

Кыргызский государственный университет имени И. Арабаева

**Кыргызский государственный технический университет
имени И. Раззакова**

Диссертационный совет Д 05.23.689

На правах рукописи
УДК 51-77

Чороев Калыбек

**Математические модели и методы анализа, и прогноза структур-
ных изменений экономических систем (на примере Кыргызской
Республики)**

05.13.16 – применение вычислительной техники, математического моделирова-
ния и математических методов в научных исследованиях (по отраслям науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Бишкек 2024

Работа выполнена на кафедре прикладная информатика Кыргызского государственного университета имени И. Арабаева.

Научный консультант: **Бийбосунов Болотбек Ильясович**, доктор технических наук, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедры прикладная информатика Кыргызского государственного университета им. И. Арабаева

Официальные оппоненты:

Первый официальный оппонент **Скляр Сергей Николаевич**, доктор физико-математических наук, с.н.с., руководитель программы (кафедры) прикладная математика и информатика Американский Университет в Центральной Азии

Второй официальный оппонент **Искандаров Самандар**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией теория интегро-дифференциальных уравнений института математики Национальной академии наук Кыргызской Республики

Третий официальный оппонент **Сатыбаев Абдуганы Джунусович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой информационные технологии и управление Ошского технологического университета. г. Ош.

Ведущая организация: кафедра прикладная математика и информатика факультета математики и информатики Кыргызского Национального университета имени Ж. Баласагына (720033, г. Бишкек, ул. Фрунзе, 547)

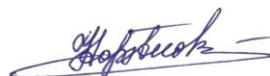
Защита диссертации состоится 31 мая 2024 года в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.23.689 при Кыргызском государственном университете им. И. Арабаева и Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова по адресу: 720026, г. Бишкек, ул. Раззакова 51-А. Ссылка для доступа к видеоконференции защиты диссертации: <https://vc.vak.kg/b/d05-xu8-8iw-xsw>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского государственного университета имени И. Арабаева, (720026, г. Бишкек, ул. Раззакова 51-А) и Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66) и на сайте Национальной аттестационной комиссии при Президенте Кыргызской Республики: https://stepen.vak.kg/d_05_23_689/choroev-kalybek-choroevich/

Автореферат разослан 26 апреля 2024 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,

к. ф.-м. н., и.о. доцента



Асанбекова Н. О.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Социально-экономическое развитие Кыргызской Республики предполагает дальнейшую работу по обеспечению продолжения прогрессивных изменений в экономике, и ее отраслевой и региональной структуре. Важнейшим показателем качества экономического роста становится его структура, отражающая уровень развития национальной экономики в целом, ее место в системе международного экономического разделения труда (в условиях ЕАЭС). Для применения экономико-математических инструментариев в исследованиях структуры экономики КР можно рассматривать как социально-экономическую систему. Социально-экономическая система в общепринятом смысле можно понимать как совокупность ресурсов и экономических субъектов, образующих единое целое, взаимосвязанных и взаимодействующих между собой в сфере производства и потребления, обмена и распределения.

Социально-экономическая система (СЭС) КР характеризуется огромным количеством элементов и взаимосвязей между ними и окружающей средой. А также наличием разного рода неопределенностей, неточностью количественных и качественных оценок параметров таких систем, разным уровнем и неравномерностью развития отдельных элементов, полноты и достоверности информации об их функционировании, нелинейностью протекающих процессов и др.

В данной работе предпринимается попытка выработки целостного взгляда на современную отечественную экономику посредством анализа структурно – функциональных связей между отраслевыми комплексами и секторами, механизмов накопления различного рода дисбалансов и их компенсации.

Данные проблемы и определили актуальность настоящего исследования в области управления структурными преобразованиями экономики страны. Таким образом, актуальность темы исследования определена необходимостью оценки влияния структурных изменений как фактор на экономические процессы, с учетом сложившихся структурных пропорций в экономике.

