На правах рукописи

Мараховский Александр Сергеевич

Методология моделирования, анализа и синтеза оптимальных динамических свойств и траекторий развития экономических систем

08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора экономических наук

Ставрополь – 2008

Работа выполнена в ГОУ ВПО
«Ставропольский государственный университет»

Научный консультант: доктор экономических наук, профессор **Торопцев Евгений Львович**

Официальные оппоненты: доктор экономических наук, профессор **Бабкин Александр Васильевич**

доктор экономических наук, профессор **Давнис Валерий Владимирович**

доктор экономических наук, профессор **Попова Елена Витальевна**

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов

Защита состоится «25» декабря 2008 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.256.06 при Ставропольском государственном университете по адресу: 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина,1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ставропольского государственного университета.

Автореферат разослан «21» ноября 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Радченко М.В.

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Необходимость постановки и решения задач эффективного прогнозирования, планирования и управления большими экономическими системами обусловлена научно-техническим прогрессом, широким общественным разделением труда, разносторонними хозяйственными связями между различными отраслями экономики, природно-экономическими зонами, районами и предприятиями, которые становятся все более многогранными и сложными. Поэтому без последовательного применения экономико-математических методов и вычислительной техники в экономических расчетах становится невозможно всесторонне и вовремя оценить ход социально-экономических и производственных процессов, своевременно и правильно реагировать на их отклонения от планируемых значений и рационально управлять производством.

В советский период применение методов экономико-математического моделирования на практике часто игнорировалось, так как они входили в противоречие с командно-административными принципами управления государством. Неразвитость математического аппарата для анализа исследуемых моделей (вырожденность матриц, жесткость систем уравнений и т.д.), а также отсутствие достаточной мощности электронно-вычислительных машин затрудняли разработку адекватных моделей и методов прогнозирования при переходе к рыночным принципам функционирования экономики.

Исторически так сложилось, что развитие методов математического моделирования с использованием динамических моделей оказалось гораздо глубже в областях науки напрямую не связанных с экономикой – это электротехника, гидродинамика, автоматическое управление различными системами и т.д. Применение современных компьютерных средств с одновременным заимствованием уже разработанных методов математической обработки из других отраслей науки позволяет существенно повысить уровень развития математического аппарата планирования и прогнозирования с использованием динамических моделей. Реализация такого заимствования, а также перенос опыта управления сложными динамическими системами в экономику делает тему исследования актуальной.

Степень разработанности проблемы. Современная экономическая наука традиционно большое внимание уделяет проблемам планирования и прогнозирования динамики развития макроэкономических систем. Сбалансированные траектории с максимальным темпом роста принято по предложению известного американского экономиста, лауреата Нобелевской премии П. Самуэлсона именовать магистралями. Первую магистральную модель построил в 30-х годах 20-го века выдающийся американский математик Дж.фон Нейман. Эта модель, которую называют моделью расширяющейся экономики, оказала глубокое воздействие на становление математической экономики. Теоретические положения магистральной теории были обобщены в модели Гейла, частным случаем которой является модель В. Леонтьева.

Компактная форма записи и технические приемы расчетов модели межотраслевого баланса были разработаны Р. Стоуном.

В советское время особое внимание уделялось системе оптимального функционирования экономики и всячески подчеркивалось значение балансовых исследований и межотраслевого анализа для оценки гипотез социально-экономического развития и вариантов научно-технического прогресса, для анализа темпов и пропорций экономического роста, а также для решения иных задач макроэкономического прогнозирования. Задачами математического моделирования и практической реализацией планов в этой области занимались В.С. Немчинов, Л.В. Канторович, В.В. Новожилов, В.Л. Макаров, А.Г. Аганбегян, А.Г. Гранберг, М.С. Красс, В.В. Косов и др. В 1970-х годах появились теоретические исследования Э.Ф. Баранова, И.С. Матлина, А.Я. Дубовицкого, А.А. Милютина, А.М. Тер-Крикорова, направленные на решение вопроса об оптимизации показателей модели межотраслевого баланса. Это несравненно более сложная задача, чем однократный расчет, и ее эффективное решение возможно лишь в том случае, если оптимальную межотраслевую модель использовать как один из модулей системы оптимального индикативного планирования экономики в целом. Наиболее известными являются динамические и оптимизационные модели, разработанные в НИЭИ при Госплане СССР (Ф.Н. Клоцвог), в ИЭиОПП СО АН СССР (Н.Ф. Шатилов), в ГВЦ Госплана СССР (Б.М. Смехов, Я.М. Уринсон); модель межотраслевых взаимодействий (ИЭП НТП АН СССР, Ю.В. Яременко); модель «доход-товары» (В.Д. Белкин, В.В. Ивантер).

Среди современных макроэкономических моделей следует отметить RIM (Russian Interindustry Model), построенную группой сотрудников Института народнохозяйственного прогнозирования РАН под руководством Г.Р. Серебрякова. Модель имеет практическую направленность и предназначена для макроэкономического анализа и прогноза современной экономики России. Помимо центральной модели RIM, система моделей включает региональную межотраслевую модель, годовую учебно-отладочную макроэкономическую модель MANAMORU, квартальную макроэкономическую модель российской экономики QUMMIR, ценовую модель межотраслевого баланса, отраслевые подмодели.

Все перечисленные выше модели основаны на расширенных моделях статического межотраслевого баланса. Расширение связано с введением балансов по основным производственным фондам, учету трудоемкости, заработной платы и т.д. Математическим аппаратом этих моделей являются системы линейных уравнений и неравенств.

Пионерской работой раскрывающей возможности применения балансовых моделей в виде систем дифференциальных уравнений для анализа устойчивости и прогнозирования экономической динамики является докторская диссертация Е.Л. Торопцева. Исследования были основаны на анализе собственных динамических свойств экономических систем, посредством вычисления и оптимизации расположения на комплексной плоскости собственных чисел. Моделирование конечного спроса как динамической нагрузки на макросистему представлено в работах Т.Г. Гурнович.

Однако недостаточно проработанной является методология управления траекториями развития макроэкономических систем для получения наперед заданных сбалансированных режимов функционирования, что справедливо как для детерминированного, так и для стохастического подхода к описанию движений. Отсутствуют конкретные методы и методики, позволяющие оценить оптимальные параметры макросистем, находящихся в процессе достижения цели сбалансированного развития. Требуют дальнейшей проработки и детализации вопросы устойчивости, управляемости и чувствительности динамических экономических систем. Необходима разработка моделей макросистем, учитывающих влияние случайных факторов, воздействующих на конечный спрос. Актуальность проблемы, а также недостаточность ее разработанности на теоретическом, методологическом, экономико-математическом и программно-прикладном уровнях определили цель и задачи диссертационного исследования.

Соответствие темы диссертации требованиям паспорта специальностей ВАК (по экономическим наукам). Исследование выполнено в рамках специальности 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики, в соответствии с паспортом специальности п. 1.5 – «Разработка и развитие математических методов и моделей глобальной экономики, межотраслевого, межрегионального и межотраслевого социально-экономического анализа, построение интегральных социально-экономических индикаторов», п. 1.8 «Математическое моделирование экономической конъюнктуры, деловой активности, определение трендов, циклов и тенденций развития» и п. 2.1 «Развитие теории, методологии и практики компьютерного эксперимента в социально-экономических исследованиях и задачах управления».

Объектом исследования является макроэкономическая система России, которая может быть формализована в виде модели межотраслевого баланса.

Предметом исследования являются потоковые материально-вещественные процессы в макроэкономических системах, теоретические и практические проблемы их математического моделирования для эффективного машинного экспериментирования и управления экономической динамикой.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является разработка методологии анализа и синтеза балансовых динамических моделей, позволяющих осуществлять прогнозирование и планирование развития макроэкономических систем на кратко- и среднесрочных временных горизонтах.

В соответствии с целью поставлены и решены следующие основные научные задачи:

- исследование состояния информационно-статистической базы и современного уровня разработанности динамических и оптимизационных моделей межотраслевого баланса;

- разработка инструментария индикативного планирования и прогнозирования сбалансированного роста макроэкономических систем, учитывающего собственные составляющие движения этих систем, частоты, инкременты и декременты компонент экономической динамики;

- анализ моделей межотраслевого баланса учитывающих затраты на создание запасов сырья и материалов, возмещение выбытия и амортизации, поставки продукции фондообразующих отраслей на основе таких универсальных алгебраических характеристик как собственные числа и собственные вектора;

- разработка методологии формирования эталонных траекторий сбалансированного развития макроэкономических систем;

- проектирование алгоритма оптимизации собственных динамических свойств экономических систем на основе численного поиска совокупности варьируемых параметров системы;

- разработка метода разделения неустойчивых экономических систем на подсистемы, допускающие применение аппарата оптимального управления устойчивых систем;

- интегрирование динамических моделей межотраслевого баланса с вырожденной матрицей капитальных коэффициентов;

- формирование на основе статической модели Леонтьева-Форда динамической модели, учитывающей поступление загрязнений в окружающую среду с течением времени;

- разработка методологии синтеза параметров моделей макроэкономических систем, находящихся в процессе оптимального перехода к сбалансированному состоянию;

- определение совокупности параметров межотраслевых моделей, позволяющих выводить экономическую систему на магистральный путь развития по траекториям, которые приближают пропорции валового внутреннего продукта к оптимальным;

- анализ чувствительности, устойчивости и управляемости моделей динамических систем балансового типа;

- разработка методологии построения стохастических динамических моделей макроэкономических систем, учитывающих случайный характер изменения конечного спроса;

- определение и минимизация дисперсии валовых выпусков стохастической модели макросистемы;

- определение оптимальных параметров управления в модели макросистемы для двух режимов ее функционирования – возмущенного и невозмущенного;

- разработка комплекса программ, предназначенных для математического моделирования переходных процессов, протекающих в сложных экономических системах, а так же проверки адекватности полученных моделей, расчета прогнозных значений, синтеза параметров балансовых моделей экономических систем и траекторий их развития.

Теоретической и методологической основой исследования явились экономические законы, категории и теоретические положения функционирования макроэкономических систем разработанные экономистами-классиками Дж.Р. Хиксом, Р. Стоуном, М. Фридменом, В.В. Леонтьевым, В.С. Немчиновым, Л.В. Канторовичем, Дж. фон Нейманом, М. Моришима, М. Кубонива, Х. Никайдо и современными учеными Е.Л. Торопцевым, П.П. Федоренко, И.Н. Драгобыцким, А.О. Барановым, В.Н. Павловым и др.

В работе применялась методология моделирования экономических объектов с использованием методов экономической кибернетики и теории автоматического регулирования развитых Р. Алленым, О. Ланге, Н. Кабриновским, М. Калецким, К. Багриновским, Н. Красовским, П. Крутько.

На различных этапах работы использовались следующие методы: аналитический, абстрактно-логический, экономико-статистический, монографический, графический, экономико-математического моделирования, анализа и синтеза динамических систем.

Информационно-эмпирической базой исследования явились труды отечественных и зарубежных ученых-экономистов, разработки научно-исследовательских учреждений, материалы научных конференций и личные наблюдения автора. Источниками исходной информации послужили статистические материалы Федеральной службы государственной статистики России. Таблицы «Затраты - выпуск», составленные в концепции системы национальных счетов и отражающие особенности экономики России. Аналитические данные отечественной и зарубежной справочной и научной литературы, научно-исследовательских учреждений, авторские модели, компьютерные программы и расчеты.

Рабочая гипотеза. Реализуемое государством планирование и прогнозирование межотраслевых макроэкономических показателей должно опираться на комплексы моделей, включающих динамические модели межотраслевого баланса в виде систем дифференциальных уравнений.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработаны теоретико-методологические основы исследования и управления динамическими свойствами сложных экономических систем, позволяющие синтезировать структуру макроэкономики, обладающей магистральными темпами роста, которые достигаются за счет применения новых методов синтеза оптимальных параметров конечного спроса. Предложенные экономико-математические решения базируется на применении аппарата современной теории оптимального управления и прикладного нелинейного программирования для анализа собственных динамических

свойств экономических систем и синтеза высокого качества траекторий переходных процессов, включающего эффективные алгоритмы многопараметрической численной оптимизации, и на программном комплексе, реализующем этот аппарат.

