

На правах рукописи

САРЫГУЛОВ Аскар Исламович

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ ДИНАМИКИ  
МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Специальность 08.00.13 – Математические и инструментальные  
методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
доктора экономических наук

Санкт-Петербург

2011

Работа выполнена на кафедре исследований операций в экономике имени профессора Ю.А. Львова ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет»

Научный консультант: Соколов Валентин Николаевич  
доктор экономических наук, профессор,  
зав. кафедрой исследований операций в  
экономике имени проф. Ю.А. Львова  
ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный  
инженерно-экономический университет»

Официальные оппоненты: Ильин Игорь Васильевич  
доктор экономических наук, профессор,  
зав. кафедрой информационных систем в экономике  
и менеджменте ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский  
государственный политехнический университет»

Викуленко Александр Евгеньевич  
доктор экономических наук, профессор,  
зав. кафедрой финансов и статистики  
ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский  
государственный технологический институт  
(Технический университет)»

Зиядуллаев Наби Саидкаримович  
доктор экономических наук, профессор,  
зав. отделом моделирования региональных  
экономических систем Института  
региональных экономических  
исследований (г. Москва)

Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра экономической кибернетики

Защита состоится «26» января 2012 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.23 при ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, 3 учебный корпус, ауд. 506.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»  
Автореферат разослан 7 декабря 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор экономических наук, профессор

С.Б. Сулоева

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Структура экономических систем традиционно исследовалась на двух уровнях организации: микро- и макроуровне. Основной экономической характеристикой, отражающей структурные изменения, как правило, является доля исследуемой компоненты, скорость или подвижность ее изменений. Только в отдельных исследованиях (на уровне микроэкономики) рассматривались вопросы взаимосвязи и влияния структурных изменений на результирующие показатели (валовой выпуск, прибыль, валовой доход), для сравнительно небольших сцепных временных интервалов. Основным инструментарием исследования здесь выступали статистические (индексные) методы оценки.

По мере развития экономических систем, структурные изменения становятся объектом исследования на макроэкономическом уровне. Основным инструментарием здесь выступали, как и прежде, статистические (индексные) методы, но наиболее значимые результаты были получены с использованием моделей межотраслевого баланса. Применение этого метода позволило значительно углубить ретроспективный период исследования и таким образом расширить временные горизонты оценки изменения структуры анализируемого объекта. Впоследствии сам инструментарий исследования структурных изменений был дополнен новыми методами – были разработаны пространственно-геометрические методы (по форме представления) и с использованием функции Кобба-Дугласа (для оценки технологических структурных изменений).

Экономические и политические изменения, произошедшие на рубеже XX и XXI веков, привели к значительным изменениям в характере торговых и технологических взаимосвязей между странами. Образовались новые уровни политико-экономической организации (мега-уровни) – такой, например, как Европейский Союз. Одновременно с этим произошла трансформация экономической системы на всем постсоветском пространстве. Все эти изменения сопровождались глубокими структурными сдвигами на отраслевом и технологическом уровнях, как в отдельных странах, так и в рамках новых интеграционных образований. По существу все это поставило вопрос о новых подходах к оценке структурных изменений, прежде всего в контексте как фактора, ускоряющего или замедляющего экономический рост, с учетом следующих особенностей современного экономического развития: значительно усложнившиеся горизонтальные и вертикальные связи между основными участниками экономического процесса – компаниями, рынком, государством; глобализационные процессы в мировой экономике, приведшие к свободному передвижению капитала, технологий, знаний и сформировавшие рынки товаров, капитала и услуг с качественно новыми характеристиками; унифицированные правила и национальные особенности; периодически повторяющиеся рецессии, приобретающие форму

кризиса; неравномерность развития как результат структурных изменений, структурных сдвигов и структурной несбалансированности.

Основой такого нового подхода должно стать рассмотрение структурно-функционального двуединства экономических систем как внутреннего механизма, определяющего темпы и направление ее развития, а само экономическое развитие – как последовательность определенных структурных изменений. Таким образом актуальность темы исследования определена необходимостью оценки влияния структурного фактора на процессы экономического развития и учета уже сложившихся структурных пропорций в экономике. В свою очередь особенности современного экономического развития ставят задачу оценки таких изменений с позиций структурной и экономической составляющих системы и должны рассматриваться как взаимодополняющие друг друга стороны экономического процесса.

**Состояние изученности проблемы.** Длительное время структурные изменения в экономике изучались как отдельный фактор, воздействующий среди многих других, на результаты экономической деятельности предприятия. При этом, как правило, ограничивались двумя смежными периодами, что практически приводило к рассмотрению структурного фактора как не-систематической характеристики в развитии системы.

Такие подходы, в основном использовавшиеся на микроэкономическом уровне, не могли быть использованы для целей анализа развития макроэкономических систем. Развитие инструментальной базы исследования структурных изменений стало возможным во многом благодаря работам В.В. Леонтьева, который впервые показал на материалах американской экономики возможность эффективного использования метода межотраслевого баланса для оценки структурных сдвигов на значительных временных интервалах. Впоследствии эти методы были развиты и использованы в методологии Организации Объединенных Наций по Промышленному Развитию (ЮНИДО). Существенным недостатком этого метода была невозможность его использования для задач прогнозного характера по оценке структурных изменений будущей экономики.

В отечественной науке история исследований структурных сдвигов в экономике связана с именами Л.С. Казинца, Г.Е. Эдельгауза, В.В. Коссова, М.А. Бутиной, С.Н. Журавлева, Г.И. Бархина, А.С. Чеснокова, Ю.В. Яременко, В.С. Сутягина, А.А. Нечаева, С.С. Емельянова, П.А. Ватника, Л.А. Дедова, В.С. Лукинскою, В.А. Бессонова, В.В. Глухова, И.В. Ильина, В.Н. Юрьева, Г.Ю. Силкиной, Р.В. Соколова, А.Е. Викуленко, Н.В.Суворова, О.В. Спасской, Е. Назруллаевой и других.

В числе работ зарубежных авторов, посвященных исследованию проблем оценки и учета структурных изменений в экономических системах, следует отметить работы В. Леонтьева, К. Кларка, С. Кузнецца, Э.Денисона, К. Нутахара, Г. Минасяна, А. Картер, М. Сониса, Дж. Гуо, М.Плантаинга и других.

Современное состояние изучения процессов структурной динамики характеризуется явным преобладанием в качестве инструментария исследования моделей межотраслевого баланса (работы американских экономистов и сотрудников ЮНИДО). Все большее внимание уделяется изучению вопросов структурной технологической динамики. Вместе с тем, как это показывает современное экономическое развитие, и особенно текущий экономический кризис, структурная несбалансированность таит в себе реальные экономические угрозы, причем долговременного характера, учитывая инерционный характер процессов в макроэкономических системах.

**Цель и задачи диссертационного исследования.** Цель исследования заключается в создании методологии оценки и описания структурных изменений в макроэкономических системах, предназначенных для решения задач стратегического управления экономической динамикой; разработке математического аппарата, описывающего совместное действие структурных изменений и процессов экономического роста; построении алгоритмов управления и приведения к заданной технологической и отраслевой структуре исследуемых макроэкономических систем – основ комплексной теории структурной динамики экономических систем.

Для решения поставленных целей были сформулированы следующие **задачи исследования:**

- Обобщение отечественного и зарубежного опыта моделирования и оценки структурных изменений в экономике.
- Обоснование новых подходов и методологических приемов в части моделирования воздействия структурных механизмов на процессы экономического роста.
- Расширение концептуальных основ моделирования структурных механизмов в экономике.
- Выявление основных причинно-следственных взаимосвязей в экономических системах, формирующих и определяющих структурную динамику.
- Изучение динамики структурных изменений в макроэкономических системах с целью построения адекватных данному процессу математических моделей и методов исследования.
- Построение математической модели взаимосвязи структурных изменений и экономического роста.
- Адаптирование положения теории о диффузии инноваций и экономических циклах к реальным структурным изменениям в экономических системах и построение на этой основе алгоритма управления технологической структурой отрасли экономики.
- Разработка показателей оценки воздействия структурной динамики на процессы экономического развития.

- Изучение направленности и характера структурных изменений в российской экономике за период рыночных реформ (1990-2006 гг.).
- Обоснование качественных параметров структуры экономических систем и определение условий их сбалансированного развития.

**Предметом исследования** является структурная динамика экономических систем, механизмы и модели оценки структурных изменений в макроэкономических системах.

В качестве **объекта исследования** рассматривается национальная экономика, ее отрасли и технологические сектора.

**Теоретические и методологические основы исследования.** При разработке основ комплексной теории структурной динамики макроэкономических систем с применением методов математического моделирования были использованы труды по теории экономического развития и инновационной динамики, институциональным проблемам экономических систем, теории экономико-математического моделирования экономических процессов, теории вероятностей и математической статистики. Были также задействованы базовые принципы теории триггерного развития и диффузии инноваций, математической теории аттракторов динамических систем, теория длинных волн экономической конъюнктуры. В основу работы положены принципы системного подхода с использованием общенаучных методов исследования, таких как классификационный и структурный анализ, синтез результатов анализа, сочетание логического и исторического методов, выявление причинно-следственных связей. При оценке структурной динамики применялись различные статистические методы и экономико-математические модели.

**Информационной базой исследования** послужили справочные и методические материалы органов государственного управления, научно-исследовательских институтов, данные Федеральной службы государственной статистики, законодательные и нормативные акты, методические положения по статистике Федеральной службы государственной статистики РФ, Руководство по национальным счетам Статистического отдела ООН, Базы данных Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Всемирного банка, Международного валютного фонда Национального бюро экономических исследований США, Центра исследований экономики Гренингенского Университета (Голландия), Института научно-технического прогнозирования РАН, Центра фундаментальных исследований процессов развития экономики России СПбГИЭУ, материалы периодической печати, ресурсы Интернет-сети.

**Вклад автора в проведенное исследование.** Теоретико-методологические положения, выводы и научно-практические рекомендации, разрабо-

тантные и представленные в диссертации, являются результатом самостоятельных исследований автора.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в следующем: проведено системное исследование воздействия структурных изменений на процессы экономического развития, что позволило расширить методологические основы изучения структурных сдвигов в экономике, построить новый класс нелинейных математических моделей взаимосвязи структурных изменений и экономического роста, а также сформулировать теоретические и методологические подходы к комплексной оценке воздействия структурных изменений на отраслевые и технологические сдвиги.

По итогам диссертационного исследования получены следующие **результаты, обладающие научной новизной и являющиеся предметом защиты**:

Созданы основы комплексной теории структурной динамики экономических систем, отличающейся системным характером и позволяющей расширить гносеологические рамки исследования структурных изменений в экономике, построить методологию и систему математических моделей и обеспечить единую логическую взаимосвязь исследований изменения структурных факторов и динамики результирующих показателей функционирования экономических систем.

