, дифференциального исчисления, теории рядов и др.

Достоверность полученных результатов подтверждена численным моделированием и на реальных статистических данных рынка товаров и услуг. В эконометрическом моделировании можно выделить два аспекта: **содержательный** (социально – экономический или прикладной) и **инструментальный** (математико – статистический, теоретико – методологический).

Чаще превалирует первый аспект, когда необходимость решения той или иной экономической проблемы обуславливает выбор и применение соответствующего инструментария.

В данной работе содержательный аспект также имеет место, но уже на первых шагах исследований - при моделировании и прогнозировании показателей стратегического плана развития г. Новокуйбышевска Самарской области – для широкого класса моделей рядов удалось сформировать общий подход к их моделированию и прогнозированию, что определило крен в сторону его развития, т. е. инструментального аспекта в данной диссертационной работе. Представленные в диссертации приложения несут при этом в значительной мере характер иллюстративных примеров разработанного инструментария.

Результаты диссертации внедрены в практику работы администрации г. Новокуйбышевска Самарской области, использовались в разработках программных комплексов ОАО «Волгоинформсеть» для г. Новокуйбышевска

и г. Отрадного Самарской области, а также в учебных курсах Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева (СГАУ), Самарского института Открытого Образования.

Апробация работы проведена на 18 – ти семинарах и конференциях:

Всесоюзной научно - технической конференции «Повышение качества и надежности продукции, программного обеспечения ЭВМ и технических средств обучения» (г. Куйбышев, 16 - 19 июня 1989 г.); Международной конференции «Динамика структур» (ЧССР, Карловы Вары, 1989 г.); Республиканской научно - технической конференции «Применение вычислительной техники и математических методов в научных исследованиях» (г. Севастополь, 3 - 6 июня 1990 г.); Научно - технической конференции «Автоматизированные информационные системы при строительстве и эксплуатации зданий, сооружений и объектов жизнеобеспечения» (г. Самара, 21 - 24 ноября 1996 г.); II Международной научно - практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики, экономики и права» (г. Москва, 21 - 24 мая 1999 г.); Третьей Международной конференции «Современные сложные системы управления» (г. Воронеж, 19 - 21 мая 2003 г.); IV Всероссийской научно - практической конференции «Опыт и проблемы маркетинговой деятельности в российском предпринимательстве» (г. Пенза, 5 - 9 июня 2003 г.); V юбилейном Российско - Германском семинаре «Модернизация местного управления и экономики» (Германия, г. Бад Урах, 4 - 11 мая 2003 г.); Международной научно - практической конференции «Теория активных систем» (г. Москва, 17 - 19 ноября 2003 г.); Всероссийской научно - практической конференции «Наука, Бизнес, Образование» (г. Самара, 23 апреля 2004 г.); Всероссийской научно - практической конференции «Актуальные проблемы современного социально - экономического развития: образование, наука, производство» (г. Самара, 25 - 26 мая 2004 г.); Научно - практической конференции «Проблемы информационной и экономической безопасности региона» (г. Самара, 25 - 27 ноября 2003 г.); V Национальном конгрессе по недвижимости (г. Москва, 6 - 11 июля 2003 г.); объединенном семинаре кафедры «Математические методы в экономике» СГАУ и НТС факультета Экономики и управления СГАУ (г. Самара, 24 сентября 2004 г.); НТС Самарской Государственной экономической академии (г. Самара, 25 октября 2004 г.); расширенном заседании Учебно - методического объединения по специальностям «Статистика» и «Математические методы в экономике» (г. Москва, Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 9 декабря 2004 г.); расширенном заседании НТС СГАУ и НТС факультета Экономики и управления СГАУ (г. Самара, 13 мая 2005 г.); международной научно - технической конференции «Информационные, измерительные и управляющие системы» (г. Самара, 25 – 26 мая 2005 г.).

Работа выполнялась в рамках проектов института «Евроград» (г. Санкт Петербург), международного центра социально - экономических исследований «Леонтьевский центр» (г. Санкт - Петербург) на кафедре «Математические методы в экономике» СГАУ.

Работа изложена на 306 страницах, состоит из введения, пяти глав, содержит 99 рисунков, 6 таблиц, два приложения, библиографический список использованной литературы из 200 наименований.

Публикации. Общее количество научных, научно - методических трудов автора равно 220 – ти. **Результаты исследований**, выполненных в данной диссертации, отражены в **34 научных трудах**, в том числе в **3 – х монографиях**, общим объёмом **33 п.л.**, при этом лично автору принадлежит около 26 п.л.

Личный вклад автора: сформулирована цель исследований, осуществлен анализ известных математических и инструментальных методов моделирования и прогнозирования рядов динамики показателей СЭС, предложено применение математического аппарата Z – преобразований для достижения цели исследований, предложены и проанализированы все основные приёмы и методы эконометрического моделирования и прогнозирования динамики показателей. Соавторство относится к разработке частных приложений, выполнению отдельных количественных расчётов, сбору данных.

2.ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первой главе диссертации рассмотрены

- особенности эконометрического моделирования и прогнозирования рядов динамики показателей СЭС;
- структуры, компоненты и модели компонентов рядов динамики показателей СЭС;
- обоснование актуальности повышения точности моделирования и прогнозирования многокомпонентных рядов динамики показателей СЭС;
- возможности использование моделей авторегрессии в эконометрическом моделировании и Z – преобразований, как инструмента их параметризации.

Учтены особенности эконометрического моделирования СЭС: отсутствие зачастую априорной информации о количественных закономерностях; ограниченная возможность проведения «активных» экспериментов для получения информации о поведении изучаемых переменных, о проявлениях тех или иных отклонений в ходе процесса, обусловленного его динамикой; возможность использовать на участках эволюционного развития достаточно простых моделей (принцип «простоты») и др.

Рассмотренные СЭС могут иметь **различный иерархический уровень** (**макроуровень** – страна, **мезоуровень** – регион, муниципальное образование, отрасль народного хозяйства, **микроуровень** – семья, конкретное предприятие) и **различный профиль**: в СЭС можно рассматривать вопросы инвестиционной, финансовой, социальной или экологической политики, ценообразования на рынке, как системы отношений купли - продажи между продавцами и покупателями, и т.д.

Отмечено, что в данных исследованиях приёмы, методы моделирования и прогнозирования разработаны применительно к прикладным, трендовым, эконометрическим, динамическим, стохастическим, дискретным, как правило, нелинейным по параметрам, дескриптивным, идентифицируемым и верифицируемым на коротких рядах динамики моделям.

В диссертации реализован экономико – математический подход к прогнозированию значений показателей.

Используется понятие траектории, которая описывает состояние изучаемого объекта (значения изучаемого скалярного показателя Q), как функции от аргумента t (чаще в качестве аргумента выступает физическое время)

$$Q = Q(t), \quad (1)$$

где $t \in [0, T]$, $[0, T]$ - конечный отрезок, на котором определена траектория.

При этом время t может рассматриваться как **непрерывно, так и дискретно** в моменты $T_k = \Delta \llbracket k \rrbracket$, где Δ - период наблюдения (дискретизации, опроса, шага решетчатой функции) показателя (день, неделя, месяц, квартал или год), $\llbracket k \rrbracket = 0, 1, 2, \dots$ - номера наблюдений (отсчётов).

В общем случае аргумент t может быть также экономическим показателем, тогда будет анализироваться **«невременная» динамика, динамики взаимосвязи показателей**. Примером могут быть, например, **связные ряды динамики спроса и цены на благо**.

Дискретизированную траекторию Y_k будем называть **динамическим рядом или рядом динамики**.

В структуре траектории (1) в общем случае допускается присутствие четырех компонент:

- главной тенденции или **тренда** – будем обозначать её « $\Pi(t)$ » для аналоговой модели и P_k - для динамического ряда;
- **циклических (конъюнктурных) колебаний относительно тренда - циклов** « $\zeta(t)$ » или ζ_k , соответственно;
- **сезонных колебаний** – будем использовать обозначения « $C(t)$ » или C_k ;
- **стохастической (случайной) компоненты** – « $\xi(t)$ » или ξ_k .

Каждая из компонент является ненаблюдаемой. Три первых из них являются неслучайными, некоторые из компонент могут отсутствовать в структуре, но ξ_k содержится в ряде динамики всегда.

В обзоре приведено более 40 широко используемых в практике эконометрических исследований аналитических выражений, которыми в дальнейшем моделировались тренды рядов динамики. Отмечено, что в условиях реформируемой экономики современной России модель тренда целесообразно принимать стационарной лишь на относительно «коротких выборках».

Циклическая и сезонная компонента, примем для них общее обозначение $S(t)$, моделировались гармоникой с медленно флуктуирующими, особенно для циклов, амплитудой A , круговой частотой ω и начальной (в общем случае ненулевой) фазой ϕ

$$S(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (2)$$

или рядом Фурье, ограниченным двумя гармониками. Допущение флуктуаций параметров гармоник делают целесообразным и их моделирование на возможно «коротких» выборках.