2. Разработан математический аппарат для моделирования, анализа и синтеза желаемых динамических свойств, к которым относятся показатели устойчивости, управляемости, наблюдаемости и чувствительности к вариации параметров управления конечным спросом, влияющих на траектории развития экономических систем и зависящих от собственных чисел и собственных векторов матрицы коэффициентов замкнутой по потреблению модели межотраслевого баланса.

3. Разработаны методы анализа динамики развития макроэкономических систем на основе интегральных индикаторов, которыми являются собственные числа матрицы закрытой модели межотраслевого баланса. Методы отличаются возможностью варьирования всего спектра собственных чисел. Применение индикаторов для прогнозирования развития макроэкономических систем позволяет, анализировать текущее состояние и перспективы развития экономической системы, используя при этом минимальное число параметров.

4. Анализ собственных динамических свойств (СДС) выявил существование трех типов замкнутых систем:

- системы с отрицательным спектром собственных чисел, расположенных целиком в левой части комплексной плоскости, устойчивые в классическом понимании теории систем;

- системы с одним положительным собственным числом, называемые магистральными макросистемами, в которых постоянно сохраняются пропорции валового производства;

- системы с двумя и более положительными собственными числами, в которых присутствуют конкурирующие отрасли и при этом одни отрасли развиваются, а другие характеризуются падающими объемами производства.

5. Предложены методы формирования траекторий сбалансированного развития, позволяющие составлять замкнутые динамические модели межотраслевого баланса, динамические свойства которых являются эталонными для развивающихся экономических систем, что актуализирует постановку и решение задачи преследования, известной из теории дифференциальных игр и общей теории управления (задачи управляемого движения). Наличие эталонных систем с заранее заданными свойствами, позволяет указать цель и направление эволюции произвольной макроэкономической системы, что необходимо для расстановки приоритетов развития национальной экономики и формирования целостной экономической политики.

6. Реализован метод построения эталонной магистрали, основанный на численной минимизации функционала качества собственных динамических свойств экономических систем, результатом которого является матрица

замкнутой системы, элементы которой гарантируют постоянное расширение экономики при первоначально заданных не оптимальных и не сбалансированных пропорциях валового производства.

7. Обоснована возможность расчленения неустойчиво развивающихся макросистем на устойчивые подсистемы. Предложен метод, использующий преобразование подобия как средство разделения неустойчивых макроэкономических систем на подсистемы, в которых применимы методы оптимального управления. Использование преобразования подобия позволило разбить исходные неустойчивые макросистемы на подсистемы, в которых возможно применение методов синтеза развитых для устойчивых систем, с целью получения оптимальных параметров конечного потребления и функционирования макроэкономических систем в сбалансированном режиме.

8. Обоснована возможность использования метода построения эталонных систем и траекторий, применяя балансовые модели, в которых матрица капитальных коэффициентов вырождена. Метод основан на представлении дифференциальных уравнений модели в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений, алгоритм решения которой позволяет получить эталонные траектории вырожденных моделей макросистем. Данный метод применим к динамическому варианту модели Леонтьева-Форда, с помощью которой учитывались затраты на предотвращение загрязнений, выбрасываемые в окружающую среду с течением времени.

9. Разработана методика расчета оптимальных траекторий переходных процессов в развивающихся макросистемах, основанная на синтезе линейно-квадратичного регулятора, позволяющего сформировать внешнее инвестиционное или импортно-экспортное воздействие на экономику для оптимального достижения траекторий эталонных систем. В отличие от других методик, например u-оптимального управления, применение современных алгоритмов многомерной оптимизации, реализованных в математическом пакете MatLab, позволяет оперировать большим количеством варьируемых параметров, что способствует успешному решению задач с большой размерностью обрабатываемых моделей.

10. Осуществлен синтез коэффициентов матриц прямых материальных и капитальных затрат, а также матриц импортно-экспортного сальдо макроэкономических систем, находящихся в процессе перехода к сбалансированному состоянию, которое достигается путем преследования траекторий эталонных систем. Синтез параметров основан на решении обратной задачи определения матричных коэффициентов по сформированным оптимальным траекториям переходного процесса развития макросистем. Вычисление матричных коэффициентов модели переводит задачу из математической плоскости в экономическую, в связи с чем результаты синтеза могут быть использованы лицами, ответственными за принятие экономических решений с целью достижения их эффективности.

11. Определены критерии чувствительности, устойчивости и управляемости детерминированных динамических моделей макросистем. Критерии чувствительности получены на основе передаточной функции динамической системы и отражают чувствительность самой передаточной функции, частотных характеристик, переходных характеристик, корней характеристического уравнения к варьируемым параметрам модели макросистемы. Устойчивость моделей оценивалась по критерию Михайлова, с помощью которого определялась граница устойчивости, отличающаяся постоянным уровнем ВВП. Теоретически сохранять такое состояние средствами и методами экономического регулирования можно сколь угодно долго, поддерживая постоянный, вышедший на насыщение уровень валовых выпусков, тем самым, заставляя макросистему стабильно функционировать. Управляемость моделей оценивалась с использованием матрицы управляемости специального вида и грамиана управляемости, которые показали, что управление темпами развития макросистем целесообразно проводить с использованием всех отраслей участвующих в формировании ВВП. Рассмотренные критерии увеличивают информативность моделей макроэкономических систем, что необходимо для экономистов-аналитиков, занимающихся тонкой настройкой и анализом производственных планов.

12. Обосновано применение методологии анализа линейных стохастических систем к динамическим межотраслевым моделям, что позволило исследовать статистическую точность, управляемость и проводить оценивание основных параметров макросистем при наличии в них случайных составляющих. Анализ основан на разработанных в теории систем и автоматического управления методах контроля параметров стохастических динамических систем. Стохастический подход для анализа, синтеза и управления моделями макроэкономических систем содержит в себе все преимущества детерминированного подхода и учитывает влияние случайных факторов, тем самым расширяет границы применимости стохастических моделей, которые более адекватно описывают реальную экономическую ситуацию в стране.

13. Разработан и защищен свидетельствами об официальной регистрации программный комплекс, имеющий модульную структуру, в которой реализованы алгоритмы анализа и синтеза параметров многомерных макроэкономических систем. Комплекс содержит набор программных инструментов, позволяющих решать различные задачи планирования и прогнозирования, используя ежегодно публикуемые в статистическом сборнике «Система таблиц «Затраты - Выпуск» России» данные Федеральной службы государственной статистики. Комплекс программ, позволяет проводить математическое моделирование процессов, протекающих в макроэкономических системах, а так же предназначен для проверки адекватности полученных моделей, расчета прогнозных и оптимальных значений параметров моделей и траекторий развития экономических систем.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в разработке новых теоретико-методологических положений, математического аппарата и прикладного программного обеспечения, позволяющих прогнозировать и планировать развитие макроэкономических систем по заданным траекториям. Конкретное приращение научного знания заключается в следующем:

- На основе интегральных индикаторов, которыми являются собственные числа и векторы матрицы состояния межотраслевой балансовой модели, предварительно приведенной к нормальной форме Коши, разработаны методы исследования динамики сложных экономических систем. Отличительной особенностью методов является их применимость, как к устойчивым, так и к неустойчиво развивающимся экономическим системам. Использование индикаторов для прогнозирования развития макроэкономических систем позволяет анализировать текущее состояние и перспективы развития производства, варьируя при этом минимальным числом параметров.

- Разработаны методы формирования сбалансированных траекторий устойчивого развития, позволяющие получать замкнутые по потреблению балансовые модели макроэкономики, обладающие так называемыми эталонными динамическими свойствами, что позволяет оценить существующую динамику с точки зрения возможной или эталонной. Наличие эталонных систем с заранее заданными свойствами, позволяет указать цель и направление эволюции произвольной макроэкономической системы, что необходимо для расстановки приоритетов развития национальной экономики.

- На основе линейно-квадратичного функционала качества регулирования, учитывающего затраты на управление, разработана методика реализации оптимального перехода траектории произвольной развивающейся экономической системы к траектории – эталону. Методика основана на синтезе так называемого оптимального экономического регулятора, эффект от работы которого формализуется в виде матрицы коэффициентов, замыкающих открытую модель по потреблению. Процедура замыкания позволяет сформировать необходимое внешнее инвестиционное или импортно-экспортное воздействие на экономику для достижения эталонных траекторий. В отличие от других методик управления имеется возможность корректного перехода к задаче синтеза коэффициентов затрат межотраслевых балансовых моделей.

- Решена обратная задача перехода от формальных параметров регулирования, используемых для преследования эталонных траекторий, к параметрам межотраслевых моделей – матрицам прямых материальных, капитальных и трудовых затрат, которые определяются на основе сформированных оптимальных траекторий переходного процесса.

- Для динамических межотраслевых балансовых моделей определены критерии чувствительности к варьируемым параметрам, устойчивости в развитии и управляемости конечным спросом, позволяющие судить о качестве переходных процессов макросистем, не прибегая к непосредственному интегрированию. Критерии чувствительности получены на основе исследования свойств передаточной функции динамической системы и отражают чувствительность самой передаточной функции, ее частотных и переходных характеристик к варьируемым параметрам модели макросистемы. Устойчивость моделей оценивалась по критерию Михайлова, с помощью которого определялась граница устойчивости, отличающаяся постоянным уровнем валового внутреннего продукта. Теоретически сохранять такое состояние средствами и методами экономического регулирования можно сколь угодно долго поддерживая постоянный уровень валовых выпусков, тем самым заставляя макросистему стабильно функционировать. Управляемость моделей оценивалась с использованием матрицы управляемости специального вида и грамиана управляемости, которые показали, что управление темпами развития макросистем целесообразно проводить с использованием всех отраслей участвующих в формировании ВВП. Рассмотренные критерии увеличивают информативность моделей макроэкономических систем, что необходимо для экономистов-аналитиков, занимающихся более тонкой настройкой и анализом планов.

- Осуществлено с минимальной дисперсией практическое оценивание вектора ВВП в балансовой модели «затраты-выпуск» с наличием в системе случайных колебаний, возникающих под действием непредсказуемо изменяющегося спроса, цен и других экономических факторов.

- Определены оптимальные параметры конечного спроса двух режимов управления макросистемой – возмущенного и невозмущенного. Для возмущенного режима синтезирован закон управления конечным спросом из условия осуществления назначенных траекторий движения по математическому ожиданию из начального состояния в конечное. В невозмущенном состоянии закон управления был сформирован таким образом, что позволял удерживать валовые выпуски в окрестности устойчивого функционирования на определенном стабильном уровне. Стохастический подход для анализа, синтеза и управления моделями макроэкономических систем содержит в себе все преимущества детерминированного подхода и учитывает влияние случайных факторов, тем самым расширяет границы применимости стохастических моделей, которые более адекватно описывают экономическую ситуацию в стране.

- Разработан программный комплекс, предназначенный для решения широкого круга научно-исследовательских, проектных, управленческих, прогнозных задач, использующий макроэкономические данные Федеральной службы государственной статистики, имеющий модульную структуру, в которой реализованы алгоритмы анализа и синтеза параметров многомерных экономических систем.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в том, что ее основные положения расширяют границы применимости математического аппарата моделирования, прогнозирования и планирования в экономике, за счет использования методологии анализа и оптимального синтеза динамических балансовых моделей. Разработанные в ходе исследования методы и модели реализованы в программном комплексе и внедрены в работу комитета экономического развития и торговли администрации города Ставрополя на микроуровне городских субъектов, а также на мезоуровне в виде методических рекомендаций по оптимальному распределению материальных, капитальных, трудовых и других затрат, с целью повышения устойчивости и сбалансированности развития региональной экономической системы (на материалах Ставропольского края).

Методические материалы, разработанные в процессе диссертационного исследования, использованы в учебном процессе Ставропольского государственного университета для преподавания дисциплин «Экономико-математические методы и моделирование», «Имитационное моделирование экономических процессов», «Теория систем и системный анализ», «Социально-экономическое прогнозирование», «Информационные системы в экономике», «Математическая экономика».