Исследовано и предложено понятие двуединства структурно-функционального развития, что позволило значительно расширить область исследования структурной составляющей и ее механизмов в экономических системах. В отличие от традиционных подходов, когда структурные изменения и сдвиги рассматривались как автономные процессы внутри экономических систем, концепция структурно-функциональной взаимосвязи создала возможности построения динамических моделей структурных изменений и экономического роста, в рамках которой экономическое развитие рассматривается прежде всего как последовательность определенных структурных изменений.

Обоснована методология математического моделирования структурных изменений в экономических системах, позволяющая обеспечить системный характер исследований, в ситуации, когда структурные изменения рассматриваются как «фактор-влияние» и как «фактор-результат» развития экономической системы. Данная методология представляет собой многошаговый процесс оценки направленности и качества самой структуры, с последующим описанием характера взаимосвязи изменения структуры и процессов экономического развития.

Разработан концептуальный подход к рассмотрению экономических систем как нелинейных, недетерминированных и неравновесных образований, для которых присущи явления неравномерности и стохастичности. В силу наличия у последних таких характеристик предложены новые подходы к моделированию структурных изменений, основанные на теории ат-

тракторов динамических систем и нелинейных функций. Доказано, что модели аттракторов наиболее полно и точно отражают направленность и особенности структурных изменений отраслевого характера.

Выявлено и доказано, что параметры качества отраслевой структуры, оцененные на основе коэффициента пропорциональности, отражают не только характер взаимного соответствия экономических и технологических факторов развития, но и являются самостоятельными экономическими индикаторами, характеризующими динамику результирующего и структурного факторов.

Построена система математических моделей, позволяющая обеспечить фундаментальное исследование структурных изменений, оценить направленность и качество структурных сдвигов, а также получить конкретные числовые параметры структурных изменений отраслевого и технологического характера, с целью достижения структурной сбалансированности на макроэкономическом уровне.

Проведена адаптация и верификация разработанных в диссертационном исследовании математических моделей оценки структурных сдвигов на основе статистических данных отдельных стран, в том числе и России, что позволило определить тесноту реальной взаимосвязи между структурными и функциональными характеристиками экономики, а также предложить практические рекомендации по достижению структурной сбалансированности макроэкономических систем.

**Теоретическая значимость** диссертационной работы заключается в том, что она способствует развитию научных знаний в области теории и методологии моделирования структурной динамики макроэкономических систем, углубляя и развивая отдельные теоретические положения и математический инструментарий моделирования структурной динамики экономических систем, создавая основы комплексной теории моделирования структурных изменений и экономического роста.

**Практическая значимость и внедрение результатов исследований.** Теоретические, методологические и методические результаты, полученные в ходе исследования, могут быть использованы при разработке и совершенствовании методологии макроэкономического планирования и управления, межстрановых сопоставлений структурного характера и практике государственного статистического учета, при формировании федеральных и региональных программ экономического и технологического характера.

Реализация предложенных подходов в форме основ комплексной теории и методологии моделирования структурных изменений должна содействовать качественному улучшению структурной сбалансированности на отраслевом и технологическом уровнях, обеспечению практической взаимосвязи между структурными изменениями и процессами экономического роста.



Материалы диссертационного исследования могут быть использованы в учебном процессе высших учебных заведений при подготовке пособий, лекционных и практических курсов по дисциплинам, рассматривающих вопросы макроэкономического моделирования.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационного исследования были доложены автором и одобрены на Первом Всероссийском экономическом конгрессе (Декабрь 2009. г. Москва), Международной конференции «Наука и общество – экономика и социология XXI века. V Петербургская встреча лауреатов Нобелевской премии» (Октябрь 2010. г. Санкт-Петербург), на научных семинарах Центра фундаментальных исследований процессов развития экономики России и на научных семинарах кафедры исследования операций в экономике имени проф. Ю.А. Львова Санкт-Петербургского государственного инженерно-экономического университета.

Результаты диссертационного исследования были использованы при работе по Целевой программе «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)»:

по проекту РНП 2.1.3/9960 «Исследование устойчивости экономических систем и оценка влияния ресурсных факторов на макроэкономическую динамику», выполняемому Центром фундаментальных исследований процессов развития экономики России Санкт-Петербургского государственного инженерно-экономического университета;

по проекту РНП 2.1.3/9959 «Исследование циклических процессов в экономике и определение траектории долгосрочного инновационно-технологического развития России», выполняемому Центром фундаментальных исследований процессов развития экономики России Санкт-Петербургского государственного инженерно-экономического университета;

по проекту Российского фонда фундаментальных исследований № 11-0526/07 от 11.03. 2011 г. «Исследование процессов макроэкономического роста в условиях информационной экономики».

Основные положения основ комплексной теории моделирования структурной динамики макроэкономических систем, являющиеся результатом диссертационного исследования, были реализованы в рамках НИР Санкт-Петербургского государственного инженерно-экономического университета в 2009-2011 гг.

**Публикации.** Основные научные результаты диссертационного исследования изложены в 22 публикациях общим объемом более 36,8 п.л., в том числе в 3 монографиях, 19 статьях в научных журналах, изданиях, сборниках научных трудов, материалах научных конференций, из них 15 публикаций в журналах из перечня Высшей аттестационной комиссии.

**Структура и объем работы.** Диссертационное исследование состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, определены ее цель, задачи, предмет и объект анализа, методологическая и информационная база, раскрыта научная новизна, обоснована теоретическая и практическая значимость, дана краткая характеристика работы.

Развитие структуры экономики является закономерным итогом эволюции системы, оказывая на нее периодически корректирующие воздействия. Наиболее явственно это взаимное влияние проявляется в периоды рецессии и кризисов, когда уже накопленные в системе диспропорции многократно усиливаются несбалансированностью структурного развития. Структурная несбалансированность является следствием самого процесса развития, когда несопряженность функций системы и ее структуры ставит на повестку дня вопрос о существенной коррекции и обеспечении соответствия структуры и функции системы. Именно этим вопросам посвящена первая глава «*Структура и функции макроэкономических систем*», где ставится и исследуется вопрос о самом понятии «структура», а также анализируются процессы структурного развития в макроэкономических системах. Отдельно рассмотрены вопросы, связанные с институциональной составляющей структурной динамики, хотя в самих моделях действие этой компоненты не рассматривается. В этой же главе анализируются особенности формирования макроэкономических структур и обосновывается использование метода моделирования как инструментальной основы исследования.

Поскольку основным методом исследования определены математические модели, то вторая глава «*Модели измерения структурных сдвигов в экономике*» посвящена анализу уже созданной инструментальной базы в части исследования структурных сдвигов. В частности подробно проанализированы наиболее часто используемые в исследовательской практике индексные, пространственно-геометрические и матричные модели оценки структурных изменений. Поскольку существует тесная взаимосвязь между формированием экономической и технологической структур, то здесь же подробно рассмотрены модели, предложенные для оценки технологических изменений в российской экономике.

В третьей главе «*Модели оценки направленности и качества структурных сдвигов*» содержится подробный анализ изменения отраслевых структурных сдвигов в экономике индустриально развитых стран. Исследуемая выборка включала в себя десять стран-членов ОЭСР, а исследуемый период охватывал 1970-2003 гг. Здесь же рассмотрены вопросы технологической структуры, а также предложены методы оценки и построения эталонных структур.

В частности впервые предложены в качестве инструментария исследования структурных изменений различные формы динамических аттракторов. Как следует из полученных результатов, математический аппарат используемый при изучении аттракторов динамических систем, в наи-

большей степени адаптирован именно к исследованию динамических структурных характеристик. Особенно многообещающей выглядит использование нелинейных аттракторов для задач оценки направленности и характера процессов структурной динамики. Здесь же сформулированы методологические основы моделирования и количественной оценки структурных изменений, проведена оценка взаимосвязи между отраслевыми и технологическими изменениями и темпами роста ВВП. Так, основываясь на показателях качества отраслевой структуры, удалось показать, что структура способна как замедлять, так и ускорять экономический рост, т.е. является одним из важных факторов экономического развития.

На основе широко распространенного класса моделей – матричных – в четвертой главе *«Модели оценки структурных изменений в российской экономике»* проведен анализ оценки межотраслевых взаимосвязей для экономики России. Для анализа структурных изменений в экономике России определен период 1980-2006 гг., когда имело место наиболее глубокая структурная ломка экономики, а в качестве моделей для оценки таких трансформационных процессов использована крупноагрегированная девятисекторная модель, основанная на данных межотраслевого баланса. Количественная макроэкономическая оценка структурных сдвигов российской экономики проведена на основе модифицированной матричной модели. Приходится констатировать, что структурные и технологические изменения, характерные для экономики России в период 1980-2006 гг., не могут рассматриваться как эталонные, прежде всего, в силу коренной ломки народнохозяйственного комплекса СССР, имевшего место в начале 1990-х годов.

В пятой главе *«Нелинейные модели структурной динамики»* дано описание нового класса моделей, разработанных для целей оценки структурных изменений и их влияния на темпы роста ВВП. Нелинейные модели структурной динамики, хотя и носят постановочный характер, были верифицированы на конкретных экономических данных отдельных стран-членов ОЭСР. Так в частности показано, что при наличии продуманной и обеспеченной ресурсами промышленной политике, на макроэкономическом уровне складываются объективные предпосылки для ускоренного экономического роста на базе постоянного улучшения технологической структуры, особенно в обрабатывающих отраслях промышленности.

## **2. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

Диссертационное исследование посвящено решению важной макроэкономической проблемы – созданию основ комплексной теории и методологии моделирования структурной динамики на отраслевом и технологиче-

ском уровнях. Структурная несбалансированность является следствием самого процесса развития, когда несопряженность функций системы и ее структуры ставит на повестку дня вопрос о существенной коррекции и обеспечении соответствия структуры и функции системы.

**1. В рамках разработанных основ комплексной теории структурной динамики экономических систем расширены гносеологические рамки исследования структурных изменений в экономике и обеспечена единая логическая взаимосвязь изучения динамики структурных факторов и результирующих показателей функционирования экономических систем. Здесь прежде всего необходимо выделить:**

*Первое.* Неразрывный характер структурно-функциональных связей, когда наблюдается строгое соответствие структуры и функции и наличие в макроэкономических системах обоих вариантов системогенеза, когда на различных стадиях развития каждая из них поочередно играет доминирующую роль.

*Второе.* Развитие системы есть результат определенных изменений структуры и внутрискруктурных взаимодействий, то есть само экономическое развитие рассматривается как последовательность определенных структурных изменений.

*Третье.* Сами изменения структуры представляют собой кумулятивный процесс и имеют свойство не только консервировать (сохранять) и накапливать, но и изменять уже имеющиеся характеристики систем, задавая тем самым новый вектор развития.

*Четвертое.* В макроэкономических системах присутствуют различные структурные уровни, каждый из которых обладает заданными свойствами, а их изменения носят динамический и нелинейный характер. Каждый структурный уровень характеризуется только ему присущими свойствами и взаимосвязями. Определение структурного уровня основывается на логически связанной системе критериев, таких как сложность, управляемость, доминантность, гибкость и коррелятивность информации.