Стохастическая компонента $\xi(t)$ принималась эволюционной. Значительное внимание было уделено выявлению и компенсации её возможной гетероскедастичности.

Рассматривались следующие структуры компонентов ряда динамики «П(т)», $S(t)$ и $\xi(t)$ в траектории:

аддитивные

$$Q(t) = P(t) + \xi(t), \quad (3)$$

$$Q(t) = P(t) + S(t) + \xi(t),$$

мультипликативная

$$Q(t) = P(t) S(t) + \xi(t),$$

смешанная (аддитивно – мультипликативная)

$$Q(t) = P(t) C(t) + C(t) + \xi(t). \quad (4)$$

Структура (4), называемая тренд – циклической, характерна, в основном, для мезоуровня СЭС.

В целях улучшения прогностических свойств моделей трендов, приближения к реальным условиям функционирования СЭС проведёно дополнительное моделирование фактора времени и экзогенных воздействий путём аддитивного введения в структуру в виде самостоятельного параметра детерминированных функций времени «Вt» или $D \cos \omega t$, $B t \cos \omega t$:

$$Q(t) = P(t) + Bt + \xi(t), \quad (5)$$

$$Q(t) = P(t) + D\cos\omega t + \xi(t), \quad (6)$$

$$Q(t) = P(t) + Bt\cos\omega t + \xi(t). \quad (7)$$

При этом структура (5) использована также для учёта временного фактора «Bt» в исследованиях «невременной» динамики, когда у экономических показателей Q и P общим аргументом является время.

В известных исследованиях эконометрическое моделирование и прогнозирование осуществляется чаще для структуры (3) траектории, причём для моделирования $P(t)$ используются простые аналитические выражения: например, экспонента, полином первой или второй степени, логистическая функция Верхулста или Гомперца, гиперболическая и обратная функции.

При этом задачу идентификации стремятся свести к линейной по параметрам, применяя такие преобразования как логарифмирование, переход к обратным значениям переменных. Для обоснования возможности «линеаризации» порой принимают некоторые «искусственные», скорее удобные, чем соответствующие реальной практике, предположения относительно стохастической компоненты.

Например, для экспоненциальной функции и для функции Верхулста предполагают $\xi(t)$ показателем мультипликативной по отношению к экспоненциальной функции экспоненты с логнормальной функцией распределения вероятностей значений. Для обобщенной обратной функции $\xi(t)$ принимается слагаемым в её знаменателе.

Данные приёмы неработоспособны для сложных моделей трендов, при наличии компоненты $S(t)$ в структуре.

Кроме того, в известных методах моделирования логистических тенденций, обобщенной экспоненциальной функции требуется априорное количественное знание некоторых параметров.

Моделирование многокомпонентных структур традиционно осуществляется путем реализации двух последовательных этапов: моделирования и выделения тренда $P(t)$ (при этом исходная выборка для моделирования $P(t)$ искажена присутствием $S(t)$), а затем - параметризацией $S(t)$ по новой выборке. При этом погрешность моделирования на первом этапе присутствует в новой выборке для реализации второго этапа, увеличивая общую погрешность.

Среди аналитических методов, наиболее близких по содержанию и результатам к проведенным в диссертации исследованиям, отметим методы на основе адаптивного экспоненциального сглаживания и, особенно, авторегрессионные.

Их общими недостатками являются необходимость принятия условия стационарности моделей на больших интервалах наблюдения или, другими словами, использование «длинных» выборок; отсутствие учёта временного фактора и экзогенных воздействий; неприменимость к моделированию многокомпонентных логистических тенденций, а также большое количество необходимых вычислений.

Формально авторегрессия (АР – модель) строится как некоторая множественная линейная регрессия зависимой переменной Y_k исходного динамического ряда через значения того же динамического ряда, но сдвинутые на несколько периодов опроса (назад или вперед):

$$Y_k = \sum_{I=1}^p \lambda_I Y_{k-I} + \xi_k, \quad (8)$$

где λ_I - коэффициенты авторегрессии, а « p » - её порядок

Модели авторегрессии известны уже несколько десятков лет, но они являлись непараметрическими: в них никоим образом, в виду отсутствия механизма их конструирования, не определялась связь между порядком, оценками коэффициентов λ_I модели (8) и типами, параметрами моделей анализируемого ряда динамики, т.е. не осуществлялась структурная идентификация, не проверялась, не корректировалась модель процесса или явления, предлагаемая экономической теорией (моделирование не носило в этом смысле эконометрический характер).

Позволяя осуществлять прогноз уровней (значений) ряда динамики, фиксировать его «разладку», непараметрические авторегрессии не отвечали на вопрос о том, что было её причиной – смена параметров модели или смена её класса.

При этом структура анализируемых рядов динамики предполагалась, как правило, двухкомпонентной: тренд достаточно простой модели (например, алгебраические полиномы и экспонента – редко с сезонной или циклической компонентой) и широкополосная стохастическая компонента ξ_k .

Развитие регрессионного подхода в последние годы шло в направлении более сложных и специализированных для длинных рядов динамики, но также непараметрических, моделей: ARMA, ARIMA, ARCH, GARCH, IGARCH, EGARCH и др.

Однако представляется, что возможности авторегрессий, во всяком случае, применительно к эконометрическому моделированию и прогнозированию рядов динамики показателей СЭС, не исчерпаны, могут быть существенно развиты.

Проведенный в первой главе диссертации анализ точности известных методов моделирования и прогнозирования рядов динамики многокомпонентных показателей СЭС позволил сделать следующие выводы:

- целесообразно моделирование компонент и прогнозирование ряда динамики осуществлять на малой и одной и той же выборке. Известные методы не отвечают этому условию, сложны, обладают значительными погрешностями. Вычислительная погрешность моделирования (и результата прогнозирования) будет меньше, если удастся принять решение о классе модели на возможной ранней стадии, без проведения более сложных расчётов всех параметров с неизбежным накоплением погрешности для всех альтернативных моделей;

- до настоящего времени не существует общего подхода к моделированию и прогнозированию (с указанными выше свойствами) широкого класса моделей многокомпонентных рядов динамики. Математическая общность подхода к идентификации будет положительным свойством при реализации программного обеспечения методов. Известные методы статистики и пакеты статистических программ целесообразно использовать на отдельных этапах исследований;

- следует отказаться (или ограничить применение) при идентификации от удобных, но трудно проверяемых или вообще не свойственных динамическому ряду предположений: о мультипликативном вхождении эволюционной компоненты в структуру динамического ряда, априорных количественных предположений о значениях тех или иных параметров модели и др.;

- актуально осуществление эконометрического моделирования и прогнозирования рядов динамики более сложными (более «тонкими»), чем это традиционно делается, и возможно в большей мере приближенными к реальным условиям моделями, в том числе с включением в них сезонных, циклических компонент, а также - фактора времени и экзогенных воздействий;

- основой для разработки методов моделирования и прогнозирования рядов динамики, отвечающих возможности решения сформулированных выше актуальных задач, могут быть, при соответствующем их развитии, модели авторегрессии. Они обладают такими положительными свойствами как простота, универсальность, опыт применения во многих задачах управления и идентификации, наличие разработанного программного обеспечения для компьютеров. При этом моделям авторегрессии следует придать ряд новых свойств: в первую очередь – свойство параметризации коэффициентов, возможности структурной идентификации моделей. Известные свойства Z – преобразования, изображения аналитических выражений, используемых при моделировании и прогнозировании рядов динамики показателей СЭС, позволяют рассчитывать на его успешное применение для решения этой задачи;

- эффективной по точности и простоте является идентификация параметров моделей ряда динамики путем решения систем линейных уравнений (СЛАУ) невысокой размерности, к которым сводит применение

моделей авторегрессии. При осуществлении статистического сглаживания следует для компенсации гетероскедастичности применять обобщенный метод наименьших квадратов (ОМНК).

Вторая глава посвящена эконометрическому моделированию и прогнозированию рядов динамики экспоненциальными функциями и их сочетаниями с линейными функциями, гармониками на основе параметрических авторегрессий.

Здесь подробно представлен предлагаемый общий подход к эконометрическому моделированию и прогнозированию рядов динамики параметрическими авторегрессиями, приёмы моделирования и принятые методы оценки его точности на наиболее простом примере экспоненциальной функции

$$P_k = A \exp(\alpha k \Delta). \quad (9)$$

Z - преобразованием функции P_k дискретного действительного аргумента «k» (изображением $P(Z)$) является, как известно, следующая функция комплексной переменной «z»

$$Z[P_k] = P(Z) = \sum_{k=0}^{\infty} P_k z^{-k}.$$

В области изображения удобно совершать простые алгебраические действия над функциями комплексной переменной «z», после которых обратное Z - преобразование в область действительного переменного даёт рекуррентное соотношение.