Апробация результатов исследований. Основные методологические положения диссертационной работы и предложения по практической их реализации докладывались автором на:

- международных научно-практических конференциях: «Развитие форм и инструментария управления аграрной экономикой региона» (г. Ставрополь, 2005г.), «Системный анализ в проектировании и управлении» (г. Санкт-Петербург, 2005-2007г.), «Современные проблемы развития экономики и социальной сферы» (г. Ставрополь, 2005г.), «Современные формы и методы управления аграрной экономикой» (г. Ставрополь, 2005г.), «Конкуренция на российских рынках» (г. Ставрополь, 2006г.), «Информационные системы, технологии и модели управления производством» (г. Ставрополь, 2007г.), «Актуальные вопросы развития финансовых отношений региона» (г. Ставрополь, 2007г.), «Менеджмент качества и устойчивое развитие экономических систем» (г. Ставрополь, 2007г.), «Современные финансово-экономические проблемы в условиях глобализации» (г. Ставрополь, 2008г.), «Экономическое прогнозирование - модели и методы» (г. Воронеж, 2008г.), «Инфокоммуникационные технологии в науке, производстве и образовании» (г. Ставрополь, 2008г.);

- ежегодных Межрегиональных и Межвузовских научно-практических конференциях «Экономика регионов России: анализ современного состояния и перспективы развития» (г. Ставрополь, 2004г.), «Современные проблемы развития экономики и социальной сферы России» (г. Ставрополь, 2004г.), «Математическое моделирование и компьютерные технологии» (г. Кисловодск, 2004г.), «Экономико-статистические исследования отраслей народного хозяйства» (г. Ставрополь, 2004г.), «Совершенствование методов управления социально-экономическими процессами и их правовое регулирование» (г. Ставрополь, 2005г.), «Экономика регионов - пути повышения конкурентоспособности аграрного сектора» (г. Ставрополь, 2005г.), «Университетская наука – регионy» (г. Ставрополь, 2006-2007г.), «Информационные системы, технологии и модели управления производством» (г. Ставрополь, 2006г.), «Актуальные вопросы развития финансовых отношений региона» (г. Ставрополь, 2006г.).

Алгоритмы расчетов реализованы с использованием программно-математической среды MatLab, о чем имеются авторские свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ:

- Программа анализа и управления циклическими колебаниями макроэкономической системы с вырожденной матрицей капитальных затрат. АС №200561160, 2005г.

- Программа вычисления траекторий функционирования макроэкономической системы, развивающейся в заданном направлении эталонной системы. АС №2006612903, 2006г.

- Программа определения импортно-экспортных финансовых потоков, необходимых для функционирования макроэкономической системы в заданном режиме. АС №2006612902, 2006г.

- Программа контроля валовых выпусков макроэкономической системы посредством управления подсистемой инерционного конечного спроса. АС №2006612901, 2006г.

Публикации результатов исследований. Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 52 печатных работах общим объемом 28.5 п. л. (в том числе авторских 23.3 п.л.), из них 2 монографии, 14 научных статей, в которых из списка ВАК – 7, 36 докладов на конференциях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы (257 наименований), изложена на 297 страницах, включает 5 таблиц, 34 рисунка.

Структура диссертации:

6.4 Модуль контроля валовых выпусков макроэкономической системы посредством управления подсистемой инерционного конечного спроса

6.5 Алгоритмы многомерной параметрической минимизации функционала качества

6.6 Выводы по главе 6

Заключение

Список используемой литературы

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы исследования, ее научная новизна, определены цель и задачи, отражена апробация полученных результатов и их практическая значимость.

В первой главе «Основные возможности и информационное обеспечение балансовых моделей» завершается начатое во введении исследование состояния проблемы. Представлен литературный обзор, посвященный межотраслевым балансовым исследованиям, рассмотрены различные виды статических, динамических и оптимизационных моделей. Рассмотрены направления использования динамических моделей межотраслевого баланса, основу которых составляет межотраслевая балансовая модель В. Леонтьева:

$$X(t) = AX(t) + B\dot{X}(t) + Y(t) \quad \text{или} \quad \dot{X}(t) = B^{-1}(E-A)X(t) - B^{-1}Y(t)\ , \qquad (1)$$

где $X(t)$ – валовые выпуски; A – матрица коэффициентов прямых затрат, B – матрица капитальных затрат; $Y(t)$ – конечный продукт, характеризующий общественное потребление; E – единичная матрица; точка над $X(t)$ обозначает операцию дифференцирования.

Отражено текущее состояние информационно-статистической базы балансовых исследований. Отмечен низкий уровень качества отечественной статистики, который может быть повышен за счет применения современных средств телеметрии, Интернет - технологий, а также более совершенных, адекватных и качественных моделей.

Обеспечение устойчивого роста и постоянного расширения ВВП, является ключевой проблемой современного этапа развития экономики нашей страны. Этот процесс связан с переводом экономики на сбалансированные темпы развития, которые можно достичь, соблюдая определенные пропорции материальных, капитальных и общественных затрат.

В главе рассмотрены цели функционирования макросистем, под которыми понимается такое их состояние, при котором происходит процесс постоянного и сбалансированного расширения валовых выпусков или магистрального развития. Для общего случая данный процесс может быть любым произвольным, наперед заданным процессом, при котором достигается локальный оптимум параметров макроэкономической системы. В главе введено понятие эталонной системы, динамические свойства и траектории развития которой, являются оптимальными с точки зрения сбалансированности. Определен круг задач, которые надо решить для успешного синтеза оптимальных параметров развивающейся макросистемы.

Вторая глава «Анализ решений моделей межотраслевого баланса» содержит анализ различных моделей межотраслевого баланса. При анализе моделей были выделены следующие этапы: выбор модели, оценка параметров модели, вычисления на основе моделей и проверка результатов расчета, которая состоит в сопоставлении прогноза с фактом. Поскольку прямая проверка модели не всегда возможна, а именно эта ситуация имеет место при экономико-математическом моделировании, то осуществлялась косвенная проверка, которая состояла в повторном анализе качества оценки параметров модели и анализе последствий замены точной формулы приближенной.

В главе представлен анализ чувствительности решений при варьировании параметров статической модели. Из вектора конечных выпусков отраслей был выделен прирост запасов. Более точная количественная оценка запасов сырья и материалов, необходимых для бесперебойной работы предприятий и отраслей, может быть осуществлена в динамической модели межотраслевого баланса. Поэтому был проведен анализ дискретной динамической модели и рассмотрена ее устойчивость. Устойчивость решений системы уравнений модели анализировалась по характеру динамики валовых выпусков отраслей при однократном увеличении конечных выпусков. Рост цен на сырье и материалы при одновременном увеличении норм запасов снижает порог продуктивности модели межотраслевого баланса, приводит к увеличению коэффициентов полных затрат и, следовательно, делает систему уравнений межотраслевого баланса более чувствительной к ошибкам в исходных данных.

Глава содержит анализ соотношения возмещения выбытия и амортизации в динамической модели межотраслевого баланса. Погрешности исчисления величины амортизационных отчислений связаны как с установлением норм амортизации по видам оборудования, так и с оценкой стоимости функционирующих в отраслях производственных фондов. При определении нормы амортизационных отчислений трудно установить ожидаемый моральный износ техники. Расчет амортизации относительно балансовой стоимости производственных фондов приводит к завышению величины амортизационных отчислений, если номинальная стоимость производственных фондов выше действительной их стоимости. Пересчет производственных фондов в ценах воспроизводства связан как с дополнительными издержками по проведению такой операции, которая должна проводиться регулярно, так и с неизбежными неточностями пересчета: такая переоценка не может быть простой, однозначной и точной.

В главе рассмотрены частные случаи открытой динамической модели межотраслевого баланса с выделением поставок продукции фондообразующих отраслей. Анализ модели и ее решения показывает ограниченность моделей экономической динамики, в которых будущие состояния определяются начальными условиями. В систему уравнений модели нужно ввести условия, которые предопределили бы распределение капитальных вложений по отраслям и норму накопления. Представлен прием преобразования системы уравнений, позволяющий найти решение задачи в явном виде и поэтому интересный с точки зрения сопоставительного анализа решения динамической и статической моделей межотраслевого баланса.

Глава завершается построением замкнутой динамической модели межотраслевого баланса, в рамках которой может быть дан ответ на вопрос о народнохозяйственных темпах и пропорциях. С ростом масштабов производства резко возрастает число факторов, которые необходимо учесть для ответа на этот традиционный вопрос экономической теории. Нужны способы, при помощи которых удалось бы избежать прогрессирующего роста числа уравнений и переменных при переходе к описанию экономической динамики при сохранении основных черт многоотраслевого хозяйства.

Определение темпов и пропорций в замкнутой динамической модели основывается на достаточно большом объеме информации, и в то же время сохраняется простая структура модели. Таким образом, достигается компромисс между чрезмерной сложностью и упрощением.

Теория замкнутых динамических моделей отвечает также на вопрос, каким образом может быть найдено компромиссное решение о выборе средств для достижения альтернативных долговременных целей экономической динамики. Наличие магистрального эффекта упрощает постановку и решение важной практической задачи согласования объемов производства различных отраслей.

В третьей главе *«Методы формирования эталонных траекторий* сбалансированного развития макросистем» описаны методы, позволяющие формировать эталонные траектории сбалансированного развития макроэкономических систем. Методики формирования эталонных траекторий ВВП основаны на изменении собственных динамических свойств макросистем. Управление валовыми выпусками сводится к такому выбору собственных чисел и собственных векторов, который бы обеспечивал постоянный сбалансированный рост и расширение эталонной экономики. Анализ СДС выявил существование трех типов замкнутых систем:

1. Системы с отрицательным спектром собственных чисел, расположенных целиком в левой части комплексной плоскости, устойчивые в классическом понимании теории систем.

2. Системы с одним положительным собственным числом, называемые магистральными макросистемами.

3. Системы с двумя и более положительными собственными числами, в которых присутствуют конкурирующие отрасли и при этом одни отрасли развиваются, а другие характеризуются падающими объемами производства.

Для этих типов систем собственные числа являются своеобразными индикаторами развития и функционирования. Динамическая модель межотраслевого баланса В. Леонтьева позволяет использовать эти индикаторы для планирования эффективных траекторий функционирования производственного сектора экономики.

Первый метод основан на численной минимизации функционала качества собственных динамических свойств. Функционал удовлетворяет следующим требованиям. Во-первых, он учитывает расположение в комплексной плоскости некоторой группы доминирующих корней, определяющих динамические свойства системы, предоставляет возможность задания желаемой степени экономического роста и степени колебательной устойчивости. Во-вторых, он обладает необходимыми математическими свойствами, позволяющими использовать его в традиционных алгоритмах численного поиска, в связи с чем, функционал является достаточно гладким, т.е. имеет непрерывные производные по варьируемым параметрам. Функционал имеет вид:

$$F = \sum_{\substack{Re(\lambda_i) \geq -\lambda^- \\ Re(\lambda_i) \neq max(Re(\lambda_i))}} \left(-\lambda^- - Re(\lambda_i)\right)^2 + \sum_i \left(Im(\lambda_i)\right)^2 + \underset{Im(\lambda_i)=0}{\left(\lambda^+ - max(Re(\lambda_i))\right)^2}, \quad (2)$$

где λ^+ - заданная величина степени экономического роста; λ^- - заданный показатель демпфирования колебательных составляющих; Re и Im – действительная и мнимая части комплексного числа;

Формирование F можно пояснить с использованием координат на комплексной плоскости (рисунок 1). Функция F зависит как от действительных корней 1-3, так и от комплексно-сопряженных пар 4-6. 7-ой корень не участвует в суммах F, т.к. находится левее границы λ^- и, следовательно, его уровень демпфирования достаточен. 6-ой корень также находится за границами коридора [λ^-, λ^+], но, обладая мнимой частью, подлежит переносу за границу λ^-. Корни 2-6 подлежат переносу за границу λ^- для установления заданного уровня демпфирования составляющих движений.

Решающее значение при определении темпов роста оказывает 1-ый корень, т.к. он является максимальным среди действительных положительных собственных чисел. Смещение его за границу λ^+ обеспечивает заданный уровень и темпы расширения валовых выпусков макроэкономической системы.