*Пятое.* Неполнота упорядоченности и наличие определенных «степеней свободы» у элементов самой системы являются универсальным признаком макроэкономической системы, поскольку ее подвижность и гибкость предопределяются относительной независимостью изменения ее элементов и тем самым оказывают прямое влияние на изменения ее структуры. В случае чрезмерного усиления взаимосвязей появляются признаки обособления элементов и как следствие образуются автономные элементы и подсистемы.

*Шестое.* Институциональная составляющая макроэкономических систем играет важную роль в формировании структурно-функциональной целостности системы и оказывает непосредственное влияние на динамику развития системы. Ввиду практической трудности математической форма-

лизации этой компоненты, описание ее воздействия и влияния на структурную динамику системы носит в основном вербальный характер.

Суммируя все эти обобщения в форме единой динамической характеристики структурных изменений, можно дать следующее определение: *структурные изменения являются многокомпонентным, динамическим и кумулятивным процессом с ярко выраженными аллометрическими свойствами.*

**2. Исследовано и предложено понятие двуединства структурно-функционального развития, что позволило значительно расширить области исследования структурной составляющей и ее механизмов в экономических системах.**

В отличие от традиционных подходов, когда структурные изменения и сдвиги рассматривались как автономные процессы внутри экономических систем, концепция структурно-функциональной взаимосвязи создала возможности построения динамических моделей структурных изменений и экономического роста, в рамках которой экономическое развитие рассматривается прежде всего как последовательность определенных структурных изменений.

Обеспечение высоких темпов роста «общественного богатства» является основной функцией экономической системы: чем больше этого богатства, чем выше темпы его роста, тем большими ресурсами обладает система и тем полнее могут быть исполнены все функции второго порядка.

Для целей нашего исследования мы будем использовать показатель Валового внутреннего продукта (ВВП), рассматривая его как основной входной поток, формирующий пророст национального богатства и как основной измеритель его интенсивности.

Анализ динамики отраслевой структуры ВВП десяти стран-членов ОЭСР (США, Канада, Япония, Корея, Финляндия, Италия, Швеция, Австрия, Испания, Германия)<sup>1</sup> в период 1970-2003 гг. показал, что для одних отраслей характерна ярко выраженная тенденция к сокращению их долей в ВВП (это, прежде всего, сельское хозяйство), для других - наоборот, устойчивая тенденция к увеличению (например, сектор финансов). Вместе с тем есть сектора, доли которых в ВВП подвержены незначительным колебаниям на протяжении всего исследуемого периода (мы их условно назвали «традиционные» отрасли – это торговля, строительство, транспорт, электро-, газо- и водоснабжение, горнодобывающая промышленность). В табл. 1 приведена динамика средних значений долей всех отраслей ВВП по исследуемой выборке за период 1970-2003 гг.

---

<sup>1</sup> В качестве статистической базы данных использованы данные <http://www.oecd.org/statisticdata/>

Таблица 1

## Динамика отраслевой структуры ВВП

Отрасли	1970	1980	2003
Сельское хозяйство, охота, лесоводство и рыболовство	9,7	6,4	2,2
Горнодобывающая	1,5	2,0	0,9
Электро-, газо- и водоснабжение	2,1	2,5	2,5
Строительство	7,2	7,4	6,2
Оптовая и розничная торговля, рестораны и гостиницы	14,5	15,1	14,0
Транспорт, склады и коммуникации	7,6	7,7	7,4
Финансы, страхование, недвижимость и бизнес услуги	14,3	15,8	25,5
Услуги: индивидуальные, социальные и общественные	17,8	18,8	21,5
Обрабатывающая промышленность	25,4	24,4	19,8

Как видно из табл. 1 произошло резкое снижение доли сельского хозяйства (с 9,7% в 1970 г. до 2,2% в 2003 г.), существенно выросла доля сектора финансов (с 14,3% в 1970 г. до 25,5% в 2003 г.). Незначительный рост наблюдается в секторе услуг, практически неизменной осталась доля торговли и произошло снижение (практически на шесть процентных пунктов) доли обрабатывающей промышленности.

**3. Проанализированы сложившиеся в экономической теории и практике подходы к оценке структурных изменений в экономических системах, выявлены тенденции в развитии методологических подходов к исследованию структурных сдвигов на микро- и макроуровнях, обобщены теоретические, методологические и практические подходы к моделированию структурной динамики макроэкономических систем.**

Обоснованы новые подходы и методологические приемы в части моделирования воздействия структурных механизмов на процессы экономического роста; расширение концептуальных основ моделирования структурных механизмов в экономике; выявление основных причинно-следственных взаимосвязей в экономических системах, формирующих и определяющих структурную динамику; построение математической модели взаимосвязи структурных изменений и экономического роста.

Разработаны основы комплексной теории и методологии моделирования структурной динамики макроэкономических систем и проведена оценка взаимосвязи структурных изменений и экономического роста и на этой основе создан алгоритм управления технологической структурой обрабатывающих отраслей экономики.

Проведенный анализ показал, что все существующие подходы оценки структурных изменений можно разделить на три основные группы: *индексные, пространственно-геометрические и матричные*. Значительная

часть исследований в области структурных сдвигов была посвящена проблемам экономического развития в условиях плановой экономики, где преимущественно использовались индексный и пространственно-геометрический подходы. Структурные изменения в условиях рыночной экономики в основном исследовались с использованием моделей межотраслевого баланса. Несмотря на то, что эти показатели частично оценивают направленность структурных изменений, они не отвечают на два ключевых вопроса экономической динамики: не оценивают качество структуры, соответственно, не оценивают взаимосвязь между изменением качества структуры и процессами экономического развития, и не оценивают динамику экономического развития в контексте структурных изменений.

**4. Разработана методология математического моделирования структурных изменений в экономических системах, позволяющая обеспечить системный характер исследований, в ситуации, когда структурные изменения рассматриваются как «фактор-влияние» и как «фактор-результат» развития экономической системы. Данная концепция представляет собой многошаговый процесс оценки направленности и качества самой структуры, с последующим описанием характера взаимосвязи изменения структуры и процессов экономического развития. В рамках этой концепции экономические системы рассматриваются как нелинейные, недетерминированные и неравновесные образования, для которых присущи явления неравномерности и стохастичности. В силу наличия у последних таких характеристик предложены новые подходы к моделированию структурных изменений, основанные на теории аттракторов динамических систем и нелинейных функций.**

Применительно к задачам настоящего исследования были предложены модели аттракторов динамических систем для оценки направленности структурных изменений.

Общая математическая модель аттрактора динамической системы имеет следующий вид:

$$\hat{x} = f_1(x, y, \bar{\mu}) \quad (1)$$

$$\hat{y} = f_2(x, y, \bar{\mu}), \quad (2)$$

при  $x^0 = x(0), y^0 = y(0)$

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} \end{pmatrix} \quad \text{в точке } (x^0, y^0). \quad (3)$$

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = f_1(y_1, y_2, \dots, y_N, t) \\ \frac{dy_2}{dt} = f_2(y_1, y_2, \dots, y_N, t) \\ \dots \\ \frac{dy_N}{dt} = f_N(y_1, y_2, \dots, y_N, t) \end{cases} \quad (4)$$

или используя  $N$  - компонентные векторные функции  $\mathbf{y}(t)$  и  $\mathbf{f}(t)$

$$\frac{d\mathbf{y}}{dt} = \mathbf{f}(\mathbf{y}, t) \quad (5)$$

Поскольку любой аттрактор является конечной областью неминуемого схождения фазовых траекторий движения сложной системы, то в макроэкономических системах они наилучшим образом описывают направленность структурных изменений. В диссертационном исследовании использована нелинейная модель аттракторов. Так, для оценки структурной динамики сектора сельского хозяйства США построены две логистические функции, которые приведены на рис. 1. Каждая из этих функций асимптотически приближается соответственно к верхней и нижней границам.

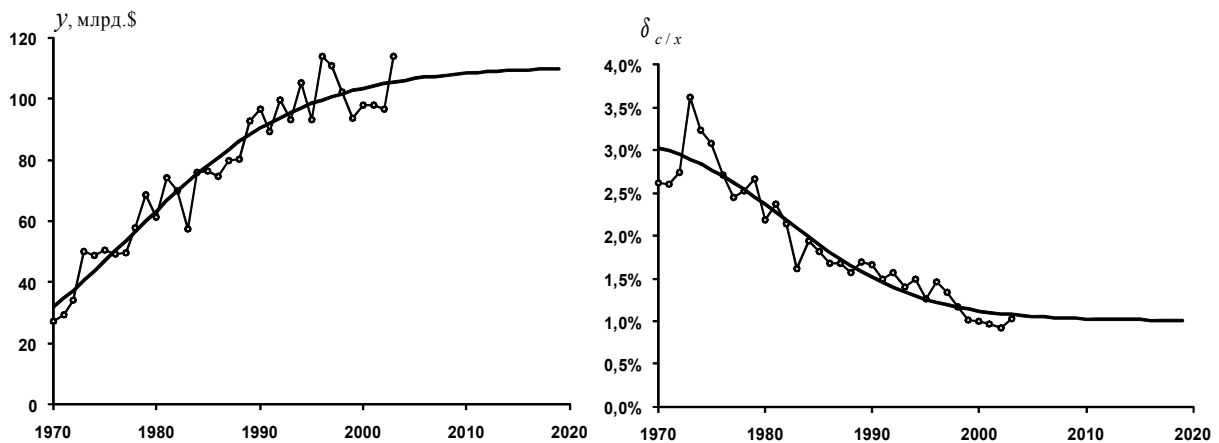


Рис. 1. Динамика добавленной стоимости и доли сельского хозяйства США

Следующим шагом является построение фазовой плоскости и нахождение самого аттрактора динамической системы (рис. 2).



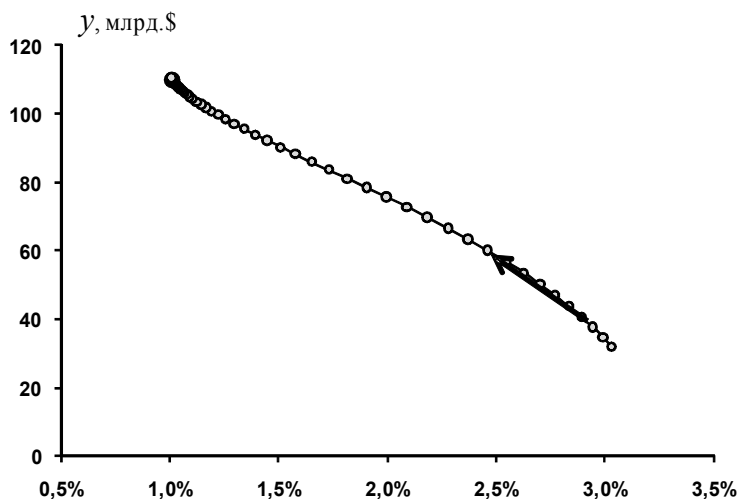


Рис. 2. Аттрактор динамической системы сельского хозяйства США

Как видно из рис. 2, аттрактор имеет вид определенной точки, к которой сходятся в динамике значения доли сельского хозяйства в общем объеме добавленной стоимости. Этот аттрактор имеет конкретный экономический смысл, отражающий предел указанной доли. Одновременно он показывает максимальные объемы производства в рамках существующего технологического уклада.