Так, например, для детерминированной функции (9) будем иметь в комплексной плоскости следующее изображение после применения Z - преобразования

$$P(Z) = \frac{A}{1 - \lambda_1 Z^{-1}} \quad \text{или} \quad P(Z) - \lambda_1 Z^{-1} P(Z) = A,$$

где $\lambda_1 = \exp(-\alpha \Delta)$ - коэффициент, зависящий от значения параметра α идентифицируемой модели (9).

С учетом свойства смещения Z - преобразования, вернувшись в область оригиналов, будет иметь рекуррентное соотношение (его можно назвать и разностной схемой, разностным уравнением, дискретно - совпадающей или структурной моделью) значений уровней функции (9):

$$P_k = \lambda_1 P_{k-1} + A \delta_k, \quad (10)$$

где $Y_k = 0$ при $k < 0$, $\delta_k = \begin{cases} 1, & k = 0 \\ 0, & k \neq 0 \end{cases}$ - дискретный аналог дельта –

функции.

Учёт реального присутствия в уровнях Y_k и Y_{k-1} ряда динамики аддитивных стохастических компонент ζ_k и ζ_{k-1} приводит при «к» ≥ 1 к авторегрессии первого порядка из двух значений уровней (отсчётов) ряда динамики

$$Y_k = \lambda_1 Y_{k-1} + \xi_k, \quad (10)$$

где через $\xi_k = \zeta_k - \lambda_1 \zeta_{k-1}$ обозначена стохастическая компонента.

Для обеспечения помехозащищенности следует использовать число отсчётов больше минимально необходимых двух, найти, например, МНК - оценку λ_1 в (10) из условия (M – оператор математического ожидания)

$$\lambda_1^\circ = \operatorname{argmin}_{\lambda_1} M\{Y_k - \lambda_1 Y_{k-1}\}^2,$$

реализация которого приводит на первом этапе идентификации к решению линейного относительно λ_1 «нормального» уравнения:

$$\lambda_1^\circ = \frac{M\{Y_k Y_{k-1}\}}{M\{Y_{k-1}^2\}} \quad \text{и расчёту} \quad \alpha^\circ = -\frac{1}{\Delta} \operatorname{Ln} \lambda_1^\circ.$$

На втором этапе идентификации, подставляя найденную оценку α° (λ_1°) в (9), найдем по той же исходной выборке МНК - оценку параметра «А»:

$$A^\circ = \operatorname{argmin}_A \sum_{k=0}^N \{Y_k - (\lambda_1^\circ)^k A\}^2, \quad \text{что даёт } A^\circ = \frac{\sum_{k=0}^N Y_k (\lambda_1^\circ)^k}{\sum_{k=0}^N (\lambda_1^\circ)^k}.$$

Вычисленные помехозащищённые значения α° и A° можно использовать для расчёта сглаженных «состоявшихся» или «будущих»

прогнозных значений $Y^{\circ k}$ при тех или иных значениях «к», подставляя их в модель (9), а также вычислить остаток $\xi^{\circ k} = Y_k - Y^{\circ k}$, например, для анализа множественной регрессии траектории Q с другими показателями.

При гетероскедастичности стохастической компоненты на обоих этапах идентификации необходимо осуществлять ОМНК оценивание.

Условиями структурной идентификации (классификации) на первом этапе будут первый порядок авторегрессии и если, например, известно, что характер тенденции возрастающий, то неравенство $\lambda_1^{\circ} > 1$.

В других предложенных в диссертации методах моделирования условиями структурной идентификации будут также порядки авторегрессий, а для значений оценок коэффициентов или нелинейных преобразований над ними – соответствующие системы неравенств на плоскости или в пространстве коэффициентов авторегрессии.

Отмечена возможность применения операторов текущего и весового сглаживания, рассмотрены известные аналитические и численные (статистические) подходы к определению точности моделирования и прогнозирования.

Для назначения числа наблюдений (отсчётов), дающих удовлетворительную точность моделирования во всех предложенных методах, принята удобная и простая практическая рекомендация из регрессионного анализа: назначать число отсчётов в 3 - 4 раза больше, чем порядок авторегрессии.

Для оценки точности прогнозирования бралась, как правило, **средняя абсолютная процентная ошибка «ретропрогноза».**

С усложнением моделей в общем случае увеличивается порядок соответствующих авторегрессий, растёт сложность расчетов коэффициентов « λ_1 » и ухудшается вычислительная устойчивость, которая обычно характеризуется числом обусловленности соответствующих СЛАУ. Предложенные в диссертации методы идентификации оперируют в основном порядками авторегрессии до 6 - 8 - го, требуют решения «нормальных» СЛАУ на обоих этапах идентификации тех же порядков, что позволяет не анализировать вычислительную устойчивость и не решать известную и довольно сложную проблему мультиколлинеарности.

В данной главе предложены параметрические авторегрессии, методы и приёмы определения параметров моделей:

$$P_k = A \exp(\ln(1 + B)Tk); \quad \Pi(t) = A \exp(\alpha Tk) + B;$$

$$P_k = A_1 \exp(\alpha_1 Tk) + A_2 \exp(\alpha_2 Tk); \quad P_k = (ATk + B) \exp(\alpha Tk);$$

$$P_k = A_1 \exp(\alpha_1 Tk) + A_2 \exp(\alpha_2 Tk) + A_3 \exp(\alpha_3 Tk) + A_4 \exp(\alpha_4 Tk);$$

$$P_k = A_1 \exp(-\alpha_1 T_k) + A_2 \exp(-\alpha_2 T_k); \quad P_k = \exp(-\alpha_3 T_k)(A_3 T_k + A_4);$$

$$P_k = \exp(-\alpha_1 T_k)(A_1 T_k + A_2) + \exp(-\alpha_2 T_k)(A_3 T_k + A_4);$$

$$P_k = A_1 \exp(-\alpha_1 T_k) + A_2 \exp(-\alpha_2 T_k) + \exp(-\alpha_3 T_k)(A_3 T_k + A_4);$$

$$P_k = A_1 \exp(-\alpha_1 T_k) + A_2 \exp(-\alpha_2 T_k) + A_3 \exp(-\alpha_3 T_k);$$

$$P_k = A_1 \exp(-\alpha_1 T_k) + A_2 \exp(-\alpha_2 T_k) + A_3 \exp(-\alpha_3 T_k) +$$

$$+ A_4 \exp(-\alpha_4 T_k);$$

$$S_k = A_0 + A_3 \cos(\omega_1 T_k + \phi_1) + A_4 \cos(\omega_2 T_k + \phi_2);$$

$$P_k = A_1 \exp(-\alpha_1 T_k) \sin(\omega_1 T_k + \phi_1) + A_2 \exp(-\alpha_2 T_k) + A_3 \exp(-\alpha_3 T_k);$$

$$P_k = A_1 \exp(-\alpha_1 T_k) \sin(\omega_1 T_k + \phi_1) + \exp(-\alpha_2 T_k)(A_3 T_k + A_4);$$

$$P_k = A_1 \exp(-\alpha_1 T_k) \sin(\omega_1 T_k + \phi_1) + A_2 \exp(-\alpha_2 T_k) \sin(\omega_2 T_k + \phi_2);$$

$$P_k = A + B \exp(\alpha T_k) \cos(\omega T_k + \phi);$$

$$P_k = C_1 \exp(\alpha_1 T_k) + C_2 \exp(-\alpha_2 T_k) \cos(\omega T_k + \phi);$$

$$P_k = C_1 \exp(\alpha_1 T_k) + C_2 \cos(\omega T_k + \phi);$$

$$P_k = C_1 \exp(\alpha_1 T_k) + C_2 T_k \cos(\omega T_k + \phi);$$

$$P_k = C_1 \cos(\omega_1 T_k + \phi_1) \exp(\alpha_1 T_k) + C_2 \cos(\omega_2 T_k + \phi_2)$$

и др.

Отметим предложенный способ моделирования рядов динамики гармоникой на доле её периода, а для двух гармоник - на доле периода более высокочастотной из них.

Моделированию ряда динамики экспоненциальной функцией, едва ли не самой распространенной в практике эконометрических исследований, уделено значительное внимание: рассмотрено моделирование экспонентой также при временном тренде и экзогенных воздействиях, а также - тренд - циклической структурой (4).

Отдельного упоминания заслуживает предложенный метод моделирования «невременной» динамики, описываемый экспонентой с включением линейного фактора времени:

$$Y_{m,k} = A \exp(-\alpha h) + B \Delta + \xi_{m,k}, \quad (11)$$

где $Y_{m,k}$ - значение Y_m «невременного» показателя в момент времени «к», h - шаг опроса (дискретизации) по показателю - аргументу, $\xi_{m,k}$ - «невременная» стохастическая компонента ξ_m в момент времени «к», «B» - параметр временного фактора.