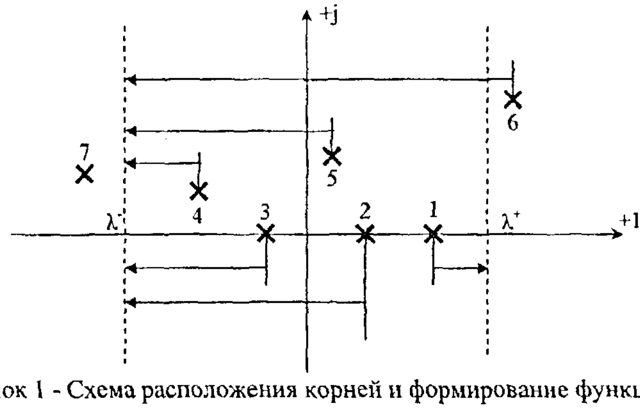

Рисунок 1 - Схема расположения корней и формирование функции качества

Процесс минимизации F оканчивается при полном удалении из коридора $[\lambda^{-}, \lambda^{+}]$ всех корней. При этом должно остаться одно действительное положительное собственное число, а все остальные будут иметь отрицательные действительные части. Такое расположение корней на комплексной плоскости обеспечит постоянное расширение валовых выпусков при переходном процессе.

В результате минимизации функционала была получена такая структура матрицы замкнутой системы, реализация которой гарантировало постоянное расширение экономики (рисунок 2) при первоначально заданных не оптимальных пропорциях валового производства.

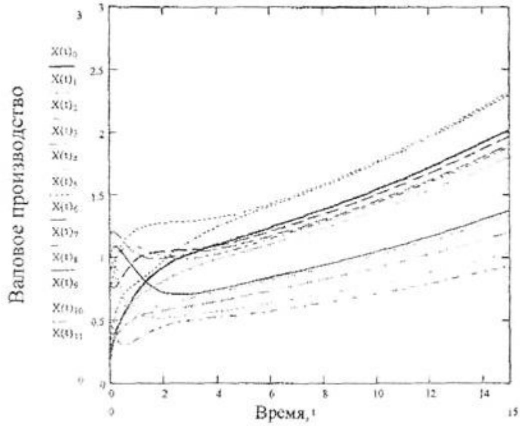

Рисунок 2 - Результат балансировки ВВП модели макросистемы

Замкнутую систему с такой матрицей следует использовать в виде эталонной макросистемы, с целью приближения траекторий развития реальной макросистемы к эталонным траекториям.

Второй метод предназначен для разделения неустойчиво-развивающихся макросистем на устойчивые подсистемы. Данный метод использует преобразование подобия как средство разделения неустойчивых макроэкономических систем на подсистемы с целью оптимального управления.

Собственные динамические свойства подобной системы абсолютно идентичны свойствам первоначальной системы благодаря равенству собственных чисел обеих систем. Матрица переходов подобной системы является диагональной, поэтому возможно разделение системы на подсистемы. Процедура разделения основана на утверждении теоремы Перрена-Фробениуса о том, что в макроэкономической балансовой системе среди положительных собственных чисел обязательно найдется такое минимальное число, которому соответствует целиком положительный собственный вектор. Поэтому задача разделения системы сводится к выделению такой подсистемы, которой соответствует минимальное положительное собственное число. Эта подсистема будет одномерной и вследствие наличия положительного числа в показателе экспоненты – постоянно растущей и неустойчивой. Для второй подсистемы можно синтезировать такой оптимальный регулятор, который приблизит траектории к нулю, тем самым, сделав ее устойчивой. С момента сближения траекторий второй подсистемы с нулем, макросистема целиком начинает развиваться в магистральном режиме с темпом роста первой подсистемы.

На практике разделение макросистемы на подсистемы удобно проводить, используя балансовую модель, записанную в форме модели пространства состояний:

$$\dot{X}(t)=\tilde{A}X(t)+\tilde{B}Y(t), \tag{3}$$

где $\tilde{A}=B^{-1}(E-A)$ - матрица переходов, $\tilde{B}=-B^{-1}$ - матрица связи.

На сегодняшний день существует пробел в области применения достижений полученных в теоретическом виде на практике. Для лиц непосредственно принимающих решение важно знать не просто функциональные зависимости (пусть даже оптимальные) финансовых потоков, а, скорее, какие экономические параметры макросистемы нужно изменить, и на какую величину, чтобы получить постоянный рост продукции в своей отрасли или сбалансированное расширение ВВП макросистемы в целом.

В такой постановке задача оптимального выбора конечного продукта связана с определением матрицы затрат Z, которая связывает конечный продукт Y с ВВП:

$$Y(t)=ZX(t). \tag{4}$$

Тогда модель (3), замкнутая по потреблению выглядит следующим образом:

$$\dot{X}(t)=(\tilde{A}+\tilde{B}Z)X(t). \tag{5}$$

Добавка $\tilde{B}Z$ к коэффициентам матрицы $\tilde{A}$ будет той самой величиной, на которую нужно изменить параметры исходной системы с целью ее сбалансированного функционирования в магистральном режиме.

Система (5) является системой с положительной обратной связью, которая, как известно из теории автоматического управления (ТАУ) является неустойчивой. Методы оптимального синтеза матрицы Z, которая является своеобразным экономическим регулятором, разработаны только для устойчивых систем, что связано с наличием подавляющего большинства устойчивых моделей в технике, электротехнике и автоматике.

Решение системы (5) можно получить путем введения n новых фазовых переменных $\tilde{X}_h$ с помощью такого невырожденного линейного преобразования:

$$X_i = \sum_{h=1}^{n} t_{ih}\tilde{X}_h \quad или \quad X = T\tilde{X} \tag{6}$$

тогда, получающаяся в результате система

$$\left.\begin{aligned} \dot{\tilde{X}}(t) &= \tilde{G}\tilde{X}(t), \qquad \tilde{X}(0) = \tilde{X}_0 \\ \text{где } \tilde{G} &\equiv T^{-1}GT, \qquad \tilde{X}_0 \equiv T^{-1}X_0 \end{aligned}\right\}, \tag{7}$$

в которой матрица $\tilde{G}$ становится проще, чем первоначальная. В этом случае, если, в частности существует преобразование подобия (6), приводящее матрицу G системы к диагональному виду, то использование $\tilde{X}_h$ преобразует первоначальную систему к системе уравнений с «разделенными» переменными:

$$\frac{d\tilde{X}_h}{dt} = \lambda_h \tilde{X}_h \tag{8}$$

решение которой имеет вид:

$$\tilde{X}_h = \tilde{X}_{h0}\, e^{\lambda_h t} \qquad (h = 1,2,\dots,n) \tag{9}$$

и окончательно получаем с использованием преобразования подобия (6) решение системы (5):

$$X(t) = T \cdot diag(e^{\lambda t}) \cdot T^{-1} \cdot X(0), \tag{10}$$

где λ - собственные числа, T - собственные векторы матрицы G, $diag(e^{\lambda t})$ – диагональная матрица.

Таким образом, преобразование подобия (6) может приводить систему (5) к диагональному виду, в котором ее можно делить на подсистемы, функционирующие в параллельном соединении. Преобразование подобия можно применить и к разомкнутой системе. Тогда матрицы подобной системы общего вида будут следующими:

$$\tilde{A} = T^{-1}\bar{A}T, \quad \tilde{B} = T^{-1}\bar{B}. \tag{11}$$

Собственные динамические свойства подобной системы абсолютно идентичны свойствам первоначальной системы благодаря равенству собственных чисел обеих систем. Матрица переходов подобной системы является диагональной, поэтому возможно разделение системы на подсистемы. Процедура разделения основана на утверждении теоремы Перрена-Фробениуса о том, что в макроэкономической балансовой системе среди положительных собственных чисел обязательно найдется такое минимальное число, которому соответствует целиком положительный собственный вектор. Поэтому задача разделения системы сводится к выделению такой подсистемы, которой соответствует минимальное положительное собственное число. Эта подсистема будет одномерной и вследствие наличия положительного числа в показателе экспоненты – постоянно растущей и неустойчивой. Для второй подсистемы можно синтезировать такой оптимальный регулятор, который приблизит траектории к нулю, тем самым, сделав ее устойчивой.

Представим подобную систему в следующем виде:

$$\begin{pmatrix} \dot{\tilde{X}}1 \\ \dot{\tilde{X}}2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{A}1 & \tilde{A}2 \\ \tilde{A}3 & \tilde{A}4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{X}1 \\ \tilde{X}2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \tilde{B}1 & \tilde{B}2 \\ \tilde{B}3 & \tilde{B}4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{Y}1 \\ \tilde{Y}2 \end{pmatrix}, \tag{12}$$

$$\tilde{X} = \begin{pmatrix} \tilde{X}1 \\ \tilde{X}2 \end{pmatrix}, \quad \tilde{A} = \begin{pmatrix} \tilde{A}1 & \tilde{A}2 \\ \tilde{A}3 & \tilde{A}4 \end{pmatrix}, \quad \tilde{B} = \begin{pmatrix} \tilde{B}1 & \tilde{B}2 \\ \tilde{B}3 & \tilde{B}4 \end{pmatrix},$$

в котором вектора входа и выхода разбиты на два подвектора, а матрицы системы разбиты на подматрицы со следующими размерностями:

$$\tilde{X}1[1], \tilde{X}2[n-1], \tilde{A}1[1], \tilde{A}2[1, n-1], \tilde{A}3[n-1, 1], \tilde{A}4[n-1, n-1],$$

размерность подматриц матрицы $\tilde{B}$ соответствует размерности подматриц матрицы $\tilde{A}$. Так как матрица переходов подобной системы диагональная, то подматрицы $\tilde{A}2$ и $\tilde{A}3$ являются нулевыми, следствием чего становится возможным представление системы (12) в виде параллельного соединения двух подсистем:

$$\dot{\tilde{X}}1(t) = \tilde{A}1\tilde{X}1(t) + \tilde{B}2\tilde{Y}1(t), \tag{13}$$

$$\dot{\tilde{X}}2(t) = \tilde{A}4\tilde{X}2(t) + \tilde{B}4\tilde{Y}2(t). \tag{14}$$

Графическое представление такого соединения показано на рисунке 3.

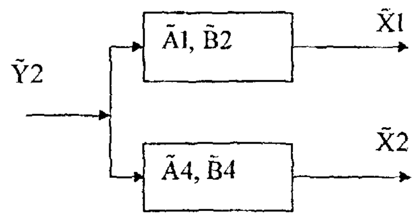

Рисунок 3 – Параллельное соединение двух подсистем

В данной схеме вход $\tilde{Y}1$ первой подсистемы для определенности приравнен к нулю, но вследствие взаимосвязи входов по (12) на первую неустойчивую подсистему продолжает оказывать воздействие вход $\tilde{Y}2$ второй подсистемы, уровень которого можно оптимизировать с использованием метода оптимального синтеза линейно-квадратичного регулятора. Графическое представление параллельного соединения двух подсистем, вторая из которых является замкнутой линейно-квадратичным регулятором $\tilde{Z}$, представлена на рисунке 4.

Определим $\tilde{Z}$ таким образом, что бы использование его в цепи отрицательной обратной связи $\tilde{Y}2 = -\tilde{Z}\tilde{X}2$ минимизировало квадратичный функционал:

$$J(X) = \int_0^\infty (\tilde{X}2^T Q\tilde{X}2 + \tilde{Y}2^T R\tilde{Y}2)dt, \tag{15}$$

здесь Q – неотрицательно определенная, а R – положительно определенная диагональная матрица весовых коэффициентов. Весовые матрицы Q и R

определяют соотношение между качеством регулирования (как быстро процесс сходится к нулю) и затратами на управление.

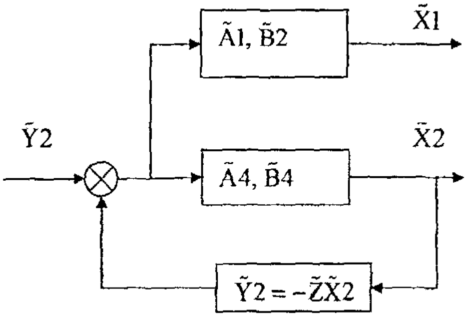

Рисунок 4 – Соединение подсистем с обратной связью

Функционал (15) является стандартным вспомогательным квадратичным критерием, по которому вторую подсистему можно сделать устойчивой, затратив при этом минимальное количество усилий с точки зрения управления динамикой выхода $\tilde{X}2$ посредством входа $\tilde{Y}2$.