Разработанные модели аттракторов и их верификация на реальных статистических данных доказывает, что этот класс моделей наиболее полно и точно отражает направленность и особенности структурных изменений отраслевого характера.

**5. Выявлено и доказано, что параметры качества отраслевой структуры, оцененные на основе коэффициента пропорциональности, отражают не только характер взаимного соответствия экономических и технологических факторов развития, но и являются самостоятельными экономическими индикаторами, характеризующими динамику результирующего и структурного факторов.**

Модель оценки качества структуры на основе коэффициента пропорциональности и корреляционная модель взаимосвязи качества структуры и темпов роста ВВП

В реальной экономике разные отрасли имеют существенно различающиеся удельные веса и по-разному влияют на формирование результирующих показателей.

Наиболее точный метод оценки различных структур (совокупностей) на основе принципа измерения пропорциональности был предложен П. Ватником. Данный подход позволяет создать определенную эталонную оценку, которая может быть использована в дальнейшем при исследовании

динамики изменения самой структуры. Введенный таким образом коэффициент пропорциональности имеет следующий вид:

$$\text{Prop}[X, Y] = \frac{\overline{XY}^2}{\overline{X^2} \overline{Y^2}}, \quad \text{или же} \quad \text{Prop}[X, Y] = \frac{\left( \sum_i X_i Y_i \right)^2}{\left( \sum_i X_i^2 \right) \left( \sum_i Y_i^2 \right)} \quad (6)$$

и является структурной характеристикой, определяющей степень взаимной пропорциональности переменных, которой присущи следующие основные свойства:

- независимо от размерности переменных является всегда величиной безразмерной;
- при любых  $a, b > 0$  справедливо равенство  $\text{Prop}[aX, bY] = \text{Prop}[X, Y]$ ;
- возможные значения коэффициента пропорциональности лежат в пределах  $0 \leq \text{Prop}[X, Y] \leq 1$ .

Содержательно коэффициент пропорциональности представляет собой числовую меру близости между оцениваемой структурой и эталонной. При полном их совпадении  $\text{Prop}[X, Y]=1$ . Коэффициент пропорциональности не ориентирован на равенство долей всех составных частей целого и допускает задание эталонной структуры исходя из качественных соображений. В табл. 2 определен эталон отраслевой структуры ВВП десяти стран-членов ОЭСР.

Таблица 2

Значение эталона для отраслевой структуры ВВП

№	Наименование отрасли	Доля, %
1	Сельское хозяйство, охота, лесоводство и рыболовство	2,2
2	Горнодобывающая	0,9
3	Электро-, газо- и водоснабжение	2,5
4	Строительство	6,2
5	Оптовая и розничная торговля – рестораны и гостиницы	14,1
6	Транспорт, склады и коммуникации	7,5
7	Финансы, страхование, недвижимость и бизнес-услуги	25,4
8	Услуги: индивидуальные, социальные и общественные	21,4
9	Обрабатывающая промышленность	19,8
	Всего	100,0

В диссертационном исследовании (см. табл. 3) приведен эталон технологической структуры обрабатывающей промышленности для тех же стран.

Вследствие вышеизложенных соображений именно коэффициент пропорциональности рекомендуется нами в качестве основного индикато-

ра, наиболее точно отражающего динамику и природу структурных изменений на макроэкономическом уровне.

Таблица 3

## Эталон технологической структуры

	Группы отраслей	Доля, %
A	Высокотехнологичные производства	19
B	Средневысокотехнологичные производства	28
C	Средненизкотехнологичные производства	21
D	Низкотехнологичные производства	32
	Всего	100

Результаты проведенных расчетов качества отраслевой структуры ВВП приведены на рис. 3.

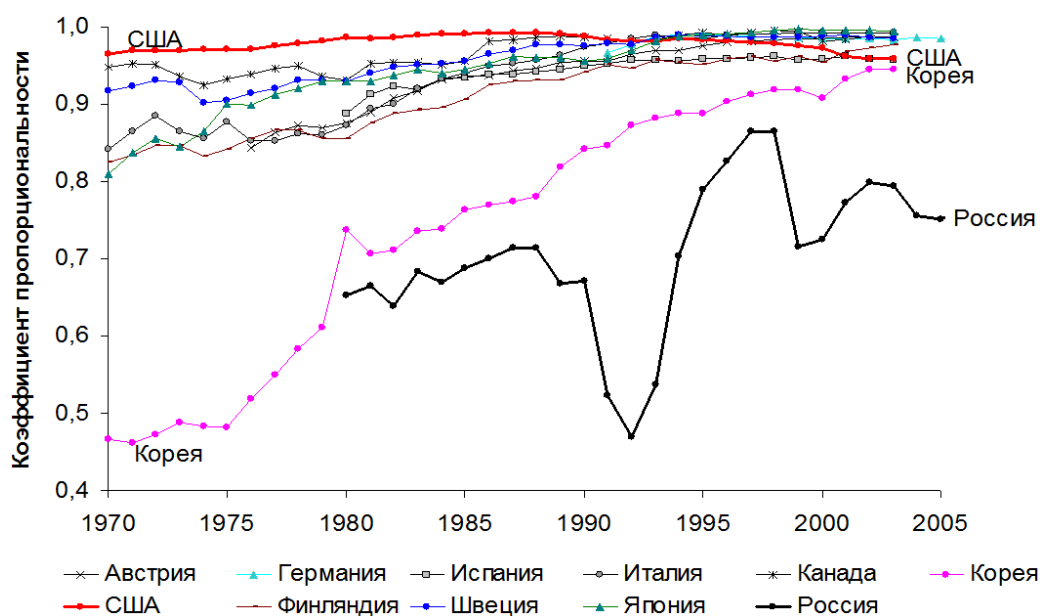


Рис. 3. Динамика качества отраслевой структуры ВВП

В отличие от эталона для отраслевой структуры, эталон технологической структуры в существенной степени зависит от долей высокотехнологичных и средневысокотехнологичных производств. Так на рис. 4 показано наличие высокой корреляционной взаимосвязи между темпами роста обрабатывающей промышленности и динамикой ВВП Финляндии, а на рис. 5 — динамика среднего уровня технологичности промышленности.

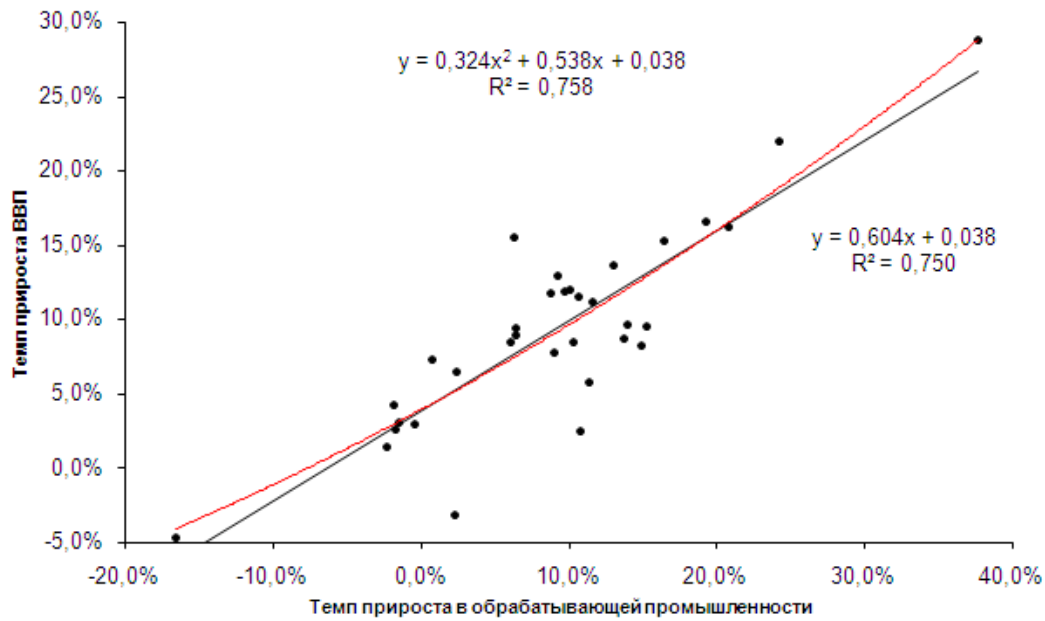


Рис. 4. Влияние темпов роста обрабатывающей промышленности на динамику ВВП Финляндии

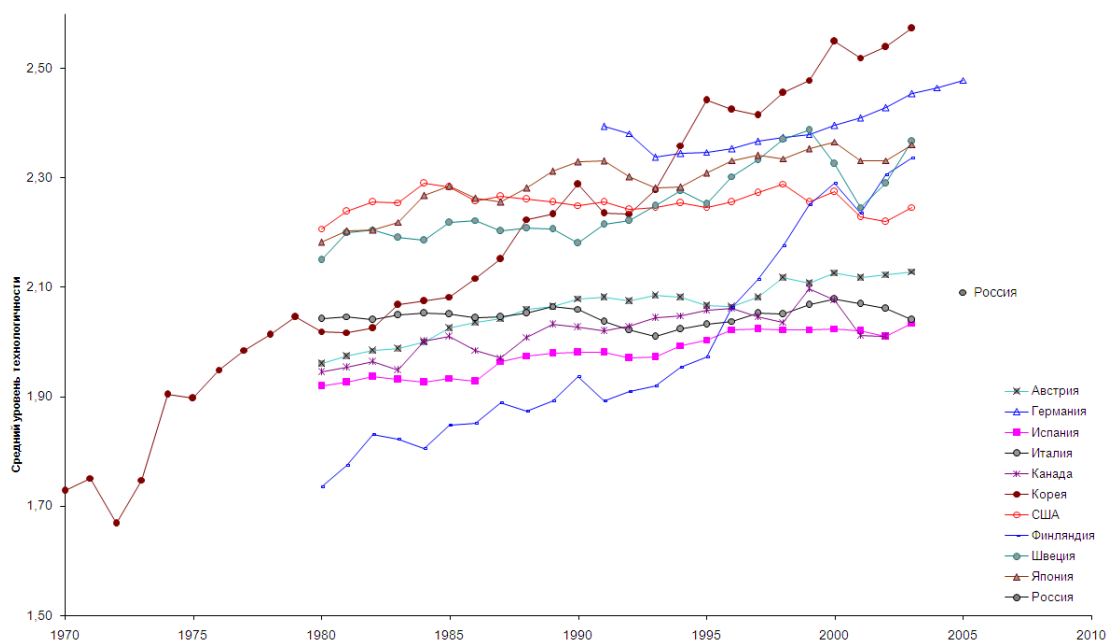


Рис. 5. Динамика среднего уровня технологичности промышленности

Задача оценки взаимосвязи между качеством структуры и темпами роста ВВП решается на основе моделей корреляционного анализа, т.е. путем определения коэффициентов корреляции и детерминации. Первый из этих показателей определяет статистическую зависимость между случайными величинами, не имеющими строго функционального характера, когда изменение одной из случайных величин приведет к изменению среднего

другой. Второй показатель описывает долю вариации результативного признака в зависимости от факторного.