Учитывая предложенные решения по конструированию авторегрессии для экспоненциальной функции, можно и для (11) получить следующую «комплексную» («экономико - временную») модель параметрической авторегрессии:

$$Y_{m,k} = B \Delta + v Y_{m-1,k} - v B \Delta - \zeta_{m,k}, \quad (12)$$

где $v = \exp(-\alpha h)$, $\zeta_{m,k} = \xi_{m,k} - v \xi_{m-1,k}$.

Назначая несколько моментов времени «к», произвольно расположенных на временной оси, одновременно определяя два отсчёта экономического показателя $Y_{m,k}$ и $Y_{m-1,k}$ (для этого следует иметь два однородных объекта) можно реализовать моделирование. Из (12) можно определить, например, по МНК оценки « B° » и v° и, соответственно, α° . Подставляя « B° » и α° в (11), осуществляя сглаживание, найдём и A° .

Некоторые из рассмотренных в данной главе моделей относятся к числу широко применяемых при эконометрическом моделировании, а другие - существенно расширяют возможности эконометрического подхода и не используются в настоящее время скорее из-за невозможности их структурной и параметрической идентификации известными методами.

Многочисленные графики, их представлено в данной главе семнадцать, показали широкие и порой неожиданные по формам кривых возможности моделирования рядов динамики экспонентами в сочетании с линейными функциями.

Предложенный инструментарий эконометрического моделирования и прогнозирования имеет многочисленные приложения в макро - и в микроэкономике:

- для идентификации динамических моделей Кейнса, Самуэльсона - Хикса, которые применяются в анализе и краткосрочном и среднесрочном прогнозировании поведения экономики;
- в динамической межотраслевой модели В. Леонтьева;
- в модели роста производства в условиях конкуренции;
- при описании демографических процессов;
- для моделирования психологической инерции потребителей: изменения потребительского спроса на товар, вызванного увеличением

интенсивности его поступления в торговую сеть или резким изменением его цены;

- при описании зависимости спроса от дохода и цены потребительского блага с учетом инерции потребителей;
 - для характеристики освоения инвестиций, капитальных вложений на строительство объекта;
 - для описания связи между валовым продуктом и капитальными вложениями экономической системы с учётом лага задержки в реализации капитальных вложений;
 - при моделировании и прогнозировании воспроизводства национального дохода;
 - с целью характеристики динамики потребления и накопления экономических систем;
 - для моделирования интенсивности спроса на бытовые услуги;
 - в моделировании длительных циклов с нарастающей амплитудой типа «мультипликатор - акселератор»
- и др.

Многочисленные приложения результаты данной главы могут иметь также и при разбиении СЭС на подсистемы и установлении связи между ними, т.е. **при анализе динамических систем**, описываемых линейными дифференциальными уравнениями; **при синтезе систем с требуемыми динамическими свойствами**, для которого может быть использован данный инструментарий (по сути, аппарат переходных и передаточных функций).

Порядок конструируемых регрессий для рассмотренных моделей не превышает пятый, а объём выборок, обеспечивающих приемлемую точность, не превышает двадцати отсчётов, что в несколько раз меньше, чем в известных методах (например, для моделей рядов динамики, содержащих гармонику).

В третьей главе рассмотрены вопросы эконометрического моделирования и прогнозирования логистической динамики на основе параметрических авторегрессий: проведены исследования и сравнительный анализ известных моделей логистической динамики; предложены методы эконометрического моделирования и прогнозирования «гладкими» логистами; эконометрическое моделирование и прогнозирование логистами с колебательной компонентой.

Логистическая модель, когда в качестве её аргумента рассматривают время, используется для описания такого процесса, при котором изучаемый показатель проходит полный цикл развития. Уникальным свойством логистического тренда является его способность прогнозировать качественные (их можно назвать и структурными) изменения в развитии динамики, характеризующиеся сменой знака второй производной.

Рассмотрено моделирование тренда ряда динамики следующими логистическими моделями:

кривой Верхулста (Перла – Рида) -

$$P_k = \frac{1}{A_0 + A_1 \exp(-\alpha_1 T_k)};$$

обобщенной логистической кривой -

$$P_k = \frac{1}{A_0 + \sum_{i=1}^m A_i \exp(-C_i T_k)}; \quad P_k = A \exp(-\alpha/T_k);$$

$$P_k = A \exp\{-B \exp(-C T_k)\}; \quad \text{моделью Гомперца} - P_k = A B^{T_k};$$

$$P_k = A_1 \exp\{-A_2(1 - \exp(-\alpha_1 T_k))/\alpha_1\}; \quad \text{моделью Чантера -}$$

$$P_k = \frac{1}{C_0 + C_1 \exp\{-\mu(1 - \exp(-\alpha_1 T_k))/\alpha_1\}};$$

$$P_k = C(1 - (1 + \alpha T_k) \exp(-\alpha T_k)). \quad (13)$$

Аналитические исследования, иллюстрированные 15 – тью рисунками для трёх частных случаев обобщенной логисты (первый из них – модель Верхулста), для модели Гомперца, для модели Чантера, для других логистических кривых, определили их свойства, позволили сделать выводы о целесообразности использования той или иной модели в конкретных случаях моделирования и прогнозирования рядов динамики.

Например, можно рекомендовать обращение к обобщенным логистическим кривым при « m » ≥ 2 лишь при необходимости моделирования начальных участков логистических тенденций, а для **определения характеристических параметров** (уровня «практического насыщения», например, 95 % доли от уровня насыщения при $k \rightarrow \infty$; значения номера отсчёта k^{**} , при которых достигается этот уровень; k^* - точки перегиба или смены знака второй производной) достаточно ограничиться моделированием обобщённой логистической кривой первого порядка, т.е. функцией Верхулста.

В качестве другого вывода отметим, что обобщенная логистическая кривая при « m » = 2 и определенном сочетании параметров (сплошная тонкая кривая на рис. 1) может успешно моделировать кривую жизненного цикла

товара с изменением знака и первой производной: стадии начала продаж и прибыли, роста, зрелости и спада.

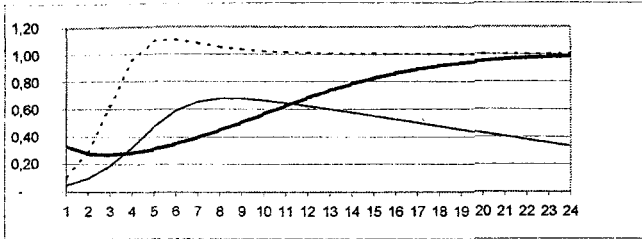


Рис. 1. Графики обобщенной логистической кривой при « m » = 2 и различных сочетаниях значений и знаков параметров.

В данной главе предложен способ использования логистической модели для построения модели зависимости спроса от цены с переменной эластичностью. Дело в том, что постулируемое порой представление зависимости спроса от цены товара (или услуги) в виде линейной функции является весьма упрощенным. Более соответствует действительности предположение о зависимости коэффициента эластичности спроса от величины самой цены (уровня цен), например, в виде S – образной убывающей кривой (пунктирная нисходящая кривая на рис. 2, отдельные пять значений, которой отмечены стрелками).

Предлагаемый способ заключается в экспериментальном определении спроса при нескольких значениях цены – определении параметров логисты.

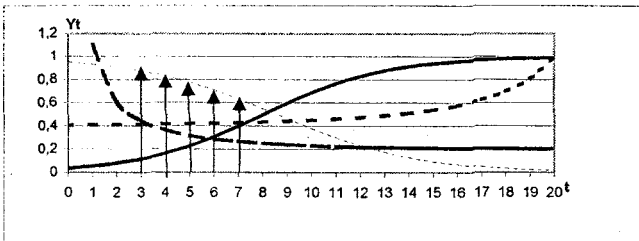


Рис. 2. Комплекс наиболее часто употребляемых видов кривой Верхульста и иллюстрация способа моделирования зависимости спроса от цены с переменной эластичностью.

В силу ограниченности возможности такого «активного эксперимента» в экономической практике СЭС, число назначаемых цен должно быть невелико. Приходим, по сути, к постановке задачи разработки метода

эконометрического моделирования и прогнозирования при условии малого количества отсчётов, что может быть достигнуто, как показано в этой же главе, на основе модели «невременной» параметрической авторегрессии.

Предложенные в данной главе диссертации методы моделирования ряда динамики «гладкими» логистами используют параметрические авторегрессии второго - третьего порядков, реализуются в основном в два этапа, кроме модели Чангера, которая требует трёх этапов расчёта на одной и той же выборке. Обобщенные логистические кривые и модель Чангера предполагают переход к обратным значениям ряда динамики, а остальные, кроме модели (13), образуют авторегрессии из логарифмов значений отсчётов ряда динамики.