Состояние изученности проблемы. На современном этапе структурные изменения на макроэкономическом уровне становятся объектом исследования многих ученых экономистов и математиков. Исследована проблем структурных изменений и их влияния на экономический рост посвящены работы зарубежных и отечественных ученых. В зарубежных странах проблему структурных изменений в экономике исследовали такие ученые как С. Кузнец (1979), В. Леонтьев (1949) и другие. В России научное исследование структурных изменений в экономике связаны с именами А. И. Анчишкина (1980-1986), Ю. В. Яременко, (1981-1996) А. И. Гладышевского (1986-2004), В. А. Бессонова (2003-2005), Л. С. Казинца (1969), Г. Е. Эдельгауза (1977), В. А. Колемаева (2002-2005), С. Сухарева (2013-2017), Н. В. Суворова (2005) и других. Отечественные ученые экономисты Т. К. Койчуев (20012-2022), А. С. Исманов (2007), Б. С. Джаманкулов

(2018) и другие в исследованиях использовали эконометрические методы структурных изменений.

Связь темы диссертации с крупными научными проектами и основными научно-исследовательскими работами.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ кафедры прикладная информатика Кыргызского государственного университета им. И. Арабаева.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является:

- создание методологии оценки, анализа и математического моделирования структурных изменений макроэкономических процессов в реформировании национальной экономики;
- разработка математического инструментария, описывающего структурные изменения и процессы экономического роста;
- разработка алгоритмов приведения к заданной отраслевой структуре исследуемых макроэкономических процессов национальной экономики.

Задачи исследования.

- 1) изучение и обобщение зарубежного и отечественного опыта математического моделирования и проведение системного исследования воздействия структурных изменений на процессы экономического развития;
- 2) создание методологических основ разработки математических моделей взаимосвязи структурных изменений и экономического роста на основе производственных функций постоянной эластичностью замены;
- 3) выявление и математическое моделирование основных причинно-следственных взаимосвязей структурных изменений и макроэкономических параметров роста;
- 4) обоснование новых подходов и методологических приемов в части моделирования причинно – следственной связи между темпами и структурой экономического роста и на этой основе построение алгоритма управления технологической структурой отрасли экономики;
- 5) разработка показателей оценки воздействия структурных изменений на процессы экономического развития и определение тесноты реальной взаимосвязи между структурными и функциональными характеристиками экономики, изучение направленности и характера структурных изменений в отечественной экономике за 1993- 2021 гг.
- 6) проведение адаптации и верификации разработанных в диссертационном исследовании математических моделей оценки структурных изменений на основе статистических данных КР,
- 7) обоснование качественных параметров структуры экономических систем и определение условий их оптимального развития, а также предложить практические рекомендации по достижению структурной сбалансированности

макроэкономических систем.

Научная новизна работы:

- 1) изучение и обобщение зарубежного и отечественного опыта математического моделирования и проведение системного исследования воздействия структурных изменений на процессы экономического развития;
- 2) создание методологических основ разработки математических моделей взаимосвязи структурных изменений и экономического роста на основе производственных функций постоянной эластичностью замены;
- 3) выявление и построения математических моделей основных причинно-следственных взаимосвязей структурных изменений и макроэкономических параметров роста, в рамках которых экономическое развитие рассматривается прежде всего как последовательность определенных структурных изменений;
- 4) обоснование методологии математического моделирования причинно – следственной связи между темпами и структурой экономического роста, в ситуации, когда структурные изменения рассматриваются как «фактор-влияние» и как «фактор-результат» развития экономической системы и на этой основе построение алгоритма управления технологической структурой отрасли экономики;
- 5) в силу наличия макроэкономических систем как нелинейных, неравновесных и недетерминированных элементов разработка концептуального подхода к исследованию этих систем основанных на теории нелинейных динамических систем. Известно, что модели нелинейных динамических систем наиболее точно отражают особенности структурных изменений макроэкономического уровня;
- 6) построена система математических моделей, позволяющая обеспечить исследование структурных изменений, оценить направленность и качество структурных сдвигов, а также получить конкретные числовые параметры структурных изменений отраслей, с целью достижения структурной сбалансированности на макроэкономическом уровне на основе статистических данных отечественной экономики за 1993-2021 гг.
- 7) проведения адаптаций и верификации разработанных в диссертационном исследовании математических моделей оценки структурных изменений экономического развития КР, что позволит определить тесноту реальной взаимосвязи между структурными и функциональными характеристиками экономики, а также предложение практических рекомендаций по достижению структурной сбалансированности макроэкономических систем.

Практическая значимость полученных результатов. Теоретические, методологические и методические результаты, полученные в ходе исследования, могут быть использованы при разработке и совершенствовании методологии

макроэкономического планирования и прогнозирования, при формировании республиканских и региональных программ экономического развития.