В качестве результативного признака определены базисные темпы роста ВВП с начала исследуемого периода (1970 г.), а в качестве факторных - коэффициент пропорциональности (для отраслевых структурных изменений с 1970 г.) и средний уровень технологичности обрабатывающей промышленности (для технологической структуры с 1980 г.).

Сводная таблица коэффициентов корреляции ( $R$ ) и детерминации ( $R^2$ ) для отдельных стран приведена ниже (см. табл. 4).

Таблица 4

Влияние коэффициента пропорциональности и среднего уровня технологичности на темпы роста ВВП

Страна	Зависимость темпов роста ВВП от			
	коэффициента пропорциональности		среднего уровня технологичности	
	$R$	$R^2$	$R$	$R^2$
США	0,5771	0,0333	0,00	0,00
Корея	0,9878	0,9724	0,9616	0,9263
Финляндия	0,9526	0,9086	0,9782	0,9524
Швеция	0,9579	0,9181	0,8453	0,7169
Канада	0,8163	0,6619	0,6723	0,4523
Япония	0,9213	0,8477	0,9055	0,8205

Практически для всех стран значение коэффициента корреляции колеблется от 0,8163 (Канада) до 0,9878 (Корея), что свидетельствует о сильной и очень сильной взаимосвязи и влиянии качества отраслевой структуры на темпы роста ВВП.

Более сложным представляется характер взаимосвязи между средним уровнем технологичности и темпами роста ВВП. В случае США коэффициент корреляции равен 0,02, т.е. связь практически отсутствует. Хотя для всех остальных стран характер такой связи не только очевиден, но и является существенным. Только в случае Канады мы можем говорить об умеренном характере связи ( $R=0,6723$ ). Для всех остальных стран значения этого показателя колеблется от 0,8453 (Швеция) до 0,9782 (Финляндия).

Корреляционные поля и характер связи между результативным признаком и исследуемыми факторами приведены ниже для Кореи (см. рис. 6).

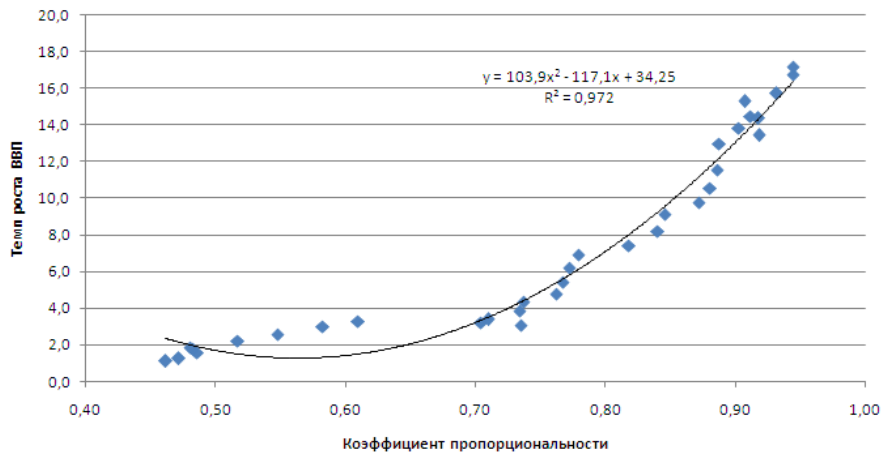


Рис. 6. Диаграмма влияния качества отраслевой структуры на темпы роста ВВП Кореи

**6. Проведена верификация и адаптация разработанных в экономической литературе матричных моделей для оценки структурных изменений в российской экономике на основе моделей межотраслевого баланса и модели множителей матрицы продукции, а также матричной модели оценки направленности структурных сдвигов Бархина-Чеснокова.**

Как известно при применении МОБ в стоимостном выражении для анализа взаимосвязей между отраслями экономики вводится матрица прямых затрат  $A$ , которая имеет размерность, соответствующую числу рассматриваемых отраслей:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где  $n$  – число рассматриваемых отраслей и каждый элемент матрицы  $a_{ij}$  отражает расход продукции  $i$ -ой отрасли, необходимый для выпуска единицы продукции  $j$ -ой отрасли. Каждый такой коэффициент находится как

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{W_j}, \quad (8)$$

где  $x_{ij}$  – объем продукции  $i$ -ой отрасли, потребленной в  $j$ -ой отрасли,  $W_j$  – валовой выпуск  $j$ -ой отрасли.

Чтобы рассчитать действительные затраты продукции одной отрасли на выпуск единицы другой, необходимо сложить прямые и косвенные затраты, получив коэффициенты полных затрат.

В матричной форме прямые затраты определяются как:

$$T = A \cdot V, \quad (9)$$

где  $T$  – вектор прямых затрат,

$A$  – матрица коэффициентов прямых затрат,

$V$  – вектор конечного продукта отраслей народного хозяйства.

Сумма косвенных затрат всех циклов, прямых затрат и конечного продукта в сумме дает вектор валового выпуска по отраслям народного хозяйства.

В формализованном виде вектор валового выпуска можно записать как

$$W = V + A \cdot V + A^2 \cdot V + A^3 \cdot V \quad (10)$$

или

$$W = (E + A + A^2 + A^3) \cdot V, \quad (11)$$

где  $E$  – единичная матрица.

Тогда

$$W = (E - A)^{-1} \cdot V, \quad (12)$$

где  $(E - A)^{-1}$  – матрица коэффициентов полных затрат (обратная матрица Леонтьева), или другой матричный формат основного экономико-математического выражения межотраслевого баланса будет:

$$W = A \cdot W + V, \quad (13)$$

где  $W$  – вектор валовых объемов производства,

$A$  – матрица коэффициентов прямых затрат,

$V$  – вектор объемов конечной продукции.

А. Следующим шагом для исследования структурных изменений в российской экономике за период 1980-2006 гг. стала модифицированная матричная модель на основе множителя матрицы продукции, предложенная Дж. Гуо и Р. Плантингом, следующего вида:

$$M = \frac{1}{V} \|b_{i \bullet} b_{\bullet j}\| = \frac{1}{V} \begin{pmatrix} b_{1 \bullet} \\ b_{2 \bullet} \\ \vdots \\ b_{n \bullet} \end{pmatrix} (b_{\bullet 1} \quad b_{\bullet 2} \quad \dots \quad b_{\bullet n}) \quad (14)$$

где

$B = \{b_{ij}\} = [I - A]^{-1}$  - матрица коэффициентов полных затрат (обратная матрица Леонтьева)

$b_{\bullet j} = \sum_{i=1}^n b_{ij}$  - сумма по колонке  $j$  из матрицы полных затрат (мера обратных связей)

$b_{i \bullet} = \sum_{j=1}^n b_{ij}$  - сумма по строке  $i$  из матрицы полных затрат (мера прямых связей)

$V = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}$  - сумма коэффициентов полных затрат для всех отраслей промышленности (показатель совокупной интенсивности взаимодействия между отраслями).

Расчеты, проведенные по данной модели, отражены на рис. 7, где показан структурный ландшафт валового внутреннего продукта Российской Федерации в 2006 г.

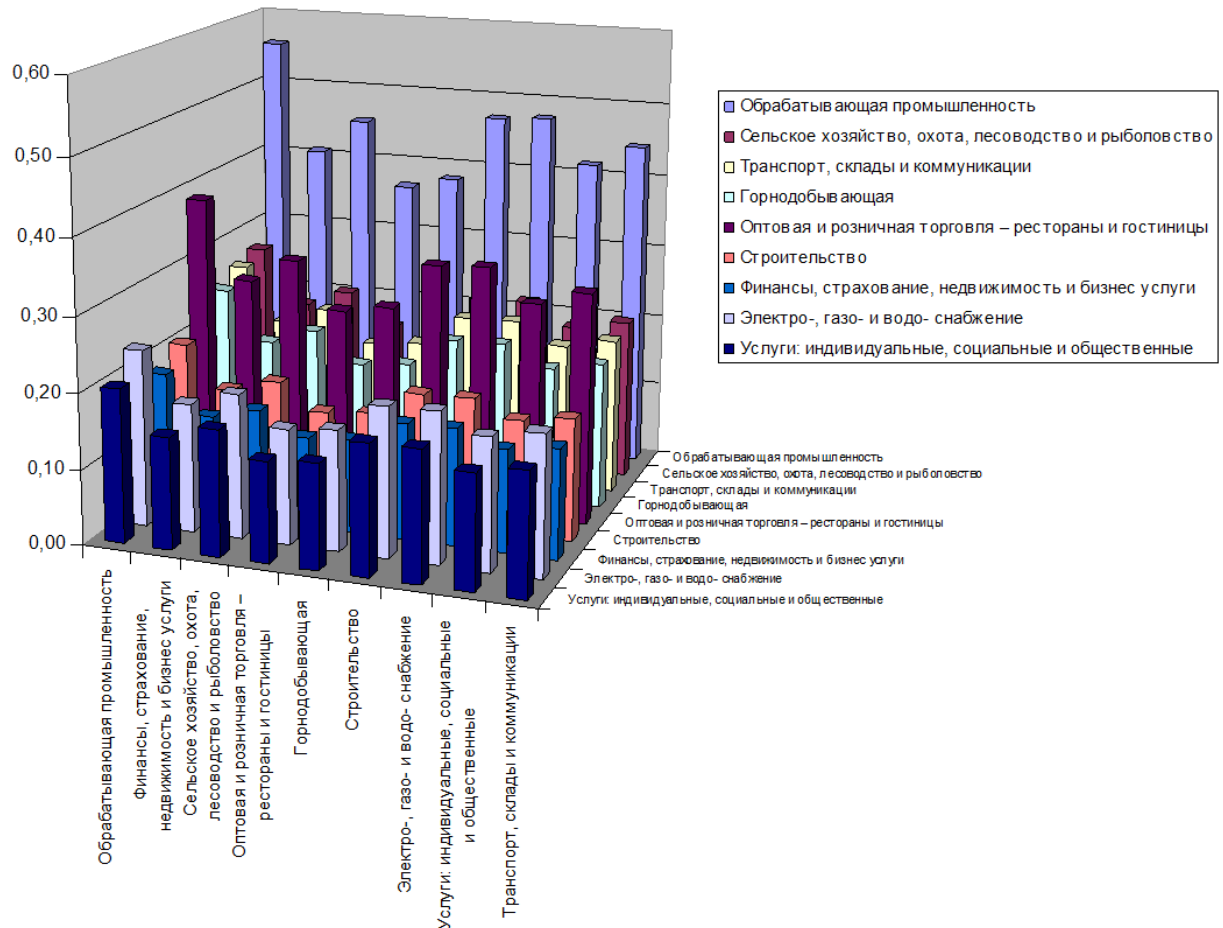


Рис. 7. Структурный ландшафт ВВП РФ в 2006 г.