Решим задачу минимизации (15) методом классического вариационного исчисления. Для этого составим вспомогательный функционал.

$$J(X)=\int_0^\infty\left[(\tilde{X}2^T R\tilde{X}2+\tilde{Y}2^T Q\tilde{Y}2)-2\lambda^T(\dot{\tilde{X}}2-\tilde{A}4\tilde{X}2-\tilde{B}4\tilde{Y}2)\right]dt, \qquad (16)$$

где λ - $(n\text{-}1)$ - мерный вектор множителей Лагранжа.

Решение вариационной задачи минимизации функционала (16) для подсистемы (14) дает следующую систему уравнений:

$$\begin{cases}\dot{\tilde{X}}2=\tilde{A}4\tilde{X}2+\tilde{B}4\tilde{Y}2\\ \dot{\lambda}=-Q\tilde{X}2-\tilde{A}4^T\lambda\\ \tilde{Y}2=-R^{-1}\tilde{B}4^T\lambda\end{cases}. \qquad (17)$$

Подставив значение $\tilde{Y}2$ в первое уравнение системы (17) получим:

$$\begin{cases}\dot{\tilde{X}}2=\tilde{A}4\tilde{X}2-\tilde{B}4R^{-1}\tilde{B}4^T\lambda\\ \dot{\lambda}=-Q\tilde{X}2-\tilde{A}4^T\lambda\end{cases}. \qquad (18)$$

Уравнение (18) состоит из системы взаимосвязанных линейных дифференциальных уравнений относительно $\tilde{X}2$ и λ. Поэтому $\tilde{X}2$ и λ должны быть связаны линейным преобразованием. Для получения уравнения оптимального управления решим систему (18), полагая

$$\lambda=P\tilde{Y}2. \qquad (19)$$

Умножая слева первое равенство в системе (18) на матрицу P и вычитая из него второе равенство этой системы, окончательно получим:

$$P\tilde{A}4+\tilde{A}4^{T}P-P\tilde{B}4R^{-1}\tilde{B}4^{T}P+Q=0. \qquad (20)$$

Уравнение (20) является алгебраическим матричным уравнением Риккати, в которое вырождается дифференциальное уравнение Риккати в установившемся режиме при $t\to\infty$.

Подставив выражение (19) в последнее уравнение системы (17), получим искомое уравнение оптимального управления:

$$\begin{aligned}&\tilde{Y}2=-R^{-1}(\tilde{B}4)^{T}P\tilde{X}2=-\tilde{Z}\tilde{X}2,\\&\tilde{Z}=R^{-1}(\tilde{B}4)^{T}P\end{aligned} \qquad (21)$$

Замкнутая матрица второй подсистемы при наличии линейно-квадратичного регулятора $\tilde{Z}$ будет определяться по формуле:

$$\tilde{G}4=\tilde{A}4-\tilde{B}4\cdot\tilde{Z}, \qquad (22)$$

тогда подобная (уже оптимальная) система (12) будет выглядеть так:

$$\begin{pmatrix}\dot{\tilde{X}}1\\ \dot{\tilde{X}}2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\tilde{A}1 & \tilde{A}2\\ \tilde{A}3 & \tilde{G}4\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\tilde{X}1\\ \tilde{X}2\end{pmatrix} \qquad (23)$$

или в сокращенном варианте

$$\dot{\tilde{X}}(t)=\tilde{A}onm\tilde{X}(t), \qquad (24)$$

где $\tilde{A}onm$ - матрица оптимизированных коэффициентов замкнутой подобной системы.

Возврат к замкнутой матрице коэффициентов макросистемы осуществляется с помощью обратного преобразования подобия:

$$\bar{A}onm=T\tilde{A}onmT^{-1}. \qquad (25)$$

Теперь можно определить добавку к коэффициентам первоначальной несбалансированной системы для вывода ее на магистральные темпы развития:

$$\bar{B}Z=\bar{A}-\bar{A}onm, \qquad (26)$$

а используя уравнение (4) оценивается оптимальный уровень конечного продукта, т.е. такая затратная нагрузка макросистемы при которой она будет развиваться сбалансировано.

Таким образом, применение преобразования подобия позволяет разделять исходные неустойчивые макросистемы на подсистемы, в которых возможно применение методов синтеза развитых для устойчивых систем, с целью получения оптимальных параметров конечного потребления и функционирования макроэкономических систем.

Третий метод предназначен для построения эталонных систем и траекторий, применяя модели, в которых матрица капитальных коэффициентов вырождена.

Предметом широкого обсуждения ученых-экономистов является проблема вырожденности матрицы капитальных коэффициентов модели межотраслевого баланса. Значительное число специалистов в области межотраслевого анализа считает, что она содержит лишь две ненулевые строки, соответствующие строительству и машиностроению, признавая предположение о ее заполненности слишком обременительным. Модель с «пустой» матрицей капитальных коэффициентов, во-первых, теряет способность адекватно воспроизводить важные в прикладном отношении особенности и детали процесса экономического развития. Во-вторых, частично заполненная матрица исключает эффективное применение методов исследования на основе аппарата линейной алгебры, теории дифференциальных уравнений и автоматического управления.

Деление отраслей на «фондосоздающие» и не образующие фонды приводит к появлению нулевых строк в матрице капитальных коэффициентов. В этом случае матрица B является вырожденной и, что следует из курса линейной алгебры не имеет обратной матрицы B^{-1}. Учет отраслей не способных генерировать основные фонды позволяет записать систему дифференциальных уравнений (15) в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} B1\dot{X}1+B2\dot{X}2+A1X1+A2X2+Y1=0 \\ A3X1+A4X2+Y2=0 \end{aligned}, \qquad (27)$$

в которой матрица капитальных коэффициентов и матрица Леонтьева (обозначенная как A) разбиты на четыре подматрицы.

Запись модели МОБ в виде (27) дает возможность легко привести ее к нормальной форме Коши. Приведение начинается с исключения алгебраических уравнений и завершается разрешением дифференциальных относительно первых производных.

Если система (27) состоит из m дифференциальных уравнений и n алгебраических, то размерности подматриц следующие: $A1(m,m)$, $A2(m,n)$, $A3(n,m)$, $A4(n,n)$, $B1(m,m)$, $B2(m,n)$, $B3(n,m)$, $B4(n,n)$. По причине наличия в матрице B нулевых строк элементы подматриц $B3$ и $B4$ равны нулю. Так как матрица Леонтьева продуктивна, то квадратная подматрица $A4$ невырождена и имеет обратную матрицу $A4^{-1}$. Смысл дальнейших преобразований сводится к избавлению от алгебраических уравнений системы (27) и приведения ее к системе одних дифференциальных уравнений.

Выразим вектор $X2$ из системы алгебраических уравнений:

$$X2=-A4^{-1}A3X1-A4^{-1}Y2. \qquad (28)$$

Полученное значение подставим в систему дифференциальных уравнений, которая примет следующий вид:

$$(B1-B2A4^{-1}A3)\dot{X}1+(A1-A2A4^{-1}A3)X1+(Y1-A2A4^{-1}Y2)=0. \qquad (29)$$

В данной системе матрица коэффициентов при производных невырождена, а, следовательно, и нет проблем с нахождением решения в виде $X1(t)$. Подставляя полученное решение в систему (28) находим $X2(t)$. Таким образом, определяется решение системы дифференциально-алгебраических уравнений (27) и преодолевается проблема решения системы дифференциальных уравнений (1), в которой не все отрасли являются фондосоздающими.

В нормальной форме система (29) запишется в следующем виде:

$$\dot{X}1 = -(B1\text{-}B2A4^{-1}A3)^{-1}(A1\text{-}A2A4^{-1}A3)X1\text{-}(Y1\text{-}A2A4^{-1}Y2),\quad X1(0) = X1_0. \quad (30)$$

Наличие в модели отраслей не создающих фонды и как следствие нулевых строк в матрице капитальных коэффициентов приводит к трансформации системы дифференциальных уравнений (1) в систему уравнений (29) или (30), что приводит к уменьшению размерности дифференциальной модели. Размерность модели в этом случае определяется количеством фондосоздающих отраслей. Таким образом, чем меньше фондосоздающих отраслей в модели, тем меньше составляющих движения в решении системы (30) и, соответственно, (27). Учет же динамики развития отраслей, не генерирующих основной капитал, осуществляется посредством решения алгебраических уравнений (28), не содержащих инерционные элементы, а потому, эти решения будут линейно зависимы относительно найденных из первой части системы (27).

Четвертый метод демонстрирует возможность построения эталонной динамической модели, учитывающей затраты на предотвращение загрязнений. Статическая модель межотраслевого баланса с учетом затрат на ликвидацию загрязнений была предложена В. Леонтьевым и Д. Фордом. В этой модели появляются величины, измеренные в натуральных единицах, а именно отходы производства по каждому виду загрязнений.

Динамическая модель межотраслевого баланса, отражающая содержание этой задачи, может быть записана в виде дифференциально-алгебраической системы уравнений:

$$\begin{aligned} x_1 &= A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + B_{11}\dot{x}_1 + B_{12}\dot{x}_2 + y_1 \\ x_2 &= A_{21}x_1 + A_{22}x_2 - y_2 \end{aligned}, \quad (31)$$

где A_{11} - матрица коэффициентов текущих затрат; A_{12} - матрица коэффициентов текущих затрат, необходимых для ликвидации загрязнений; A_{21} - матрица коэффициентов, характеризующих количество поступающих в окружающую среду отходов по каждому виду загрязнителей в расчете на единицу валового выпуска каждой из отраслей; A_{22} - матрица коэффициентов, учитывающих вторичный эффект загрязнения, связанный с деятельностью предприятий по ликвидации загрязнений; $B_{11}\dot{x}_1$ и $B_{12}\dot{x}_2$ - доли ВВП расходуемые на генерацию основных производственных фондов и капитальное строительство предприятий, ликвидирующих загрязнения;

Анализ решений данной системы показывает, что помимо увеличения значений коэффициентов прямых и капитальных затрат балансовой модели, что отрицательно влияет на темпы развития моделируемой макросистемы, в модели увеличено значение уровня конечного продукта на постоянную составляющую. Таким образом, ликвидация загрязнений окружающей среды практически всегда является дополнительной нагрузкой на макросистему. Тем не менее, влияние этой нагрузки можно контролировать, оптимизировать и строить оптимальные траектории развития макросистем с учетом загрязнений.

В четвертой главе «Синтез параметров макроэкономической системы, находящейся в процессе оптимального перехода к сбалансированному состоянию» *раскрыта методология синтеза параметров макроэкономической системы*, находящейся в процессе оптимального перехода к сбалансированному состоянию, а также проведен анализ чувствительности, устойчивости и *управляемости синтезируемых моделей*. Теоретическую основу методологии составляет задача преследования, решение которой позволяет выводить произвольную макроэкономическую систему на магистральный путь развития по траектории, которая с точки зрения квадратичного критерия качества приближает пропорции валового внутреннего продукта к оптимальным пропорциям. При этом оптимальными пропорциями ВВП считаются пропорции *эталонной сбалансированной экономической системы.*

Постановка задачи предполагает наличие двух моделей макроэкономических систем, одна из которых является развивающейся, а вторая – эталонной.

$$\dot{X}(t)=B^{-1}(E-A-K)X(t)+B^{-1}U(t), \qquad X(0)=X0, \tag{32}$$

$$\dot{X}_m(t)=G_mX_m(t), \qquad X_m(0)=X_m0, \tag{33}$$

здесь $X(t)$ и $X_m(t)$ – уровень валового внутреннего продукта развивающейся и магистральной системы; K – матрица конечного потребления; $U(t)$ – внешнее инвестиционное воздействие; G_m – матрица замкнутой магистральной системы.

Развивающаяся система не в состоянии самостоятельно перераспределить пропорции ВВП оптимальным образом, поэтому в модели предусмотрена внешняя инвестиционная составляющая $U(t)$ пока неизвестная, но благодаря которой должен получиться результат совмещения ВВП развивающейся и эталонной системы. Из этого следует, что разность

$$Y(t)=X_m(t)-X(t) \tag{34}$$

должна стремиться к нулю при $t=\infty$, т.е. $Y(\infty)=0$. Для практических целей необходимо синтезировать такое внешнее управление $U(t)$, которое бы за конечное время t_k приводило разность $Y(t_k)$ к нулю. При этом, начиная со времени t_k, уровень ВВП развивающейся системы должен совпадать с уровнем эталонной системы.