Предложенный метод моделирования выражением (13) существенно отличается от других логист: ряд динамики допускает описание авторегрессией из отсчётов ряда динамики (без перехода к обратным величинам или логарифмирования), что, очевидно, позволяет увеличить точность моделирования и, особенно, прогнозирования.

Что же касается методов параметризации логистических тенденций с колебательной компонентой, имеющих зачастую место на практике экономических исследований, то они не представлены в известной научной литературе в виду, видимо, сложности решения этих задач.

Автором в ходе проведенных исследований предложены параметрические авторегрессии и методы моделирования рядов логистической динамики с аддитивной или мультипликативной гармонической компонентой. При этом для логист Верхулста, Гомперца и модели $P_k = A \exp\{ - Bx^k \}$ использованы разложения в ряды Маклорена и Тейлора.

Моделирование ряда динамики выражением (13) с гармонической компонентой не требует разложения, использует параметрическую авторегрессию и соответствующие СЛАУ пятого порядка.

Рассмотрен и случай логистического тренда с колебательной компонентой, отличной от гармонической, используемый, например, для моделирования экономической эволюции (рис. 3).

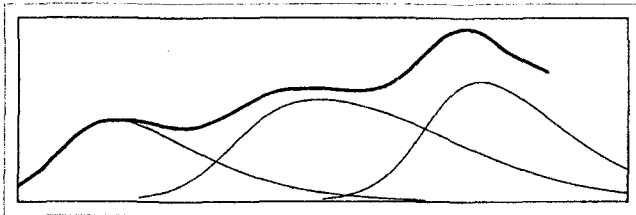


Рис. 3. Траектория экономической эволюции.

Достаточно очевидна возможность моделирования такого ряда динамики разнесенными во времени (с запаздывающими аргументами) функциями Верхульста или другими логистами. При этом начальным значением следующей (второй и т.д.) логисты будет являться уровень насыщения предыдущей.

При этом, однако, не моделируются участки уменьшения значения показателя (участки отрицательного знака первой производной показателя). Для этого случая в качестве инструментария можно использовать сумму двух обобщенных логист второго порядка (рис. 1) с запаздывающими аргументами, но его недостаток в том, что требуется переход к их обратным значениям, ухудшающий прогностические свойства.

Предложен и более общий случай эконометрического моделирования логистического тренда с колебательной компонентой суммой двух кинетических функций с параметрами A_1 , π_1 , A_2 , π_2 и запаздывающими аргументами τ_{31} и τ_{32} :

$$P_k = A_1(T_k - \tau_{31})^{\pi_1} \exp(-\alpha_1(T_k - \tau_{31})) + \\ + A_2(T_k - \tau_{32})^{\pi_2} \exp(-\alpha_2(T_k - \tau_{32})). \quad (14)$$

Идентификацию всех десяти параметров модели (14) позволило осуществить её разложение в биномиальный ряд и последующее конструирование параметрической авторегрессии шестого порядка, подчеркнем, из отсчётов ряда динамики.

Менее «тонкое», но более простое в реализации решение даёт моделирование ряда динамики той же кривой рис. 3, но суммой экспонент вида

$$P_k = A_1 \{ \exp(-\alpha_{11}(T_k - \tau_{31})) - \exp(-\alpha_{12}(T_k - \tau_{31})) \} + \\ + A_2 \{ \exp(-\alpha_{21}(T_k - \tau_{32})) - \exp(-\alpha_{22}(T_k - \tau_{32})) \},$$

приводящее, как показано в диссертации, к параметрической авторегрессии четвёртого порядка.

Для приближения к реальной эконометрической практике была проведена разработка на основе параметрических авторегрессий методов моделирования и прогнозирования ряда динамики функцией Верхульста и моделью (13) с учётом временного дрейфа и экзогенных воздействий, а для случаев «невременной динамики» - предложен метод моделирования с учётом временного фактора, позволяющий ограничиться, соответственно, тремя и четырьмя «невременными» отсчётами, а усреднение обеспечивать использованием дополнительных отсчётов во времени.

Полученный результат даёт возможность существенно упростить «активный» эксперимент, например, при реализации предложенного выше метода построения модели зависимости спроса от цены с переменной эластичностью.

Включение в модели экспоненциальной и двух логистических «невременных» регрессий фактора времени, можно, видимо, считать новым результатом, т.к. до настоящего времени такой учёт известен лишь для линейной регрессии.

Численное моделирование показало, что ряды динамики практически одинаково могут быть описаны и функцией Верхулста, и более простой для моделирования, особенно при учёте гармонической компоненты, экзогенных воздействий и временного фактора, моделью (13), что делает её в определенной мере альтернативной по отношению к функции Верхулста.

Показанный принципиально гетероскедастический характер стохастической компоненты при логистических тенденциях обусловил обязательное применение во всех случаях ОМНК.

В третьей главе отмечены также многочисленные временные и «невременные» приложения моделирования логистическими кривыми:

- при оценке эффективности маркетинговых затрат в зависимости от используемого бюджета;
- для предложенного метода моделирования зависимости спроса от цены для товаров или услуг с переменной эластичностью;
- в целях использования обобщённой логисты второго порядка для описания жизненного цикла товара;
- для моделирования связи между затратами на привлечение заимствованных финансовых средств банком и объёмом этих ресурсов, а также для рекуррентного моделирования объёма собственных средств банка;
- при моделировании коэффициента проходимости интернет - рекламы;
- для двух моделей экономической эволюции и динамики замены технологий;
- при моделировании сбыта в зависимости от маркетинговых приёмов, разнесённых во времени и количественно определённых бюджетами для каждого из них и т.д.

Реализация всех двадцати семи предложенных методов моделирования рядов динамики логистическими трендами (и колебательными компонентами) принципиально не предполагает априорного количественного знания уровня насыщения.

Кроме того, предложенные методы допускают использование сравнительно «коротких» выборок динамического ряда и обладают, в силу этого, малой вычислительной сложностью.

Преимущество по точности (дисперсии) оценок логисты Верхулста перед шестью известными методами идентификации продемонстрированы в

главе 5 диссертации на конкретном числовом примере на одной и той же выборке.

Использование разложений в ряды Маклорена и Тейлора функций Верхулста, Гомперца и $P_k = A \exp\{-V \exp(-CT_k)\}$ позволило свести задачу к моделированию рядов динамики алгебраическим полиномом второго порядка, методы эконометрического моделирования и прогнозирования которого в аддитивном или мультипликативном сочетании с гармониками, рассмотрены в следующей главе.

Четвертая глава включает в себя следующие разделы: эконометрическое моделирование и прогнозирование рядов динамики алгебраическими полиномами первого и второго порядков в сочетании с гармониками; эконометрическое моделирование и прогнозирование гиперболическими полиномами в сочетании с гармониками; эконометрическое моделирование и прогнозирование дробно – рациональными функциями в сочетании с гармониками.

Предложены на основе моделей параметрической авторегрессии новые методы моделирования и прогнозирования рядов динамики алгебраическими полиномами с аддитивной или мультипликативной компонентой, а также случая тренд – циклической компоненты (4) при моделировании тренда линейной функцией.

С помощью параметрических авторегрессий проведена разработка методов моделирования и прогнозирования рядов динамики с аддитивными и мультипликативными гармониками при трендах в виде гиперболических полиномов первого и второго порядков, соответственно:

$$P_k = A + V/T_k,$$

$$P_k = A + V/T_k + C/(T_k)^2. \quad (15)$$

Для гиперболы первого порядка, которая, как и экспонента, логистическая функция Верхулста и линейная функция, относится к числу наиболее употребляемых в практике экономических исследований предложенные методы распространены на случай учёта временного фактора и экзогенных воздействий.

В данной главе предложены на основе параметрических авторегрессий методы моделирования и прогнозирования рядов динамики аддитивными и мультипликативными гармониками и трендами в виде следующих дробно – рациональных функций:

$$P_k = 1/(AT_k + B); \quad P_k = CT_k/(A + T_k); \quad P_k = AT_k + B + C/T_k;$$

$$P_k = \frac{1}{A(T_k)^2 + B(T_k) + C}; \quad P_k = \frac{A(T_k)^2 + B(T_k)}{(T_k)^2 + C};$$

$$Y_k = \frac{A(T_k)^2 + B(T_k)}{(T_k) + C}.$$

Особенностью большинства предложенных в данной главе моделей авторегрессий является их нестационарность: наряду с отсчётами ряда динамики и коэффициентами авторегрессий, связанными с параметрами моделей, они содержат и функции номеров отсчётов.