**В. Матричная модель оценки направленности структурных сдвигов двух вектор-структур  $(X, Y)$  Бархина-Чеснокова**

$$R(X, Y) = \left( \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \right)^{1/2} \quad (15)$$

$$E(X, Y) = \cos \varphi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{R(X, O) \cdot R(Y, O)} \quad (16)$$

$$N(X, Y) = (1 - E^2(X, Y))^{1/2} \quad (17)$$



$$S = \frac{\sum r_i \cdot N_i}{R(\tau - t)} \quad (18)$$

Модель Бархина-Чеснокова, хотя дает оценку направленности структурных сдвигов двух вектор-структур, имеет комплексный характер, поскольку характеризует структурные изменения по четырем показателям: R, E, N, S. Расчеты авторов модели были проведены для оценки структурных изменений американской экономики в период 1969-1980 гг. В качестве оценочного показателя было использовано выражение (18), которое характеризовало интенсивность структурных сдвигов для указанного ранее хронологического периода. При оценке структурных изменений российской экономики мы ограничились только тремя показателями, ввиду масштабных изменений структурного характера, особенно в 1990-е годы.

В табл. 5. приведены результаты расчетов в части оценки структурных сдвигов для трех вариантов агрегирования российской экономики.

Таблица 5

Оценка структурных сдвигов для трех вариантов агрегирования российской экономики

Показатели	1980-1985	1985-1990	1990-1995	1995-2000	2000-2006	1980-2006
3-х секторная модель						
R	0,015	0,016	0,310	0,079	0,017	0,405
E	1,000	1,000	0,898	0,994	1,000	0,828
N	0,017	0,019	0,440	0,114	0,025	0,560
5-ти секторная модель [29]						
R	0,021	0,035	0,259	0,118	0,018	0,344
E	0,999	0,998	0,887	0,976	0,999	0,806
N	0,036	0,063	0,462	0,217	0,032	0,592
9-ти секторная модель						
R	0,056	0,057	0,241	0,111	0,046	0,293
E	0,095	0,083	0,031	0,033	0,041	0,033
N	0,995	0,997	1,000	0,999	0,999	0,999

Рассмотрим изменения значения показателя R для всего 26-летнего периода: наибольшие расстояния между вектор-структурами получены для трехсекторной модели – 0,405, наименьшие – для девятисекторной (0,293). Необходимо отметить, что незначительные изменения показателя R в период 2000-2006 гг. (0,017, 0,018 и 0,046) свидетельствуют о том, что в этот пе-

риод имело место консервация произошедших в предыдущее десятилетие структурных изменений.

Показатель  $E$  определяет направление структурных изменений: чем ближе его значение к 1, тем в большей степени структурный сдвиг происходит за счет накопленных ранее структурных изменений. Для случая девятисекторной модели значения показателя  $E$  сильно отличаются от единицы. Это скорее всего свидетельствует о том, что при исследовании структурных изменений низкоагрегированные модели более чувствительны к их оценке, в том числе и текущих факторов, определяющих направление структурных сдвигов.

Показатель  $N$  дополняет два предыдущие показателя и является количественной оценкой резонансности системы, характеризуя степень отклонения от основной траектории изменения вектор-структуры. Чем меньше значение этого показателя, тем больше экономические преобразования зависят от предыдущего состояния системы. Наибольшие значения этого показателя для всего исследуемого периода характерны только для девятисекторной модели. Для трех- и пятисекторных моделей показатели резонансности составляют в период 1990-1995 гг. 0,440 и 0,462 соответственно и эти значения являются максимальными для всего исследуемого периода. Девятисекторная же модель фиксирует высокую структурную резонансность системы на протяжении всего исследуемого периода, причем эта структурная резонансность генерируется постоянными изменениями в самой экономике. Если учесть, что значения показателя  $E$  были существенно далеки от значения единицы, то высокий уровень резонансности только подтверждает наше предположение о том, что структурные сдвиги в низкоагрегированных моделях более «отзывчивы» и «определенны», особенно если используется не один, а система показателей структурных изменений.

**7. Построена система нелинейных математических моделей, позволяющая обеспечить фундаментальное исследование структурных изменений, включая получение конкретных числовых параметров структурных сдвигов отраслевого и технологического характера, определение взаимосвязи структурных изменений и экономического роста, а также достижение структурной сбалансированности на макроэкономическом уровне.**

**А. Динамическая модель взаимосвязи экономического роста и структурных изменений**

Проведенные нами исследования показали, что у большинства развитых стран траектории динамики ВВП и добавленной стоимости в традиционных отраслях практически совпадают. Единственным исключением является американская экономика, где это совпадение наблюдается в отношении сектора услуг. На рис.8 приведена динамическая картина развития эко-

номики четырех стран, в том числе в отраслевом разрезе, которая подтверждает эти выводы.

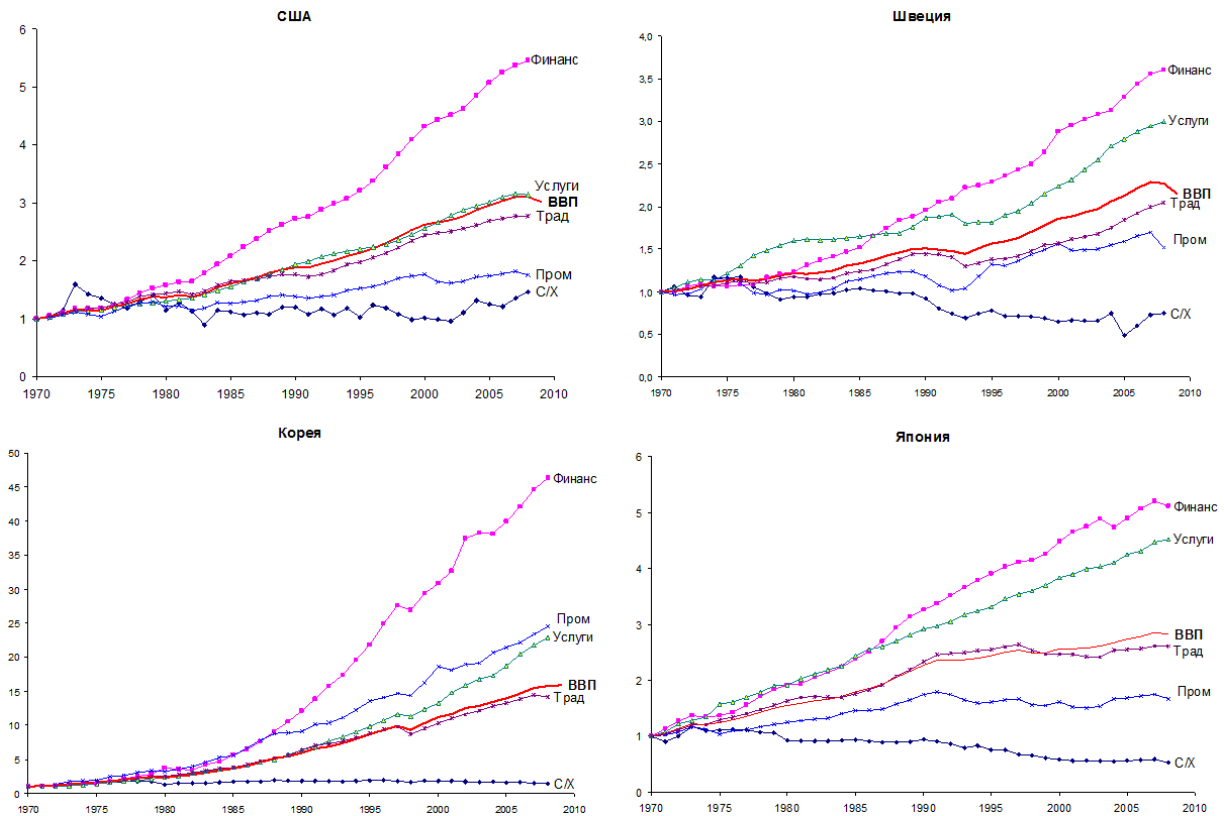


Рис. 8. Динамика ВВП и отраслевого выпуска

а) Логистическая функция

$$Y(t) = Y_{ST} + Y_A + Y_F + Y_S + Y_M, \quad (19)$$

где  $Y_{ST}$  - объем выпуска традиционных отраслей;

$Y_A$  - объем выпуска аграрного сектора;

$Y_F$  - объем финансового сектора;

$Y_S$  - объем услуг;

$Y_M$  - объем выпуска обрабатывающих отраслей промышленности.

$$Y_{ST} = Y_{ST}^{(0)} \frac{1+a}{1+a \exp[-b(t-t_0)]}, \quad (20)$$

где  $Y_{ST}^{(0)}$  - начальное значение суммарного объема выпуска в традиционных отраслях экономики в год  $t = t_0$ ;

$a$  - постоянная, определяемая указанным начальным условием;

$b$  - коэффициент диффузии, определяемый эффектом «слияния технологий» в традиционных отраслях.

Учитывая, что динамика всех четырех отраслей развитых экономик в долевом измерении очень хорошо аппроксимируется линейной функцией, можно записать следующие соотношения:

$$\left. \begin{aligned} Y_A &= [h_A + \gamma_A \cdot (t - t_0)] \cdot Y = [h_1 + \gamma_1 \cdot (t - t_0)] \cdot Y(t - t_0) \\ Y_F &= [h_F + \gamma_F \cdot (t - t_0)] \cdot Y = [h_2 + \gamma_2 \cdot (t - t_0)] \cdot Y(t - t_0) \\ Y_S &= [h_S + \gamma_S \cdot (t - t_0)] \cdot Y = [h_3 + \gamma_3 \cdot (t - t_0)] \cdot Y(t - t_0) \\ Y_M &= [h_M + \gamma_M \cdot (t - t_0)] \cdot Y = [h_4 + \gamma_4 \cdot (t - t_0)] \cdot Y(t - t_0) \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

определяя  $Y(t - t_0)$  получаем:

$$Y(t - t_0) = Y_{ST}^{(0)} \frac{1 + a}{1 + a \exp[-b(t - t_0)]} \cdot \frac{1}{1 - [\sigma_h + \sigma_\gamma(t - t_0)]} \quad (22)$$

Здесь  $\sigma_h = \sum_{i=1}^4 h_i$ ;  $\sigma_\gamma = \sum_{i=1}^4 \gamma_i$ . Отсюда, при  $t = t_0$ , следует:

$$Y_{ST}^{(0)} = (1 - \sigma_h) \cdot Y_0 = h_{ST} \cdot Y_0, \quad (23)$$

где  $h_{ST} = (1 - \sigma_h)$  – доля традиционных отраслей в начальный момент времени.