Продифференцировав (34) по t получим

$$\dot{Y}(t)=G_mY(t)+(G_m-B^{-1}(E-A-K))X(t)-B^{-1}U(t). \tag{35}$$

Для упрощения дальнейших выкладок предположим, что модель (35) полностью управляема, тогда имеется возможность определения такого линейного квадратичного оптимального регулятора Z, который удерживал бы выходы системы вблизи нулевого положения. Для замыкания системы введем следующее линейное преобразование:

$$X(t)=-ZY(t). \tag{36}$$

Предположив, что Z такой регулятор, который учитывает внешнее воздействие на систему (35) со стороны $X(t)$ и $U(t)$ получим замкнутую систему:

$$\dot{Y}(t)=(G_m-(G_m-B^{-1}(E-A-K))Z)Y(t). \tag{37}$$

Определим Z таким образом, что бы использование его в цепи отрицательной обратной связи (36) минимизировало квадратичный функционал:

$$J(X) = \int_0^{\infty} (Y^T Q Y + X^T R X)\,dt, \qquad (38)$$

здесь Q – неотрицательно определенная, а R – положительно определенная диагональная матрица весовых коэффициентов. Весовые матрицы Q и R определяют соотношение между качеством регулирования (как быстро процесс сходится к нулю) и затратами на управление.

Опуская преобразования, связанные с элементами вариационного исчисления, представим уравнение Риккати:

$$PG_m + G_m^T P - P(G_m - B^{-1}(E - A - K))R^{-1}(G_m - B^{-1}(E - A - K))^T P + Q = 0, \qquad (39)$$

решение которого относительно матрицы P позволяет получить в явном виде выражение для линейно-квадратичного регулятора Z:

$$Z = R^{-1}(G_m - B^{-1}(E - A - K))^T P. \qquad (40)$$

Определение функциональной зависимости $Y(t)$:

$$Y(t) = e^{(G_m \cdot (G_m - B^{-1}(E - A - K))Z)t}\, Y(0), \qquad (41)$$

которая оптимальна с точки зрения минимума функционала (38), позволяет вычислить траектории сближения развивающейся и эталонной системы по формуле:

$$X_{new}(t) = X_m(t) - Y(t). \qquad (42)$$

Оптимальный процесс перехода макроэкономической системы из несбалансированного состояния в сбалансированное состояние является разностью двух процессов: первого – эталонного и второго – асимптотически устойчивого процесса. Причем устойчивость второго процесса гарантирует сближение траекторий ВВП развивающейся макросистемы с магистралью или любой другой наперед заданной функцией развития.Результат вычисления (42) показан на графике рисунка 5.

Имея в наличии лишь оптимальные траектории перехода из одного состояния в другое сложно, что-либо сказать о параметрах оптимальной системы. Эти параметры необходимо знать для получения информации о том, как и в каких пределах необходимо изменить экономические параметры развиваемой несбалансированной системы для реализации оптимальных траекторий развития. Решение задачи синтеза параметров предполагает определение коэффициентов затрат (материальных, капитальных и т.д.) балансовой модели по оптимальным траекториям переходных процессов.

Несбалансированная система (32) может развиваться в магистральном режиме только при наличие изменений в коэффициентах матриц A, B, K. Учитывая эти изменения перепишем систему (32) в следующем виде:

$$\dot{X}(t) = (B + \Delta B)^{-1}(E - (A + \Delta A) - (K + \Delta K))X(t), \qquad (43)$$

где $\Delta A, \Delta B, \Delta K$ - добавки к коэффициентам прямых, капитальных и трудовых затрат, необходимые для функционирования системы в магистральном или любом наперед заданном режиме.

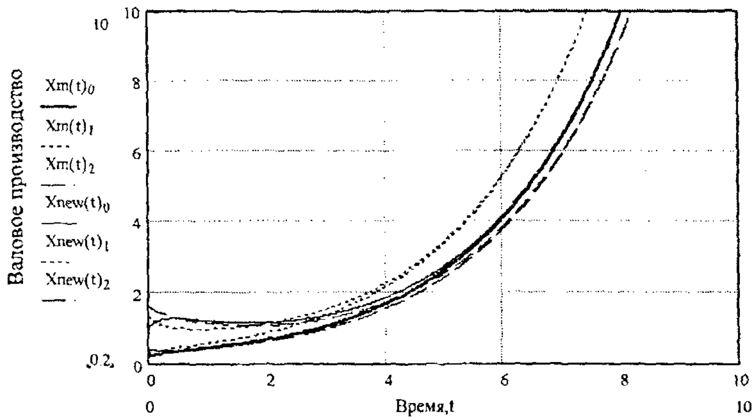

Рисунок 5 - Сближение траекторий развивающейся и эталонной системы

Не теряя общности рассуждений можно переписать систему (43) в эквивалентном виде:

$$\dot{X}(t)=B^{-1}(E-A-K-\Delta M)X(t), \qquad (44)$$

где ΔM - коэффициенты матрицы, отвечающие за импортно-экспортное воздействие. В этом случае внешние инвестиции, которые влияют непосредственно на капитальные коэффициенты, можно рассматривать как часть импортируемого финансового потока. Тогда задачу идентификации можно свести к задаче определения коэффициентов матрицы ΔM, учитывающую импортно-экспортные и инвестиционные воздействия над системой с целью приведения ее в сбалансированное состояние.

Тождественное равенство траекторий развития $X_{new}\equiv X$ предполагает равенство их производных, следовательно:

$$\begin{gathered}\dot{X}_{new}=(G_m+(G_m-B^{-1}(E-A-K))Z)X_{new}-(G_m-B^{-1}(E-A-K))ZX_m\\ \equiv \\ \dot{X}(t)=B^{-1}(E-A-K-\Delta M)X(t)\end{gathered} \qquad (45)$$

Для определения коэффициентов матрицы ΔM необходимо соответствующим образом подготовить тождество (45). Произведем замену переменных. Пусть $\Delta M1=-(E+Z)(G_mB-E+A+K)$ и $\Delta M=\Delta M1+\Delta M2$, тогда

$$\dot{X}_{new} = B^{-1}(E - A - K - \Delta M1)X_{new} - (G_m - B^{-1}(E - A - K))ZX_m$$
$$\equiv \qquad (46)$$
$$\dot{X}(t) = B^{-1}(E - A - K - \Delta M1)X(t) - B^{-1}\Delta M2X(t)$$

Тождественность систем (46) предполагает равенство:

$$B^{-1}\Delta M2X(t) = (G_m - B^{-1}(E - A - K))ZX_m(t) \qquad (47)$$

или

$$\Delta M2X(t) = B(G_m - B^{-1}(E - A - K))ZX_m(t) \qquad (48)$$

и в сокращенном варианте

$$\Delta M2X(t) = \beta(t), \qquad (49)$$

где $\beta(t) = B(G_m - B^{-1}(E - A - K))ZX_m(t)$.

В стационарном случае равенство (49) представляет собой систему линейных алгебраических уравнений, т.е. произведение матрицы $\Delta M2$ на вектор X дает вектор β. В динамическом варианте это равенство должно соблюдаться для любого момента времени на интервале $[t_H, t_K]$. Этим свойством можно воспользоваться для определения коэффициентов матрицы $\Delta M2$.

Таким образом, задача идентификации коэффициентов матрицы ΔM сводится к определению матрицы $\Delta M2$ ($\Delta M1$ известна и определена выше), которая бы при умножении на вектор $X(t)$ была бы равна вектору правой части $\beta(t)$ системы линейных алгебраических уравнений (49) на интервале времени $[t_H, t_K]$.

Для нахождения элементов первой строки матрицы $\Delta M2^{<1>}$ необходимо сформировать матрицу коэффициентов $\overline{X}$ на основе вектора X(t), изменяющегося во времени на интервале $[t_H, t_K]$. При этом дискретизации должен быть подвергнут и вектор $\beta(t)$. Таким образом, в результате получается СЛАУ:

$$\overline{X}\Delta M2^{<1>} = \overline{\beta}_1. \qquad (50)$$

Обобщая данные преобразования на случай определения i-ой строки матрицы $\Delta M2$ решение системы (50) будет иметь вид:

$$\Delta M2^{<i>} = \overline{X}^{-1}\overline{\beta_i}. \qquad (51)$$

Практические расчеты матрицы $\Delta M2$ с использованием (51) показали наличие определенной невязки в системе (50). Поэтому дальнейшее уточнение коэффициентов матрицы $\Delta M2$ и, следовательно, ΔM проводилось с применением численных алгоритмов оптимизации. При этом полученные значения ΔM использовались как начальные данные оптимизационной процедуры, минимизирующей функционал вида:

$$F(\Delta M) = \sum_t \left(e^{B^{-1}(E-A-K-\Delta M)t}X(0) - X_{new}(t)\right)^2. \qquad (52)$$

В результате численной минимизация $F(\Delta M)$ была получена матрица ΔM, коэффициенты которой характеризуют необходимый уровень импортно-экспортных и инвестиционных вложений на единицу ВВП. Решение задачи идентификации параметров модели макроэкономической системы позволило определить временной график импортно-эксортных процессов $U(t) = -\Delta MX(t)$ изображенный на рисунке 6.

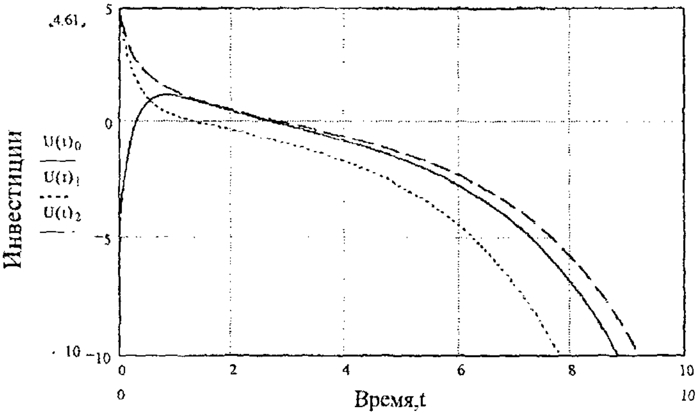

Рисунок 6 - Временной график инвестиционных процессов

Для данной динамической системы, взятой в качестве примера, на первоначальном этапе необходимы вложения (импорт и инвестиции) в отрасль U_0 при этом система будет работать в автономном режиме (без инвестиций) приблизительно 1 год. Далее потребуются инвестиции (импорт) в отрасль U_1, а затем почти одновременно для U_0 и U_2. Причем эти инвестиции должны постоянно увеличиваться, чего требует выбранное магистральное направление развития и соответствующие ему пропорции ВВП. В связи с тем, что в системе функционируют двунаправленные финансовые потоки (импорт и экспорт), то положительные значения $U(t)$ следует рассматривать как экспорт средств в виде конечного продукта данной макросистемы.

При исследовании динамических систем балансового типа важно знать, как влияет изменение определенного параметра на качество системы. Показана связь передаточной функции динамической системы с матричной моделью макроэкономической системы. Определены функции чувствительностей передаточных функций, функции чувствительностей частотных характеристик, функции чувствительностей переходных характеристик и чувствительности корней характеристического полинома динамической модели макроэкономической системы.

Сложность взаимосвязей и высокая степень взаимообусловленности составляющих современных макроэкономических систем непременно ведет к значительному усложнению их свойств и, как следствие, к возможности неоднозначного решения задачи устойчивости экономической динамики. В главе рассмотрено построение годографа Михайлова, который использовался для оценки самого правого в комплексной плоскости корня характеристического уравнения модели магистральной макросистемы, с целью определения границы устойчивости.

Управляемость моделей была оценена с использованием матрицы управляемости специального вида и грамиана управляемости, которые показали, что управление темпами развития макросистем целесообразно проводить с использованием всех отраслей участвующих в формировании ВВП. Раскрыта методика модального управления, позволяющая избирательно воздействовать на заданные составляющие движения динамических макросистем.

Рассмотренные критерии чувствительности, устойчивости и управляемости увеличивают информативность моделей макроэкономических систем, что необходимо для экономистов-аналитиков, занимающихся более тонкой настройкой и формированием вариантов целостной экономической политики.