Например, для одного из наиболее сложных из предложенных методов моделирования ряда динамики трендом моделью (15) при аддитивной гармонической компоненте $\sin(\omega T_k + \phi)$, аддитивной стохастической компоненте ξ_k будем иметь при $\langle k \rangle \geq 11$ нестационарную параметрическую авторегрессию восьмого порядка:

$$\begin{aligned} K^2 Y_k &= 3(K-1)^2 Y_{k-1} - 7(K-2)^2 Y_{k-2} + 13(K-3)^2 Y_{k-3} - 18(K-4)^2 Y_{k-4} + \\ &+ 22(K-5)^2 Y_{k-5} - 22(K-6)^2 Y_{k-6} + 18(K-7)^2 Y_{k-7} - 13(K-8)^2 Y_{k-8} + \\ &+ 7(K-9)^2 Y_{k-9} - 3(K-10)^2 Y_{k-10} + (K-11)^2 Y_{k-11} + \\ &+ \rho_1 \{ (K-1)^2 Y_{k-1} - 3(K-2)^2 Y_{k-2} + 6(K-3)^2 Y_{k-3} - 10(K-4)^2 Y_{k-4} + \\ &+ 12(K-5)^2 Y_{k-5} - 12(K-6)^2 Y_{k-6} + 10(K-7)^2 Y_{k-7} - 6(K-8)^2 Y_{k-8} + \\ &+ 3(K-9)^2 Y_{k-9} - (K-10)^2 Y_{k-10} \} - \rho_2 \{ (K-2)^2 Y_{k-2} - 3(K-3)^2 Y_{k-3} + \\ &+ 5(K-4)^2 Y_{k-4} - 7(K-5)^2 Y_{k-5} + 7(K-6)^2 Y_{k-6} - 5(K-7)^2 Y_{k-7} + \\ &+ 3(K-8)^2 Y_{k-8} - (K-9)^2 Y_{k-9} \} + \rho_3 \{ (K-3)^2 Y_{k-3} - 3(K-4)^2 Y_{k-4} + \\ &+ 4(K-5)^2 Y_{k-5} - 4(K-6)^2 Y_{k-6} + 3(K-7)^2 Y_{k-7} - (K-8)^2 Y_{k-8} \} - \\ &- \rho_4 \{ (K-4)^2 Y_{k-4} - 3(K-5)^2 Y_{k-5} + 3(K-6)^2 Y_{k-6} - (K-7)^2 Y_{k-7} \} + K^2 \xi_k, \end{aligned}$$

где $\rho_1 = 4\cos\omega\Delta$, $|\rho_1| < 4$, $\rho_2 = 24\cos^2\omega\Delta$, $\rho_2 < 24$, $\rho_3 = 32\cos^3\omega\Delta$, $|\rho_3| < 32$, $\rho_4 = 16\cos^4\omega\Delta$, $\rho_4 < 16$, $4K^2\xi_k$ – гетероскедастическая стохастическая компонента.

Оценка частоты гармоник в этом случае может быть произведена из решения «нормальной» СЛАН четвёртого порядка, к которой приводит условие

$$\begin{aligned} \rho_1^\circ, \rho_2^\circ, \rho_3^\circ, \rho_4^\circ = \operatorname{argmin}_{\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4} M \{ & K^2 Y_K - 3(K-1)^2 Y_{K-1} + 7(K-2)^2 Y_{K-2} - \\ & - 13(K-3)^2 Y_{K-3} + 18(K-4)^2 Y_{K-4} - 22(K-5)^2 Y_{K-5} + \\ & + 22(K-6)^2 Y_{K-6} - 18(K-7)^2 Y_{K-7} + 13(K-8)^2 Y_{K-8} - 7(K-9)^2 Y_{K-9} + \\ & + 3(K-10)^2 Y_{K-10} - (K-11)^2 Y_{K-11} - \\ & - \rho_1 \{ (K-1)^2 Y_{K-1} - 3(K-2)^2 Y_{K-2} + 6(K-3)^2 Y_{K-3} - 10(K-4)^2 Y_{K-4} + \\ & + 12(K-5)^2 Y_{K-5} - 12(K-6)^2 Y_{K-6} + 10(K-7)^2 Y_{K-7} - 6(K-8)^2 Y_{K-8} + \\ & + 3(K-9)^2 Y_{K-9} - (K-10)^2 Y_{K-10} \} + \\ & + \rho_2 \{ (K-2)^2 Y_{K-2} - 3(K-3)^2 Y_{K-3} + 5(K-4)^2 Y_{K-4} - 7(K-5)^2 Y_{K-5} + \\ & + 7(K-6)^2 Y_{K-6} - 5(K-7)^2 Y_{K-7} + 3(K-8)^2 Y_{K-8} - (K-9)^2 Y_{K-9} \} - \\ & - \rho_3 \{ (K-3)^2 Y_{K-3} - 3(K-4)^2 Y_{K-4} + 4(K-5)^2 Y_{K-5} - 4(K-6)^2 Y_{K-6} + \\ & + 3(K-7)^2 Y_{K-7} - (K-8)^2 Y_{K-8} \} + \\ & + \rho_4 \{ (K-4)^2 Y_{K-4} - 3(K-5)^2 Y_{K-5} + 3(K-6)^2 Y_{K-6} - (K-7)^2 Y_{K-7} \} \end{aligned}$$

и использования формулы

$$\omega^\circ = (\operatorname{ArcCos} \rho_1^\circ / 4) / \Delta.$$

Оставшиеся параметры модели (15) позволят идентифицировать представление её в виде

$$Y_K(\tau_K)^2 = A_2(\tau_K)^2 + A_1 \tau_K + A_0 + A_4(\tau_K)^2 \operatorname{Sin} \omega^\circ \tau_K + A_5(\tau_K)^2 \operatorname{Cos} \omega^\circ \tau_K + \zeta_K$$

и реализация сглаживания в соответствии с условием

$$A_0^\circ, A_1^\circ, A_2^\circ, A_4^\circ, A_5^\circ = \operatorname{argmin}_{A_0, A_1, A_2, A_4, A_5} M^\circ \{ Y_K(\kappa \Delta)^2 - A_2(\kappa \Delta)^2 - A_1 \kappa \Delta - A_0 -$$

$$- A_4 \sin \omega^\circ \kappa \Delta - A_5 \cos \omega^\circ \kappa \Delta \},$$

где $A_4 = A_3 \cos \phi$, $A_5 = A_3 \sin \phi$.

Тогда оценки A_0° , A_1° , A_2° параметров модели (15) даёт решение соответствующей СЛАУ пятого порядка, а с помощью получаемых оценок A_4° , A_5° проведем расчёт амплитуды

$$A_3^\circ = \{(A_4^\circ)^2 + (A_5^\circ)^2\}^{1/2}$$

и фазы гармонической компоненты

$$\phi^\circ = \text{Arctg}(A_5^\circ/A_4^\circ).$$

Даже для данной сложной модели можно **обосновано говорить о возможности малых выборок** (от 12 до 40 наблюдений).

Анализ формул и многочисленных графиков идентифицируемых моделей говорит, казалось бы, об их многообразии, но учитывая тот факт, что предложенные методы эконометрического моделирования и прогнозирования осуществляются по относительно короткому отрезку кривых, может возникнуть ситуация примерно одинаковой адекватности реальным статистическим данным различных моделей неслучайных компонент.

В этом случае целесообразно исходить не столько из результатов проверки соответствующих статистических гипотез, но скорее из принципов «максимальной непротиворечивости» и «простоты», а также из исторических традиций их моделирования для сравнения новых результатов с предыдущими.

Пятая глава содержит

- описание программного комплекса, реализующего предложенные методы моделирования и прогнозирования;
- примеры моделирования рядов динамики алгебраическими полиномами первого и второго порядков с аддитивной и мультипликативной гармоникой в области гражданской авиации (динамика самолетовылетов и перевозок пассажиров, эксплуатационные расходы, себестоимость тонно – километра, удельный расход топлива и др.);
- примеры моделирования и прогнозирования рядов динамики гиперболическими полиномами рынка продовольственных товаров (реализация овощей, скота и птицы, картофеля, яиц, бахчевых культур в Самарской области, злаковых культур во Франции, спрос на вафли в Приволжском федеральном округе);

- примеры моделирования и прогнозирования рядов динамики рынка недвижимости логистическими функциями (изменение цены 1 кв. м. первичного и вторичного жилья в зависимости от типа квартир, от их расположения на рынке недвижимости в ряде средних и крупных городов РФ);

- примеры моделирования рядов динамики показателей стратегического плана развития муниципальных образований (на примере г. Новокуйбышевска Самарской области).

Пятая глава начинается с описания разработанного программного комплекса, иллюстрированного рис. 4 и рис. 5, реализующего предложенные методы эконометрического моделирования и прогнозирования рядов динамики с помощью ОМНК для следующих неслучайных компонент:

- трендов в виде пяти логистических функций (модели Верхулста, модели Гомперца, модели $P_k = A \exp\{-\text{Вехр}(-CT_k)\}$, модели $P_k = A \exp(-\alpha/T_k)$), модели Верхулста с аддитивной гармонической компонентой);

- гиперболы первого порядка и гиперболы второго порядка с аддитивной и мультипликативной гармоническими компонентами;

- неправильной дробно - рациональной функции $P_k = CT_k/(A + T_k)$;

- той же неправильной дробно - рациональной функции с аддитивной и мультипликативной гармоническими компонентами;

- гиперболического полинома второго порядка модели (15);

- того же гиперболического полинома второго порядка (15), но с аддитивной и мультипликативной гармоническими компонентами.