Следовательно, с учетом соотношения (23), формула (22) принимает следующий вид:

$$Y(t - t_0) = \frac{1 + a}{1 + a \exp[-b(t - t_0)]} \cdot \frac{Y_0}{1 - \rho(t - t_0)}, \quad (24)$$

где  $\rho = \frac{\sigma_\gamma}{1 - \sigma_h}$ .

б) Экспоненциальная функция

$$\tilde{Y}_t = \frac{Y_0 \cdot e^{q \cdot t}}{1 - \frac{b_1 + b_2 + b_3 + b_4}{1 - (a_1 + a_2 + a_3 + a_4)}} \cdot t, \quad (25)$$

где  $\tilde{Y}_t$  – прогнозное значение ВВП  $t$ -го года,

$Y_0$  – фактическое значение ВВП базисного года,

$q = n + \frac{\mathcal{G}}{\alpha}$  – темп сбалансированного прироста в традиционных отраслях,

$n$  – темп прироста активного населения,

$\mathcal{G}$  – темп прироста технического прогресса в традиционных отраслях,

$\alpha$  – доля заработной платы в национальном доходе.

Значение  $q$  может быть установлено расчетно как величина параметра  $b$  в экспоненциальной траектории роста объема традиционных отраслей:

$$Y_T = a \cdot e^{b \cdot t}, \quad (26)$$

где  $a_1$  и  $b_1$  - параметры линейного уравнения, описывающего тенденцию доли сельского хозяйства в ВВП за весь ретроспективный период;

$a_2$  и  $b_2$  - параметры линейного уравнения, описывающего тенденцию доли финансового сектора в ВВП за весь ретроспективный период;

$a_3$  и  $b_3$  - параметры линейного уравнения, описывающего тенденцию доли сектора услуг в ВВП за весь ретроспективный период;

$a_4$  и  $b_4$  - параметры линейного уравнения, описывающего тенденцию доли обрабатывающей промышленности в ВВП за весь ретроспективный период.

Для верификации модели (24), мы рассчитали все параметры входящие в неё по методу наименьших квадратов с использованием фактических данных о динамике экономического развития США за период с 1982-го по 2007-й годы (что соответствует повышательной стадии пятого Кондратьевского цикла) и получили следующие значения:

$Y_0 = 3257$ ;  $a = 10,41$ ;  $b = 0,061$ ;  $h_A = 0,02$ ;  $h_F = 0,23$ ;  $h_S = 0,23$ ;  $h_M = 0,20$ ;  $\sigma_h = 0,68$   $\gamma_A = -0,0005$ ;  $\gamma_F = 0,0042$ ;  $\gamma_S = 0,0003$ ;  $\gamma_M = -0,0023$   $\sigma_\gamma = 0,0017$ ;  $\rho = 0,0052$ .

**В.** Алгоритм приведения экономической системы к заданной отраслевой структуре (рис. 9)

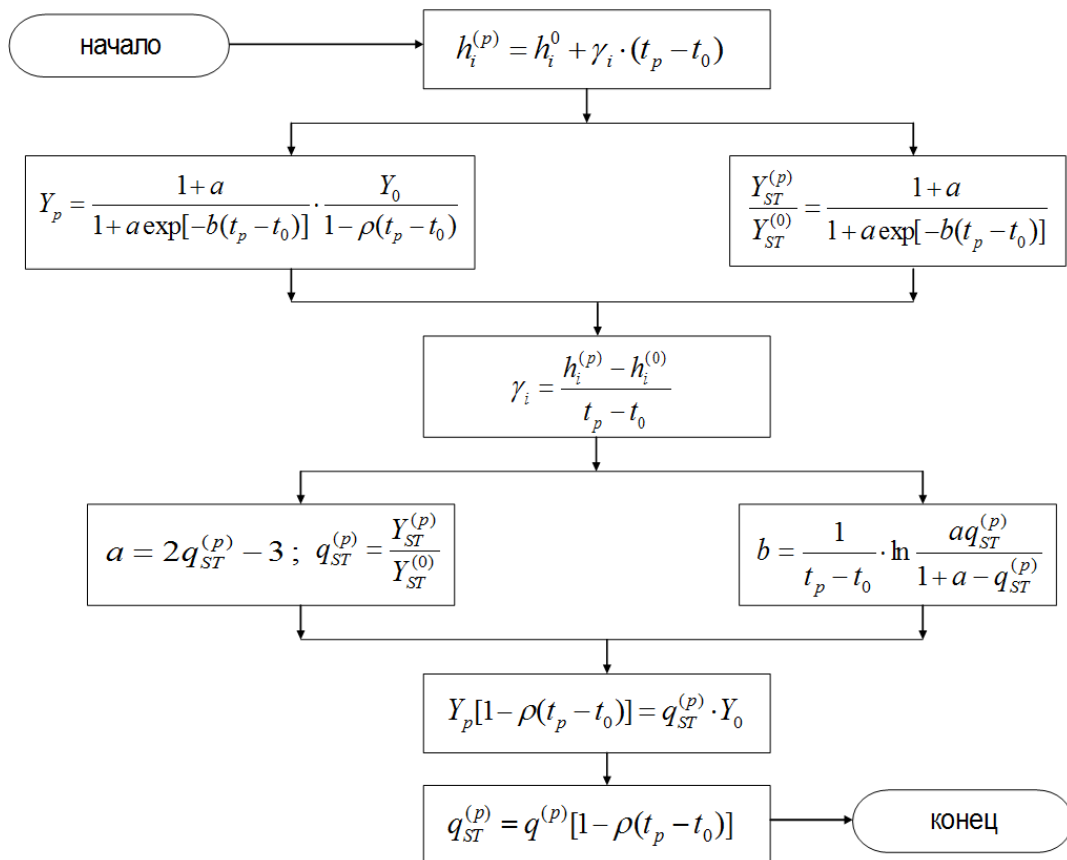


Рис. 9. Алгоритм управления структурой отраслевой динамики

Таким образом, задавшись требуемым ростом ВВП  $q^{(p)}$  и рассчитав  $q_{ST}^{(p)}$ , можно по модели (24) установить траекторию движения ВВП с учетом отраслевых структурных сдвигов.

### С. Модели оценки и управления технологической структуры обрабатывающих отраслей

Для практической реализации задачи управления динамикой экономического развития через отраслевую структурную перестройку экономической системы необходимо установить управляющие факторы, в существенной мере влияющие на отраслевые структурные изменения. Известно, что существуют два главных фактора, определяющих отраслевую структуру производства и ее изменения – это технология и состав конечного продукта.

Процесс диффузии технологий описывается логистической функцией вида

$$\frac{1+c}{1+c \exp(-dt)}, \quad (27)$$

где  $c$  – постоянная, определяемая уровнем насыщения (при  $t \rightarrow \infty$ );

$d$  – коэффициент диффузии технологии (или скорость распространения технологии).

Процесс вымывания устаревшей технологии соответственно можно описать «обратной» логистической функцией вида:

$$2 - \frac{1+c}{1+c \exp(-dt)} = \frac{1+c[2 \exp(-dt) - 1]}{1+c \exp(-dt)}. \quad (28)$$

Движение валового выпуска в сфере обрабатывающих отраслей ( $Y_M$ ), согласно принятой в ЕС классификации производственных структур относительно уровня технологического развития<sup>2</sup>, можно записать в виде

$$Y_M = Y_{HT} + Y_{MHT} + Y_{MLT} + Y_{LT}, \quad (29)$$

где  $Y_{HT}$  - общая стоимость продукции высокотехнологичных (HT) производств;

$Y_{MHT}$  - стоимость продукции средневысокотехнологичных (MHT) производств;

$Y_{MLT}$  - стоимость продукции средненизкотехнологичных (MLT) производств;

$Y_{LT}$  - вклад низкотехнологичных (LT) производств.

Как правило промышленная политика сводится к увеличению доли высоко- и средневысокотехнологичных производств за счет снижения доли средненизкотехнологичных и вымывания низкотехнологичных производств. Поэтому динамика выпуска первых трех типов производств описывается логистической функцией вида (27), а для описания последнего типа может потребоваться функция (28).

<sup>2</sup> European Commission: Towards a European Research Area Science, Technology and Innovation - Key Figures 2007, p.106.

Если ввести начальные долевые коэффициенты

$$\beta_1^{(0)} = \beta_{HT}^{(0)} = \frac{Y_{HT}^{(0)}}{Y_M^{(0)}}, \quad \beta_2^{(0)} = \beta_{MHT}^{(0)} = \frac{Y_{MHT}^{(0)}}{Y_M^{(0)}}, \quad \beta_3^{(0)} = \beta_{MLT}^{(0)} = \frac{Y_{MLT}^{(0)}}{Y_M^{(0)}},$$

$$\beta_4^{(0)} = \beta_{LT}^{(0)} = \frac{Y_{LT}^{(0)}}{Y_M^{(0)}},$$

тогда: 
$$Y_i = \frac{\beta_i^{(0)}(1 + c_i) \cdot Y_M^{(0)}}{1 + c_i \exp(-d_i t)} \quad (\text{для } i=1,2,3),$$

$$Y_4 = \frac{\beta_4^{(0)} \{1 + c_4 [2 \exp(-d_4 t) - 1]\} Y_M^{(0)}}{1 + c_4 \exp(-d_4 t)}. \quad (30)$$

Пользуясь этими уравнениями тождество (29) можно записать в следующем виде:

$$\frac{Y_M}{Y_M^{(0)}} = \sum_{i=1}^3 \frac{\beta_i^{(0)}(1 + c_i)}{1 + c_i \exp(-d_i t)} + \frac{\beta_4^{(0)} \{1 + c_4 [2 \exp(-d_4 t) - 1]\}}{1 + c_4 \exp(-d_4 t)} \quad (31)$$

Здесь  $Y_M^{(0)}$  - начальное значение общего объема выпуска продукции в обрабатывающей промышленности.