Пятая глава «Стохастические модели балансового типа» раскрывает методологию создания и математической обработки стохастических моделей межотраслевого баланса. Функционирование реальных макроэкономических систем протекает при наличии случайных факторов действующих как на величину конечного спроса, так и на основные параметры, характеризующие затраты системы. Анализ динамики управляемых динамических экономических систем при случайных внешних воздействиях сводится к исследованию вероятностных и статистических свойств решений систем дифференциальных уравнений, возмущенных случайными процессами. В главе рассмотрены понятия «белошумного» и «цветного» возмущения конечным спросом, который представлен в виде двух составляющих – детерминированной $\overline{Y}(t)$ и случайной $\Delta Y(t)$:

$$Y(t) = \overline{Y}(t) + \Delta Y(t). \tag{53}$$

Показаны результаты исследования статистической точности модели макроэкономической системы

$$\dot{X}(t) = B^{-1}(E-A)X(t) - B^{-1}\overline{Y}(t) - B^{-1}\Delta Y(t) \quad , \quad X_0 = X(0) \tag{54}$$

в переходных и установившихся режимах. Раскрыта методика вычисления дисперсий элементов вектора ВВП исследуемой макросистемы. Искомое уравнение для дисперсии имеет вид:

$$\dot{D}_z(t) = FD_z(t) + D_z(t)F^T + hh^T. \tag{55}$$

где $F = \begin{bmatrix} R & 0 \\ \overline{B}E & \overline{A} \end{bmatrix}$, $h = \begin{bmatrix} e_n \\ 0 \end{bmatrix}$, R-матрица коэффициентов передаточной функции, $e_n = [0..0\,1]^T$.

В стационарном случае, когда $F = const$, $h = const$, установившееся значение $D_Z(\infty) = const$. Диагональные элементы этой матрицы представляют собой установившиеся значения дисперсий элементов вектора ВВП стохастической модели макросистемы. При этом $d_{NN}(\infty)=\sigma_X^2(\infty)$.

При исследовании динамических систем балансового типа расчет статистических характеристик выходных переменных не всегда может быть выполнен непосредственно по уравнениям системы. В главе рассмотрен имитационный подход к моделированию, которое выполнятся, путем численного интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих макроэкономическую систему. Искомые характеристики вычисляют по полученным реализациям выходных переменных. При таком подходе возникает задача моделирования случайных входных воздействий, решением этой задачи является случайный процесс с требуемой спектральной плотностью конечного спроса. В главе представлен алгоритм моделирования стационарных случайных процессов с экспоненциальной корреляционной функцией. На основе этого алгоритма может быть получен случайный процесс с произвольным дробно-рациональным ("цветным") спектром.

При исследовании моделей стохастических систем было выделено два режима управления - возмущенный и невозмущенный. Реализация законов управления с переменными параметрами в зависимости от режимов функционирования управляемых макросистем позволяет придать управляемой системе адаптивные свойства. Поставлены и решены задачи определения оптимальных параметров конечного спроса двух режимов.

Для возмущенного режима задача формулируется следующим образом: найти такие параметры матрицы $C=\left[c_{ij}\right]$, при которых траектории развития ВВП модели

$$\dot{X}^*(t)=\overline{A}X^*(t)+\overline{B}Y^*(t),\quad Y^*(t)=CX^*(t) \tag{56}$$

из точки $X^*(0)$ в наибольшей степени приблизятся к назначенной траектории некоторой эталонной системы. Можно видеть, что эта задача в точности совпадает с рассмотренной выше задачей сближения двух макросистем.

Задача определения оптимальных параметров для невозмущенного режима управления решается соотношениями:

$$C_\sigma(t)=-(\overline{B}^T\overline{B})^{-1}\overline{B}^T D_\sigma(t)P_\eta^{-1}(t), \tag{57}$$

$$\dot{D}_\sigma(t)=\overline{A}D_\sigma(t)+D_\sigma(t)\overline{A}^T-RQ_\sigma(t)-Q_\sigma(t)R^T+RQ_\sigma(t)R^T+\overline{B}P_{\Delta Y}(t)\overline{B}^T, \tag{58}$$

где $R=\overline{B}(\overline{B}^T\overline{B})^{-1}\overline{B}^T$; $Q_\sigma(t)=D_\sigma(t)P_\eta^{-1}(t)D_\sigma(t)$; $R=R^T$; $Q_\sigma(t)=Q_\sigma^T(t)$.

С решением этой задачи был получен минимум дисперсии ВВП в невозмущенном режиме управления.

Практическое оценивание вектора ВВП в балансовой модели В. Леонтьева затруднено из-за наличия в системе случайных колебаний, возникающих под действием непредсказуемо изменяющегося спроса. В этом случае детерминированные методы неприменимы, так как необходимые для управления системой элементы вектора ВВП не измеряются или измеряются с существенными случайными ошибками. В таких ситуациях управление макросистемой может определяться на основе результатов оценивания состояния системы, которое имеет лишь статистическую связь с данными валовых выпусков. Рассмотрена и решена задача синтеза линейного алгоритма оценивания, который формирует несмещенную оценку вектора ВВП с минимальной дисперсией. Применение фильтра Калмана-Бьюси при оценке значений ВВП макросистемы, в которой помимо случайных колебаний конечного спроса присутствуют шумы измерений валовых выпусков показано на рисунке 7.

Существенное снижение колебательной составляющей ВВП после фильтрации позволяет более адекватно оценивать фактическую ситуацию функционирования макросистемы и соответственно принимать более взвешенные решения по управлению этой системой. Разработанные мероприятия по демпфированию колебаний ВВП способствуют принятию вариантов целостной экономической политики и повышают эффективность макроэкономического прогнозирования.

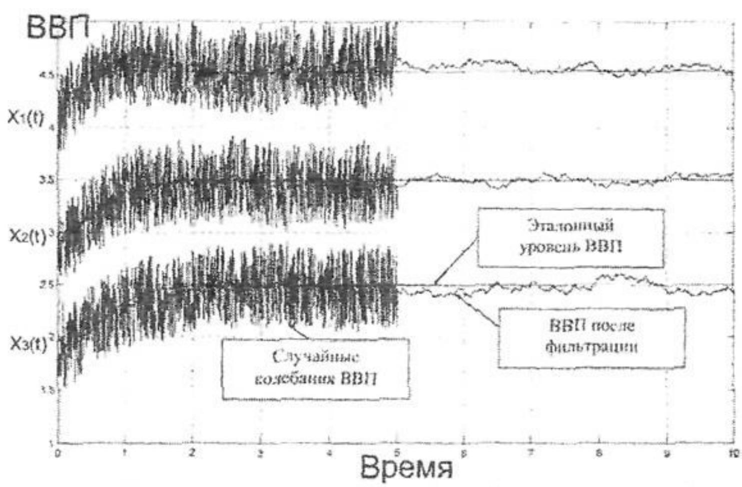

Рисунок 7 - Пример моделирования работы фильтра Калмана-Бьюси

Шестая глава «Программная реализация методологии анализа и синтеза балансовых моделей» содержит описание программного комплекса, построенного на основе предложенных в работе моделей макроэкономических систем. Программное обеспечение имеет модульную структуру, которая допускает определенную гибкость при реализации дополнительных и вновь создаваемых алгоритмов моделирования макросистем. В работе имеется описание четырех модулей, на которые получены авторские свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ. Для написания, отладки и тестирования программ использовалась математическая среда программирования и пакеты расширения Matlab.

Модуль №1 предназначен для решения широкого круга задач в области анализа и управления колебательными составляющими, собственных динамических свойств макроэкономических систем. В программе предусмотрен анализ и синтез переходных процессов макросистем заданных с использованием вырожденной матрицы капитальных коэффициентов. Фильтрация колебаний в переходном процессе осуществляется за счет изменения в заданных пределах коэффициентов матрицы норм потребления и матрицы капитальных затрат.

Программа модуля №2 предназначена для расчета траекторий функционирования макроэкономических систем балансового типа. Модуль №2 выстраивает траектории таким образом, чтобы с течением времени процесс функционирования развивающейся макроэкономической системы совпадал с заданным процессом функционирования эталонной макроэкономической системы.

Программа модуля №3 предназначена для расчета импортно-экспортных финансовых потоков, необходимых для функционирования произвольной макроэкономической системы в заданном режиме функционирования эталонной системы.

Программа модуля №4 вычисляет траектории валовых выпусков макроэкономической системы балансового типа Леонтьева. Расчет ведется с учетом воздействия инерционного спроса, который представляет собой отдельную подсистему, взаимодействующую с макроэкономической системой. В качестве управляющих параметров подсистемы спроса используются начальные условия и матрица постоянных времени. Выходными данными модуля №4 являются траектории развития макроэкономической системы, на которую воздействует инерционный спрос.

В заключении *приведены основные выводы и результаты диссертационной работы.*

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Монографии:

1. Мараховский А.С. Моделирование, анализ и синтез оптимальных динамических свойств и траекторий развития экономических систем – Ставрополь: Изд-во СГУ, 2008. -216с.
2. Мараховский А.С. Математические методы анализа и синтеза моделей макроэкономических систем балансового типа // Методология управления качеством и устойчивым развитием экономических систем / Под ред. Бабкина А.В. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. –С.449-503.

Научные работы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Мараховский А.С. Межотраслевая балансовая модель как эффективный инструмент индикативного планирования сбалансированного роста / А.С. Мараховский // Вестник СГУ. – Ставрополь, 2006. Вып.44. –С.49-56.
2. Мараховский А.С. Вывод экономических макросистем на магистральный путь развития / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2007. №1.Том 310. –С.222-227.
3. Мараховский А.С. Синтез регулятора мощности макроэкономической системы / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. –СПб., 2006. №6, том 2. –С.38-45.
4. Мараховский А.С. Оптимальное управление и оценивание ВВП в стохастических макроэкономических системах / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. –СПб., 2007. №3, том 2. –С.7-12.
5. Мараховский А.С. Методы достижения оптимальных траекторий экономического развития на основе межотраслевых моделей / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. –СПб., 2007. №4, том 2. –С.260-267.
6. Мараховский А.С. Методика агрегирования динамической модели межотраслевого баланса при анализе экономических систем / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев, Т.Г. Гурнович // Научно-технические ведомости СПбГПУ. –СПб., 2008. №3, том 2. –С.9-13.
7. Мараховский А.С. Динамическая модель межотраслевого баланса со случайным возмущением в векторе конечного спроса / А.С. Мараховский // Известия ИГЭА. –Иркутск, 2008. №4(60) –С.66-70.

Научные статьи, доклады, патенты:

8. Мараховский А.С. Методика определения матрицы коэффициентов капитальных приростов основных средств в динамической модели межотраслевого баланса / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев // Экономика регионов России: сб. науч. тр. –Ставрополь: СГАУ, 2004. –С410-415. (0,33/0,16)
9. Мараховский А.С. Моделирование и прогнозирование урожайностей растениеводческих культур Ставропольского края / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев, О.С. Берулава // Современные проблемы развития экономики и социальной сферы России: сб. науч. тр. – Ставрополь: СГАУ, 2004. –С205-214. (0,51/0,17)
10. Мараховский А.С. Моделирование задачи устойчивости экономической динамики макросистем с применением эмпирических данных Госкомстата РФ / А.С. Мараховский, Е. Л. Торопцев, Т. Г. Гурнович // Математическое моделирование и компьютерные технологии: материалы VI Всероссийского симпозиума. – Кисловодск: КИЭП, 2004. –С18-20. (0,17/0,06)