Реализация предложенных подходов 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, рассматривающие вопросы макроэкономического моделирования.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1) на основе изучения и обобщения зарубежные и отечественные опыты математического моделирования взаимодействия структурных изменений и экономического развития на процессы развития экономических систем создание методологические основы разработки математических моделей и методов анализа и оценки структурных изменений экономических систем;

2) проведение анализа и оценки изменений экономических систем, отличающейся системным характером по обеспечению единой логической взаимосвязи исследований изменения структурных факторов и динамики результирующих показателей функционирования экономических систем на основе производственных функций постоянной эластичностью замены;

3) построения математические модели основных причинно-следственных взаимосвязей структурных изменений и макроэкономических параметров роста экономических систем, в рамках которых экономическое развитие рассматривается прежде всего как последовательность определенных структурных изменений;

4) обоснование методологии математического моделирования причинно – следственной связи между темпами и структурой экономического роста, в ситуации, когда структурные изменения рассматриваются как «фактор-влияние» и как «фактор-результат» развития экономической системы и на этой основе построение алгоритма управления технологической структурой отрасли экономики;

5) предложения концептуального подхода к исследованию этих систем основанных на теории нелинейных динамических систем. Известно, что модели нелинейных динамических систем наиболее точно отражают особенности структурных изменений макроэкономического уровня;

6) построения системы математических моделей, позволяющая обеспечить исследование структурных изменений, оценить направленность и качество структурных сдвигов, а также получить конкретные числовые параметры

структурных изменений отраслей, с целью достижения структурной сбалансированности на макроэкономическом уровне на основе статистических данных отечественной экономики за 1993-2021 гг.

7) проведения адаптации и верификации разработанных в диссертационном исследовании математических моделей оценки структурных изменений экономического развития КР, что позволило определить тесноту реальной взаимосвязи между структурными и функциональными характеристиками экономики, а также предложение практических рекомендаций по достижению структурной сбалансированности макроэкономических систем.

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

Предметом исследования являются математические методы и модели структурных изменений макроэкономических систем, механизмы и методы оценки структурных изменений.

Теоретические и методологические основы исследования. При разработке и применении математических методов и инструментариев для динамики структурных изменений макроэкономических систем были использованы труды по теории экономического развития и динамики, институциональным проблемам экономических систем, теории экономико-математического моделирования экономических процессов, теории вероятностей и математической статистики.

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 математические и статистические методы и экономико-математические модели.

Информационной базой исследования послужили справочные и методические материалы органов государственного управления, научно-исследовательских институтов, статистические данные Национального статистического комитета КР, законодательные и нормативные акты, методические положения по статистике НСК КР, Базы данных Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Всемирного банка, Международного валютного фонда, материалы периодической печати, ресурсы Интернет-сети.

Личный вклад соискателя состоит в проведении самостоятельных исследований, в получении научных результатов, их анализе и формулировании выводов, на основе которых выполнены исследования. Формулировка общей цели работы, постановка задач, общая методология исследования принадлежат научному консультанту профессору Бийбосунову Б.И.

Апробация результатов исследований.

Основные результаты диссертационного исследования докладывались и об-

суждались на следующих конференциях и семинарах:

- на международной конференции Общества центрально-евразийских исследований (CESS) в Питтсбургском университете (США) 2023 г.;
- на международной конференции «Экономика Евразии». Измир, Турция, 2023 г.;
- на международной конференции «Экономика Евразии». Стамбул, Турция 2021г.;
- на VIII Международной межвузовской научно-практической конференцию-конкурс научных докладов студентов и молодых ученых «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРЕДОВЫЕ РЕШЕНИЯ», 28-29 мая 2020 года в г. Бишкек.
- на Международной конференции «Экономика Евразии», Фамагуста, Кипр 2019г.;
- на международной конференции Общества центрально-евразийских исследований (CESS) в Вашингтонском университете (США) 2023 г.;
- на международной конференции «Экономика Евразии» Ташкент, УЗБЕКИСТАН, 2018 г.;
- в XII международной Азиатской школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем», Бостери, Кыргызстан, 2016 г.;
- на международной научно-методической конференции КГУ им. И. Арабаева, 20-21 мая 2016 года. г. Бишкек;
- на VI международной конференции «Моделирование сложных систем» Омск. Россия, 2015 г.;
- в XI международной Азиатской школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем " Новосибирск, Россия, 2015 г.;
- в X международной Азиатской школе-семинаре "Проблемы оптимизации сложных систем " Бостери, Кыргызстан, 2014 г.