При помощи данного комплекса и дополнительных отдельных программ осуществлялись расчёты на модельных сигналах в широких диапазонах значений параметров моделей рядов динамики с добавлением стохастической компоненты (центрированной помехи, имеющей нормальный закон распределения и среднее квадратическое отклонение до 10% от значений неслучайных компонент), которые показали вычислительную устойчивость разработанных методов.

Проведено и количественное сравнение предложенного метода моделирования функции Верхулста, обозначенного как ОМНК, с известными методами (Фишера, Юла, Родса, Нейра, метода трех сумм (МТС), метода трёх точек (МТТ)) (таблица 1).

Для этого использовалась одна и та же выборка (отсчёты ряда динамики), которая конструировалась из суммы логисты

$$f_t = \frac{200}{1 + 35 \cdot e^{-0,3t}}$$

и аддитивной случайной компоненты, генерируемой по нормальному закону распределения с разбросом в пределах $\pm 5\%$ от y_t , $A_0 = 200$, $A_1 = 35$, $\alpha = 0,3$.

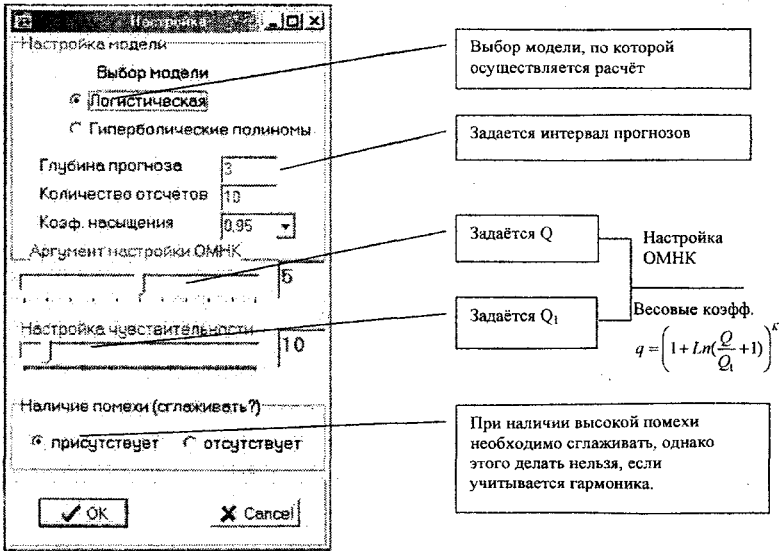


Рис. 4. Вид окна настройки.

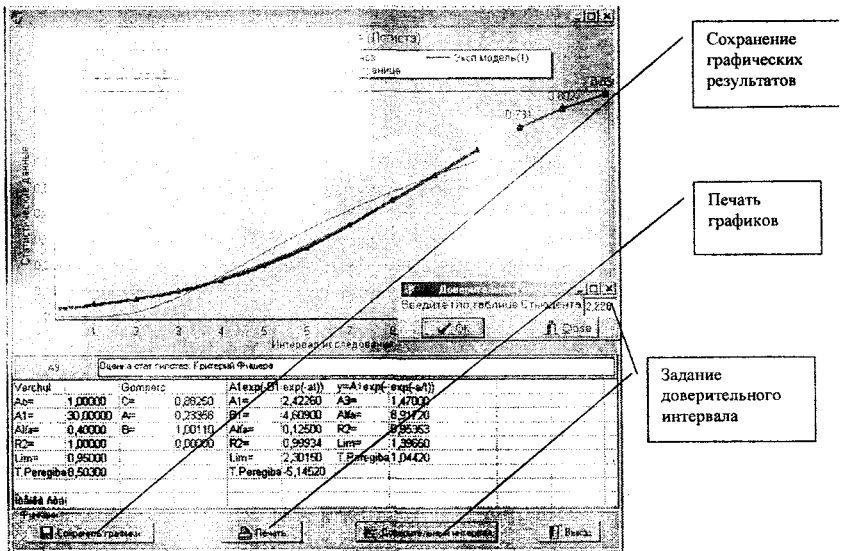


Рис. 5. Вид окна с графическими и табличными результатами.

Из таблицы 1, в которой приведены идентифицированные различными методами значения параметров логист и коэффициентов согласия R^2 , можно сделать вывод о том, что наилучшее приближение к исходным параметрам кривой дал предложенный метод моделирования с использованием ОМНК.

Таблица 1.

Оценки параметров логистической кривой, полученные различными методами

Метод идентификации	α	A_0	A_1	R^2
Фишера	0,29	234	38,8	0,78
Юла	0,39	254	34,1	0,52
Родса	0,29	205	34,6	0,997
Нейра	0,29	220	37,2	0,968
Метод трех сумм	0,29	220	27,9	-
Метод трех точек	0,3	198	24,5	-
ОМНК	0,304	200	35,076	0,998

Разработанные методы прошли экспериментальную проверку на рядах динамики в области гражданской авиации, на рынке продовольственных товаров, на рынке недвижимости; но исторически первым и наиболее масштабным было моделирование рядов динамики показателей стратегического плана развития г. Новокуйбышевска Самарской области, население которого превышает 100 тыс. человек. Программный комплекс создавался именно для этой задачи, является частью целевой программы «Единое информационно - компьютерное пространство г. Новокуйбышевска Самарской области».

Интегрированность экономики г. Новокуйбышевска в экономику Самарской области определила необходимость общих решений для информационного обеспечения управления: согласованность функционирования программного комплекса анализа экономических параметров и прогнозирования развития г. Новокуйбышевска с используемой в Департаменте экономического развития и инвестиций Самарской областной администрации автоматизированной информационной системой «АИС Регион».

В реализованном комплексе, в отличие от автоматизированной информационной системой «АИС Регион», значительное внимание уделено идентификации трендов (неслучайных компонент) экономических показателей.

До настоящего времени всего лишь 15% муниципальных образований России разработали и реализуют стратегические планы развития, целевое стратегическое программирование.

Объясняется это не только сложностями разработки стратегического плана, но и, если не отсутствием, то явной недостаточностью известных инструментальных методов для его реализации.

Традиционный инструментарий анализа и прогноза трендов экономических показателей составляют лишь несколько довольно простых моделей, не позволяющих получить высокой точности при необходимости учёта сезонности или цикличности реальной экономической динамики. Каждый результат анализа остаётся уникальным исследованием, не становясь практикой управленческой деятельности.

Первыми этапами проведенной реализации стратегического плана развития г. Новокуйбышевска Самарской области явились комплексный стартовый анализ города, его позиционирование в экономической системе большей размерности (в Самарской области и в России).

Методическим и аналитическим инструментарием для решения данной задачи, явился SWOT - анализ, который и был выполнен для г. Новокуйбышевска. Определено место разработанных методов эконометрического моделирования и прогнозирования при формировании и реализации стратегического плана развития г. Новокуйбышевска, реализуемого с учётом стратегических целей развития России, причинно - следственные связи, приоритеты и очередности действий, а также показатели, необходимые при стратегическом планировании развития города и управлении им.

В рамках рассматриваемых моделей описывается, например, динамика инвестиций в основной капитал по Самарской области, по г. Новокуйбышевску, индекса физического объёма промышленной продукции городов Самарской области, доходов оплаты труда населения г. Новокуйбышевска, фонда оплаты труда населения г. Новокуйбышевска, месячного оборота общественного питания, выброса загрязняющих веществ (твердых и газообразных) в атмосферу г. Новокуйбышевска, оборота розничной торговли по предприятиям г. Новокуйбышевска и др. Особенностью большего числа показателей экономической динамики таких СЭС является наличие тренд – сезонной компоненты.

В диссертации приведено тридцать восемь рисунков рядов динамики показателей в указанных приложениях, результатов их моделирования и прогнозирования разработанными методами. Исползованные объёмы выборок были от 12 до 36 отсчётов; горизонт прогноза составлял до 1/3 объёма выборки, а погрешность прогнозирования, как правило, не превышала 10 %.

Тем самым экспериментально подтверждено, что разработанные методы эконометрического моделирования и прогнозирования работоспособны при реальных периодах опроса, имеющих место на сегодняшний день в статистической отчётности, обеспечивают высокую

точность на малых выборках, обладают вычислительной устойчивостью; позволяют выбрать модель адекватную реальным данным.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Решена крупная научная проблема в области математических и инструментальных методов экономики: на основе предложенного общего подхода разработанными методами увеличена точность эконометрического моделирования и прогнозирования многокомпонентных рядов динамики показателей СЭС.