11.Мараховский А.С. Основные условия устойчивого функционирования аграрного комплекса Ставропольского края / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев, О.С. Берулава // Экономико-статистические исследования отраслей народного хозяйства: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Ставрополь: СГАУ, 2004. –С277-281. (0,2/0,07)
12.Мараховский А.С. Установление и поддержание сбалансированного расширения макроэкономических систем описываемых динамической моделью Леонтьева / А.С. Мараховский // Совершенствование методов управления социально-экономическими процессами и их правовое регулирование: материалы V региональной науч.-практ. конференция –Ставрополь: СИУ, 2005. –С199-206. (0,45)
13.Мараховский А.С. Оценка влияния количества фондосоздающих отраслей на качество аппроксимации валовых выпусков и адекватность моделирования сбалансированных макроэкономических динамических систем / А.С. Мараховский, Е. Л. Торопцев, Т. Г. Гурнович // Сборник научных трудов Сев-Кав ГТУ, серия Экономика. –Ставрополь: Сев-КавГТУ, 2005. –С184-187. (0,2/ 0,07)
14.Мараховский А.С. Планирование и прогнозирование выпуска сельско-хозяйсвенной продукции на основе модели техпромфинплана / А.С. Мараховский, Торопцев Е. Л., Берулава О. С. // Материалы ежегодной 69-й научно-практической конференции, посвященной 75-летию СГАУ: сб.науч.тр. –Ставрополь: СГАУ, 2005. –С156-166. (0,62/0,2)
15.Мараховский А.С. Анализ динамических свойств экономических систем на основе модели техпромфинплана / А.С. Мараховский, Т.Г. Гурнович, Е. Л. Торопцев, О.С. Берулава // Сборник научных трудов Сев-Кав ГТУ, серия Экономика / Сев-КавГТУ. – Ставрополь: 2005. –С163-168. (0,34/0,1)
16.Мараховский А.С. Оценка устойчивости динамических систем в экономике по модели межотраслевого баланса Леонтьева / А.С. Мараховский, Т. Г. Гурнович, Е. Л. Торопцев, О. С. Берулава // Развитие форм и инструментария управления аграрной экономикой региона: материалы Междунар. науч.-практ. Конференции. –Ставрополь: СГАУ, 2005. –С36-41. (0,34/0,1)
17.Мараховский А.С. Оценка управляемости развивающихся макроэкономических систем балансового типа / А.С. Мараховский // Системный анализ в проектировании и управлении: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. –Санкт-Петербург: СПБПУ, 2005. -С124-126. (0,17/0,06)
18.Мараховский А.С. Избирательное управление уровнем и пропорциями ВВП балансовой модели макроэкономической системы / А.С. Мараховский, Гурнович Т. Г., Торопцев Е. Л., Берулава О. С. // Современные проблемы развития экономики и социальной сферы: материалы Междунар. науч.-практ. конф. - Ставрополь: СГАУ, 2005. –С506-511. (0,34/0,1)

19. Мараховский А.С. Проектирование оптимальных инвестиционных воздействий для сближения двух макроэкономических систем / А.С. Мараховский // Экономическая кибернетика – системный анализ в экономике и управлении: сб. науч. тр. –СПб.: СПбГУЭФ, вып.12, 2005. – С104-111. (0,45)
20. Мараховский А.С. Задача сближения двух экономических макросистем / А.С. Мараховский, Е. Л. Торопцев, Т. Г. Гурнович, О. С. Берулава // Современные формы и методы управления аграрной экономикой: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ставрополь: СГАУ, 2005. – С13-18. (0,34/0,1)
21. Мараховский А.С. Исследование статистической точности балансовой модели макроэкономической системы в переходных и установившихся режимах / А.С. Мараховский // Экономика регионов - пути повышения конкурентоспособности аграрного сектора: сб. науч. тр. –Ставрополь: Югбланкполиграфия, 2005. –С34-37. (0,23)
22. Мараховский А.С., Торопцев Е.Л. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2005611160 от 19 мая 2005г. Программа анализа и управления циклическими колебаниями макроэкономической системы с вырожденной матрицей капитальных затрат.
23. Мараховский А.С. Определение импортно-экспортных финансовых потоков, необходимых для функционирования макроэкономической системы в магистральном режиме / А.С. Мараховский, Е. Л. Торопцев, Т. Г. Гурнович // Университетская наука – региону: материалы науч.-практ. конф. –Ставрополь: СГАУ, 2006. –С192-195. (0,23/0,1)
24. Мараховский А.С. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006612901 от 11 августа 2006г. Программа контроля валовых выпусков макроэкономической системы посредством управления подсистемой инерционного конечного спроса.
25. Мараховский А.С. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006612902 от 11 августа 2006г. Программа вычисления траекторий функционирования макроэкономической системы, развивающейся в заданном направлении эталонной системы.
26. Мараховский А.С. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2006612903 от 11 августа 2006г. Программа определения импортно-экспортных финансовых потоков, необходимых для функционирования макроэкономической системы в заданном режиме.
27. Мараховский А.С. Модальное управление в макроэкономических динамических системах с вырожденной матрицей капитальных коэффициентов. / А.С. Мараховский, Е. Л Торопцев., Т. Г. Гурнович // Информационные системы, технологии и модели управления

производством: материалы 2-ой науч.-практ. конф. –Ставрополь: СГАУ, 2006. –С83-90. (0,46/0,15)

28. Мараховский А.С. Практическая динамическая межотраслевая модель для решения задач устойчивости. / А.С. Мараховский, Е. Л. Торопцев, Т.Г. Гурнович // Системный анализ в проектировании и управлении: труды X международной науч.-практ. конф. –С.-Петербург: СПбГПУ, 2006. –С237-239. (0,17/0,06)

29. Мараховский А.С. Управление сбалансированным расширением макроэкономических систем с использованием преобразования подобия / А.С. Мараховский // Конкуренция на российских рынках: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ставрополь: СГАУ, 2006. –С329-336. (0,45)

30. Мараховский А.С. Состояние информационно-статистической базы балансовых исследований / А.С. Мараховский // Российский экономический интернет-журнал [Электронный ресурс]: Интернет-журнал АТиСО / Акад. труда и социал. отношений — Электрон. журн. — М.: АТиСО, 2006— . — № гос. регистрации 0420600008. — Режим доступа: http://www.e-rej.ru/Articles/2006/Marahovsky_Toroptsev_Gurnovitch.pdf, свободный — Загл. с экрана. (-)

31. Мараховский А.С. Современные тенденции развития российского продуктового рынка / А.С. Мараховский, О.А. Малахова // Университетская наука - региону. 71-ая научно-практическая конференция. –Ставрополь: СГАУ, 2007. –С156-159. (0,17/0,06)

32. Мараховский А.С. Создание привлекательного инвестиционного климата и повышение инвестиционной активности в России и ее регионах / А.С. Мараховский, О.А. Малахова // Информационные системы, технологии и модели управления производством Междунар. науч.-практ. конф. – Ставрополь: СГАУ, 2007. –С.256-258. (0,17/0,06)

33. Мараховский А.С. Динамическая модель Леонтьева-Форда с постоянным уровнем внешних загрязнений / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев // Информационные системы, технологии и модели управления производством Междунар. науч.-практ. конф. - Ставрополь: СГАУ, 2007. –С.83-87. (0,3/0,15)

34. Мараховский А.С. Управляемость динамическими макроэкономическими системами / А.С. Мараховский // Актуальные вопросы развития финансовых отношений региона. Междунар. науч.-практ. конф. – Ставрополь: СГАУ, 2007.-С.235-240. (0,4)

35. Мараховский А.С. Формализованное построение регулятора мощности макросистемы / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев // Менеджмент качества и устойчивое развитие экономических систем Междунар. науч.-практ. конф. – Ставрополь: СГАУ, 2007. -С.615-624. (0,6/0,3)

36. Мараховский А.С. Оптимальное оценивание ВВП в стохастических моделях макросистем балансового типа с использованием фильтра

Калмана-Бьюси / А.С. Мараховский // http://www.supir.ru/j5s3.html, № 0420600026\0011, 2007. (0,4)
37. Мараховский А.С. Динамические и оптимизационные модели межотраслевого баланса / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев, Т.Г. Гурнович // Российский экономический интернет-журнал [Электронный ресурс]: Интернет-журнал АТиСО / Акад. труда и социал. отношений — Электрон. журн. -М.: АТиСО, 2007. № гос. регистрации 0420600008. Режим доступа: http://www.e-rej.ru/ Articles/2007/Marahovsky_Toroptsev _Gurnovitch.pdf, свободный — Загл. с экрана. (-)
38. Мараховский А.С. Оценка влияния случайных факторов на детерминированные модели балансового типа / А.С. Мараховский // Университетская наука - региону: сб. науч. тр. –Ставрополь: АГРУС, 2007. –С.120-124. (0,34)
39. Мараховский А.С. Управляемость в моделях макроэкономических систем / А.С. Мараховский // Актуальные вопросы развития финансовых отношений региона: сб. науч. тр. –Ставрополь: Югбланкполиграфия, 2007. –С.358-360. (0,17)
40. Мараховский А.С. Избирательное управление динамическими свойствами экономических систем / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев, Т.Г. Гурнович // Экономическая кибернетика – системный анализ в экономике и управлении: сб. науч. тр. –СПб: СПбГУЭФ, вып.15, 2007. –С.59-66. (0,45/0,3)
41. Мараховский А.С. Моделирование и прогнозирование развития сложных экономических систем с учетом эффекта запаздывания / А.С. Мараховский //Экономика и менеджмент современного предприятия – теория и практика: сб. тр. междунар. НПК –СПб.: Политехн. ун-т, 2007. –С.239-246.(0,45)
42. Мараховский А.С. Модуль анализа и управления циклическими колебаниями макроэкономической системы с вырожденной матрицей капитальных затрат/ А.С. Мараховский, О.С. Берулава // Проблемы формирования и развития инновационного потенциала региона: сб. тр. региональной НПК. – Ставрополь, СГУ, 2007. –С.191-195. (0,3)
43. Мараховский А.С. Модуль вычисления траекторий функционирования макроэкономической системы, развивающейся в заданном направлении эталонной системы/ А.С. Мараховский, А.В. Передеряева // Проблемы формирования и развития инновационного потенциала региона: сб. тр. региональной НПК. – Ставрополь, СГУ, 2007. –С.195-197. (0,17)
44. Мараховский А.С. Имитационное моделирование случайных процессов в моделях макроэкономических систем / А.С. Мараховский // Математическое моделирование, обратные задачи, информационно-вычислительные технологии: сб. тр. VII междунар. НТК. –Пенза: РИО ПГСХА, 2007. –С.20-23. (0,21)

45. Мараховский А.С. Методика разработки матричной модели плана предприятия АПК для решения задач устойчивости / О.С. Берулава, А.С.Мараховский // Актуальные проблемы социально-экономического развития региона - теория, методология, практика: сб. тр. межрегион. НПК –Ставрополь: СтГАУ, 2007. –С.24-27. (0,2/0,1)
46. Мараховский А.С. Анализ модели макроэкономической системы с вырожденной матрицей капитальных коэффициентов / А.С.Мараховский, Т.В. Таточенко // Проблемы развития предпринимательства в регионе: сб. науч. тр. Выпуск IV.–Ставрополь: СтГАУ, 2007. –С.17-25. (0,5/0,3)
47. Мараховский А.С. Построение оптимальных траекторий развития макросистем с использованием преобразования подобия / А.С.Мараховский, Т.В. Таточенко // Современные финансово-экономические проблемы в условиях глобализации: сб. тр. междунар. НПК –Ставрополь: СтГАУ, 2008. –С.220-227. (0,5/0,3)
48. Мараховский А.С. Формирование эталонных траекторий производства ВВП на основе минимизации функционала качества / А.С. Мараховский, Т.В. Таточенко // Современные финансово-экономические проблемы в условиях глобализации: сб. тр. междунар. НПК –Ставрополь: СтГАУ, 2008. –С.256-261. (0,4/0,2)
49. Мараховский А.С. Модуль прогнозирования импортно-экспортного сальдо для функционирования макроэкономической системы в заданном режиме / А.С. Мараховский, Е.Л. Торопцев // Экономическое прогнозирование. Модели и методы: сб. тр. IV междунар. НПК –Воронеж: ВГУ, 2008. –С.250-252. (0,17/0,1)
50. Мараховский А.С. Взаимодействие циклов и кризисов в прогнозировании и планировании социально-экономического развития / А.С. Мараховский, Т.В. Таточенко // Молодежь и наука. Реальность и будущее: сб. тр. междунар. НПК –Москва: МГУ, 2008. –С.150-157. (0,34/0,2)
51. Мараховский А.С. Межрегиональный инструментарий прогнозирования социально-экономического развития / А.С. Мараховский, Т.В. Таточенко // Ломоносов: сб. тр. междунар. НПК –М: Издательство МГУ; СП Мысль, 2008. –С.340-347. (0,34/0,2)
52. Мараховский А.С. Критерии управляемости в динамических моделях макроэкономических систем / А.С. Мараховский // Инфокоммуникационные технологии в науке, производстве и образовании: сб. тр. междунар. НПК –Ставрополь: Сев-КавГТУ, 2008. –С.73-76. (0,2)

Отпечтано в типографии ООО «Курсив»;
г.Ставрополь, ул.Добролюбова, 57 А; тираж 120 экз.