Зададимся целью привести к оптимальной технологической структуре обрабатывающую промышленность и выберем соответствующие целевые значения выпуска в долевом измерении  $\beta_{HT}^{(p)}, \beta_{MHT}^{(p)}, \beta_{MLT}^{(p)}$  и  $\beta_{LT}^{(p)}$  при известном объеме выпуска  $Y_M^{(p)}$ , определяемом из рассмотрения отраслевой структуры экономики. Пользуясь тем же приемом, которым мы пользовались ранее при определении параметров  $a$  и  $b$  в уравнении (24), получаем следующие соотношения для определения  $c_i$  и  $d_i$ :

$$\text{а) } c_i = 2 \frac{\beta_i^{(p)}}{\beta_i^{(0)}} q_M^{(p)} - 3; \quad d_i = \frac{1}{t_p - t_0} \cdot \ln \left[ \frac{c_i \beta_i^{(p)} q_M^{(p)}}{\beta_i^{(0)} + \beta_i^{(0)} c_i - \beta_i^{(p)} q_M^{(p)}} \right] \quad i \neq j; \quad (32)$$

$$\text{б) } c_j = 2 \left[ 1 - \frac{\beta_j^{(p)}}{\beta_j^{(0)}} q_M^{(p)} \right]; \quad d_j = \frac{1}{t_p - t_0} \cdot \ln \left[ \frac{c_j (\beta_j^{(p)} q_M^{(p)} - 2 \beta_j^{(0)})}{\beta_j^{(0)} - \beta_j^{(0)} c_j - \beta_j^{(p)} q_M^{(p)}} \right] \quad i = j$$

Рассчитав численные значения параметров  $\{c_i, d_i\}$  по соотношениям (32) далее получаем траектории движения выпуска как для отдельных групп технологичных производств (НТ, МНТ, МЛТ, ЛТ) по формулам (30), так и для всей обрабатывающей отрасли промышленности (31), как в ретроспективном, так и в прогностическом аспектах. Нами рассчитаны прогнозы динамики объема производства обрабатывающей промышленности для США и Кореи, в том числе в разрезе отдельных групп технологичных производств, до 2060 г., т.е. до конца шестого кондратьевского цикла. При этом были приняты следующие начальные и целевые (финальные) технологические структуры:

- а) для США ( $\beta_{HT}^{(0)} = 0,187$ ;  $\beta_{MHT}^{(0)} = 0,247$ ;  $\beta_{MLT}^{(0)} = 0,197$ ;  $\beta_{LT}^{(0)} = 0,369$ ) и ( $\beta_{HT}^{(p)} = 0,23$ ;  $\beta_{MHT}^{(p)} = 0,30$ ;  $\beta_{MLT}^{(p)} = 0,25$ ;  $\beta_{LT}^{(p)} = 0,22$ )
- б) для Кореи ( $\beta_{HT}^{(0)} = 0,275$ ;  $\beta_{MHT}^{(0)} = 0,277$ ;  $\beta_{MLT}^{(0)} = 0,269$ ;  $\beta_{LT}^{(0)} = 0,179$ ) и ( $\beta_{HT}^{(p)} = 0,29$ ;  $\beta_{MHT}^{(p)} = 0,28$ ;  $\beta_{MLT}^{(p)} = 0,26$ ;  $\beta_{LT}^{(p)} = 0,17$ ).

Вычисления по моделям показывают хорошее совпадение расчетных и эмпирических данных в ретроспективной части. Ошибка аппроксимации не превышает 3,7%.

### 3. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенный анализ существующих подходов к оценке структурных изменений в экономических системах показал отсутствие единой теоретической и методологической базы при исследовании процессов структурной динамики. В то же время экономическое развитие, как на уровне отдельных компаний и предприятий, так и на макроэкономическом уровне в существенной степени зависит от структурной сбалансированности системы в целом. Об этом особенно наглядно свидетельствует текущий экономический кризис.

В результате проведенного исследования:

1. Разработаны основы комплексной теории исследования структурной динамики, в частности система математических моделей оценки взаимосвязи структурных изменений и экономического роста, которая расширяет и углубляет теоретические представления о взаимосвязи структурно-функциональных компонентов экономического развития.

2. Создана методология моделирования, основанная на логически взаимосвязанной системе математических моделей, в которых последовательно оцениваются направленность структурных сдвигов, оценивается качество самой структуры, определяются взаимосвязи между изменением качества и темпами роста ВВП. На основе динамических нелинейных моделей проводится оценка взаимосвязи изменения структурных изменений и экономического роста, и определяются конкретные значения параметров отраслевой и технологической структуры в контексте обеспечения их сбалансированности.

3. Экспериментальные расчеты и верификация предложенных в исследовании математических моделей на реальных статистических данных отдельных стран-членов ОЭСР и России позволяет утверждать о высокой точности полученных результатов и возможности использования разработанных моделей при решении конкретных задач макроэкономического уровня, например при разработке долгосрочных прогнозов и построении управляющих алгоритмов по обеспечению задач технологической и структурной сбалансированности.



#### 4. ОСНОВНЫЕ АВТОРСКИЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

##### Монографии

1. *Сарыгулов А.И.* Структурная динамика макроэкономических систем. Монография. – СПб.: СПбГПУ, 2011. – 24,7 п.л.
2. *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Румянцева С.Ю., Соколов В.Н.* Экономические циклы и экономический рост. Монография. – СПб.: СПбГПУ, 2011. – 25,3 п.л./5,0 п.л.
3. *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Соколов В.Н.* Моделирование и прогнозирование экономического развития локальных цивилизаций. Монография. – СПб.: СПбГПУ, 2011. – 19,8 п.л./6,6 п.л.
4. *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Михайлушкин А.И., Соколов В.Н.* Инвестиции и экономические сценарии инновационно-технологического развития России на основе логистических моделей. Монография «Прогноз инновационно-технологического развития России с учетом мировых тенденций на период до 2030 года». Под ред. Б.Н. Кузика, Ю.В. Яковца, А.И. Рудского. Москва: МИСК, 2008. – 35,6 п.л./2,0 п.л.

##### Статьи, опубликованные в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

5. *Сарыгулов А.И.* Оценка структурной динамики российской экономики. // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 4, 2010. – 0,9 п.л.
6. *Сарыгулов А.И.* Моделирование структурной динамики обрабатывающей промышленности высокоразвитых стран. // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 5, 2010. – 0,4 п.л.
7. *Сарыгулов А.И.* Эволюционные закономерности технологических изменений и инновационной динамики. // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 1, 2011. – 0,6 п.л.
8. *Сарыгулов А.И.* О соотношении качества структуры и динамики ВВП // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2011. №4. – 0,6 п.л.
9. *Сарыгулов А.И.* О функциях, структуре и динамике развития макроэкономических систем // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2011. №5. – 0,5 п.л.
10. *Сарыгулов А., Соколов В.* Современная Киргизия: многовекторность или безвекторность развития? // Вопросы экономики, № 1, 2010. – 0,8 п.л./0,4 п.л.

- 11.** *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Михайлушкин А.И.* Инновационно-технологический прорыв – стратегия развития России в XXI веке. // Вестник ИНЖЭКОНА № 6 (25), 2008. – 1,2 п.л./0,4 п.л.
- 12.** *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Михайлушкин А.И., Соколов В.Н.* Анализ динамики отраслевой и технологической структуры экономик стран ОЭСР. // Экономическая политика № 2, 2009. – 1,6 п.л./0,4 п.л.
- 13.** *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Соколов В.Н.* Управление динамикой экономического развития с помощью структурных сдвигов. // Доклады Академии Наук, 2009, том 429, № 2. С. 168-173. – 0,3 п.л./0,1 п.л.
- 14.** *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Соколов В.И.* Математические модели перестройки и оптимизации технологической структуры капиталистической экономики. – ДАН, 2009, том. 429, №4. С. 459-464. – 0,3 п.л./0,1 п.л.
- 15.** *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Соколов В.И.* О демографических и экономических переходах в макросоциальных системах. // Экономическая политика № 1, 2010. – 1,2 п.л./0,4 п.л.
- 16.** *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Соколов В.И.* Линейные аттракторы как мера оценки структурных изменений. // Экономическая политика № 4, 2010. – 1,2 п.л./0,4 п.л.
- 17.** *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Акаева Б.А., Соколов В.И.* Асимптотические модели для прогнозирования долгосрочной демографической и экономической динамики. // Экономика и математические методы. Том. 47, № 3. 2011. – 1,2 п.л./0,3 п.л.
- 18.** *Sarygulov A.I., Akaev A.A., Sokolov V.N.* Control of a Dynamics of Economic Development with the help of Structural Shifts. – Doklady, Mathematics, 2009, vol. 80, №3. p. 936-941. – 0,3 п.л./0,1 п.л.
- 19.** *Sarygulov A.I., Akaev A.A., Sokolov V.N.* Mathematical models of reorganization and optimization of the technological structure in the capitalist economy. Doklady, Mathematics, 2009, vol. 80, №3. p. 921-926. – 0,3 п.л./ 0,1 п.л.

#### **Статьи, опубликованные в научных сборниках и изданиях**

- 20.** *Сарыгулов А.И.* О моделировании взаимосвязи экономических показателей в условиях гибких автоматизированных производств (в соавт. с Эдельгаузом Г.Е.) // Моделирование управления производством: Сб. научных трудов (редколлегия Ю.А. Львов (отв. ред.) и др.) – Л. ЛИЭИ. 1984. с. 33-36.
- 21.** *Сарыгулов А.И.* О критерии экономической эффективности автоматизированных производств // Научно-техническая конференция «Организационно-экономические проблемы интенсификации производства на базе интегрированных комплексов»: Тезисы докладов. – Ленинград. ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина). 1985. с. 42-43.

**22.** *Сарыгулов А.И.* Об условиях эффективного функционирования гибких производственных систем // Межреспубликанская конференция «Социально-экономические проблемы региона в условиях НТП»: Тезисы докладов. – Фрунзе: ИЭ АН Киргизской ССР, «Илим». 1986. с 147-148.

**23.** *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Яковец Ю.В., Соколов В.Н.* Долгосрочный прогноз экономической динамики цивилизаций с использованием логистических моделей. Монография «Прогноз экономической динамики цивилизаций и трансформации глобализации». Часть 6 Глобального прогноза «Будущее цивилизаций» на период до 2050 года. Под ред. Ю.В. Яковца, Б.Н. Кузюка. М.: МИСК, 2009. – 1,7 п.л./0,3 п.л.

**24.** *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Яковец Ю.В., Соколов В.Н.* Прогнозные расчеты динамики цивилизаций на базе логистических моделей. Монография «Будущее цивилизаций и стратегия цивилизационного партнерства». Часть 9 Глобального прогноза «Будущее цивилизаций» на период до 2050 года. Под ред. Ю.В. Яковца, Б.Н. Кузюка, Н.С. Бектурганова.- М.: МИСК, 2009. – 1,9 п.л./0,4 п.л.

**25.** *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Соколов В.Н.* Управление технологической структурой национальной экономики. Тезисы докладов. Санкт-Петербургский научный форум «Наука и общество – экономика и социология XXI века. V Петербургская встреча лауреатов Нобелевской премии». Октябрь 2010 г. – СПб.: СПбГПУ. 2010. – 0,3 п.л./0,1 п.л.

**26.** *Сарыгулов А.И., Акаев А.А., Соколов В.Н.* Экономические циклы и моделирование развития локальных цивилизаций. Тезисы докладов. Санкт-Петербургский научный форум «Наука и общество – экономика и социология XXI века. V Петербургская встреча лауреатов Нобелевской премии». Октябрь 2010 г. – СПб.: СПбГПУ. 2010. – 0.3 п.л./0,1 п.л.