2. Количество идентифицируемых моделей «временной» и «невременной» рядов динамики показателей превышает 70:

- экспонента и её сочетания с линейными функциями и гармониками;
- экспоненциальные функции и их сочетания с линейными функциями и гармониками;
- логистические функции и их сочетания с линейными функциями и гармониками;
- сочетания алгебраических полиномов с гармониками;
- сочетания гиперболических полиномов с гармониками;
- сочетания дробно - рациональных функций с гармониками.

3. Увеличена точность эконометрического моделирования и прогнозирования многокомпонентных рядов динамики за счёт:

- уменьшения величины необходимого интервала стационарности многокомпонентных моделей;
- практически важного, приближенного к реальной практике учёта аддитивных и/или мультипликативных сезонных и циклических компонент, временного фактора, экзогенных воздействий трёх моделей, аддитивного характера стохастической компоненты, отказа от априорных количественных сведений о параметрах моделей;
- моделирования параметрическими авторегрессиями по одной исходной выборке: при этом не накапливаются погрешности из – за неизбежных искажений рядов динамики при последовательной реализации известных процедур детрендривания или десезонализации, уменьшаются вычислительные погрешности.

4. Предложен общий подход к эконометрическому моделированию и прогнозированию многокомпонентных рядов динамики показателей с использованием Z – преобразования неслучайных компонент ряда, на основе параметрических моделей авторегрессий рядов динамики показателей: порядок авторегрессий и значения коэффициентов определяют тип моделей и значения их параметров.

В ряде случаев предложены обобщенные авторегрессии (авторегрессии функций отсчётов рядов динамики), нестационарные авторегрессии (содержащие наряду с коэффициентами и функции от номеров отсчётов).

Два известных эвристических метода моделирования оказались частными случаями предложенного общего подхода.

5. К новым результатам можно отнести и предложенное моделирование логистических тенденций с колебательной компонентой на основе композиции двух «кинестических» и четырёх экспоненциальных функций, исследования свойств ряда моделей: сумм экспоненциальных функций и их произведений на линейные функции, логистических кривых.

6. Показано более 20 приложений идентифицируемых моделей социально – экономических процессов и явлений, созданы программные средства, осуществлены 4 внедрения, проведена апробация на 18 - ти конференциях и семинарах.

Получено подтверждение результатов на реальных данных статистики рынка товаров и услуг.

3. ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Семёнычев В.К. Идентификация экономической динамики на основе моделей авторегрессии. – Самара.: АНО «Изд - во СНЦ РАН». 2004. - 243 с.

2. Морозов В.К., Семёнычев В.К., Якубович С.К. Основы теории информационных процессов и управления. - Самара.: «Изд - во Самвен». 1996. - 210 с.

3. Никонов А.И., Семёнычев В.К. Введение в анализ характеристик управляющих и измерительных систем. – Самара.: «Изд – во Самарского государственного технического университета». 1997. - 113 с.

4. Боярский Л.С., Семёнычев В.К. Идентификация логистической функции Верхулста. Вестник учётно - экономического факультета. Самарская государственная экономическая академия. Выпуск № 8. - Самара.: 2003. – С.124 - 127.

5. Боярский Л.С., Семёнычев В.К., Семёнычев В.К. Идентификация логистической кривой с сезонной компонентой. Сб. трудов «Рыночная экономика (состояние, проблемы, перспективы). Самара.: 2004. – С.76 - 80.

6. Морозов В.К., Семёнычев В.К. Имитационное моделирование в проектировании, управлении и прогнозировании информационных технологий. Труды Международного форума информатизации «Информационные коммуникации, сети, системы и технологии». – М.: 1992. – С.30 - 36.

7. Нефедов А.П., Семёнычев В.К. Анализ экспоненциальных моделей экономики на основе моделей авторегрессии. Вестник учётно – экономического факультета. Вып. № 5. – Самара.: Изд - во Самарской гос. экон. акад. 2001. – С.51 - 54.

8. Нефедов А.П., Семёнычев В.К. Идентификация экономических и производственных систем с временным лагом. - Самара.: Вестник СГАУ.

Серия: Актуальные проблемы радиоэлектроники. Изд - во Самарского государственного Аэрокосмического Университета. 2001. - С. 45 - 49.

9.Нефедов А.П., Семёнычев В.К. Методическое, математическое и инструментальное обеспечение стратегического планирования г. Новокуйбышевска. Сб. Научных трудов международной конференции «Современные сложные системы управления». 26 - 28 мая. 2003 г. – Воронеж.: 2003. – С.74 - 78.

10.Нефедов А.П., Семёнычев В.К. Стратегическое планирование в г. Новокуйбышевске: направления работы и инструментарий. Сб. Активизация социально – экономического городов и регионов. СПб.: Евроград. 2003. - С.11 - 15.

11.Нефедов А.П., Семёнычев В.К., Семёнычев Е.В. Оценивание полиномиальных и гиперболических моделей спроса при сезонной компоненте. Сб. материалов Всероссийской научно - практической конференции «Опыт и проблемы маркетинговой деятельности в российском предпринимательстве». – Пенза.: 2003. – С.83 - 85.

12.Самарин Ю.П., Семёнычев В.К. Комплекс ARMA – моделей для исследования динамики. Труды международной конференции «Динамика структур». ЧССР. Карловы Вары.: 1989. – С.89 - 93.

13.Семёнычев В.К. Инструментарий оценки тенденций показателей социально – экономических систем. Сб. статей Международной научно – методической конференции «Современный российский менеджмент: Состояние, проблемы, развитие». Пенза.: 2005. - С.202 – 204.

14.Семёнычев В.К. Использование Z – преобразования для идентификации моделей временных, «невременных» и пространственно – временных рядов. Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». Выпуск № 33. – Самара.: 2005. – С.353 - 357.

15.Семёнычев В.К. Математическое и инструментальное обеспечение экономической безопасности предприятий и отраслей. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени С.П.Королева. - Самара.: СГАУ. 2004. № 2 (6). – С.43 - 47.

16.Семёнычев В.К. Моделирование логистической динамики в условиях реальной экономической практики. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени С.П.Королева. - Самара.: СГАУ. 2005. № 1 (7). – С.56 – 60.

17.Семёнычев В.К. Общий подход к идентификации экономической динамики моделями авторегрессии. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени С.П.Королева. - Самара.: СГАУ. 2004. № 4 (6). – С.63 – 68.

18.Семёнычев В.К. Эконометрическое моделирование расширенного воспроизводства на основе авторегрессии. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени С.П.Королева. – Изд - во СГАУ. - Самара.: 2003. № 2 (4). – С.63 – 68.

19. Семёнычев В.К. Эконометрическое моделирование и прогнозирование экономической эволюции. Сб. Управление организационно - экономическими системами: моделирование взаимодействий, принятие решений. - Самара.: Изд - во СГАУ. 2004.- С.83 - 86.

20. Семёнычев В.К., Боярский Л.С. Эконометрическое моделирование и прогнозирование логистической динамики с учетом линейного тренда и экзогенных воздействий. Сб. Управление организационно - экономическими системами: моделирование взаимодействий, принятие решений. - Самара.: Изд - во СГАУ. 2004.- С.90 - 94.

21. Семёнычев В.К., Бучин А.Ю. Оперативная идентификация линейных динамических систем с транспортным запаздыванием. Сб. трудов «Идентификация и оптимизация управления технологических процессов. - Куйбышев.: 1989. - С.116 - 120.

22. Семёнычев В.К., Жиров В.Г. Информационная система оценки финансового состояния предприятия. Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». - Самара.: 1998. - С.165 - 167.

23. Семёнычев В.К., Семёнычев Е.В. Моделирование логистической тенденции с учетом типовых помех. Вестник СамГТУ. № 32. Серия «Технические науки». - Самара.: 2005. - С.222 - 224.

24. Семёнычев В.К., Семёнычев Е.В. Структурная и параметрическая идентификация комплекса моделей логистической динамики. Межвузовский сборник научных трудов «Высшее образование, бизнес, предпринимательство 2004». Выпуск № 2. - Самара.: Изд - во СамГТУ. 2004. - С.133 - 140.

25. Семёнычев В.К., Тырсин А.П. Способ определения фазового сдвига синусоидальных сигналов. А.с. № 1566299. Б.И. № 19, 1990.

26. Семёнычев В.К., Якимов В.Н. Концепция оптимизации управления сложными стохастическими системами. Труды II Международной научно - практической конференции. «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения информатики, экономики и права». - М.: Приборостроение. 1999. - С.144 - 149.

27. Nefjodow A., Semjonytschew W. Strategische Planung in der Stadt Nowokuibischewsk: Ergebnisse, Arbeitsrichtungen, Instrumentarium. Wirtschaftliche Strategien der Stadtentwicklung. - Munchen.: 2003. - S.248 - 251.