Полнота публикации результатов. Результаты исследований и положения, отражающие основное содержание диссертационной работы, опубликованы в 42 научных работах из них 24 – в научных журналах, индексируемых системами РИНЦ, 6 – в сборниках международных научных конференциях, 1 – в журнале Scopus.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов, общий объем работы 177 страниц, содержит 23 рисунков, 23 таблиц и 112 наименований списка использованных источников.

Автор выражает глубокую признательность научному консультанту профессору Бийбосунову Б.И. за ценные советы в ходе работы над диссертацией, а также членам кафедры Прикладной Информатики КГУ им. И. Арабаева за ценные советы при работе над диссертацией и обсуждении результатов исследования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационное исследование посвящено решению важной макроэкономической проблемы – созданию основ комплексной теории и методологии моделирования структурных изменений на отраслевом и технологическом уровнях.

Переход к рыночной экономике в странах постсоветского пространства, в том числе КР не мог не сказаться на их экономической структуре. В течение относительно короткого времени были разрушены сложившиеся экономико - хозяйственные связи, появились и стремительно развивались совершенно новые для этих стран отрасли экономики. Все эти изменения послужили основой для исследования структурных изменений в экономической системе страны. Структура экономики Кыргызстана, которая за годы независимости сильно измялась. Развитие экономики Кыргызстана можно разделить на несколько этапов. На каждом этапе менялись цели и основные факторы экономического роста. Катализаторами роста экономики, создающий новые структуры экономической системы выступили горнодобывающая отрасль, строительство, торговля и сфера услуг. За эти годы значительно упала доля крупной промышленности в структуре промышленности. В настоящее время сложилась нерациональная структура национальной экономики. Структура национальной экономики характеризуется сильной зависимостью от конъюнктуры горнодобывающей отрасли, экономической ситуации в странах ЕАЭС, денежных переводов мигрантов и кредитов зарубежных стран, особенно КНР. Экономическая система республики сильно нуждается в крупных структурных изменениях, достижении качественного и оптимально – сбалансированного роста. Для этого необходимо создание благоприятного инвестиционного климата и для введения бизнеса. Учитывая ограниченность крупных инвестиционных возможностей республики, необходимо сделать упор на создание институциональной среды, благоприятной для развития малого и среднего бизнеса в стране.

Современные научные работы по проблеме математического моделирования трансформации структуры экономики на постсоветском пространстве представлены исследованиями, объектом которых выступает национальная экономика [2;8;10;16; 20;30;31], ее отдельные отрасли [17; 55;56], а также экономика отдельных регионов [50;68]. Наиболее полный обзор используемых для измерения структурных сдвигов показателей представлен в работах [2;23;95]. В работе [50] предпринята попытка дополнить показатели структурных сдвигов, которые ориентированы на оценку только конечного результата преобразования структурной системы, сопутствующими ему оценками направлений и силы воздействия различных структурных факторов. Количественная типология структурных сдвигов в экономической системе предложена автором работы [55].

В качестве одной из задач исследований по проблематике структурных сдвигов ставится вопрос об эффективности происходящих изменений. Прежде

чем ответить на этот вопрос, необходимо пояснить, какую структуру экономики следует считать эффективной. Для отнесения структуры экономики к эффективной должны выполняться следующие условия: рост объемов производства, производительности труда, фондоотдачи, снижение материалоемкости, а также соответствие производимой продукции потребностям общества.

1. В рамках разработанных основ комплексной теории структурных изменений экономических систем, предложены математические модели, обеспечивающие единую логическую взаимосвязь изучения динамики структурных факторов и результирующих показателей функционирования экономических систем.

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

3. 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. Экономические системы рассматриваются как нелинейные, недетерминированные и неравновесные образования, для которых присущи явления неравномерности и стохастичности.

4. 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. Задача оценки взаимосвязи между качеством структуры и темпами роста ВВП решается на основе моделей регрессионно-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 результиративного признака в зависимости от факторного.

5. Проведена верификация и адаптация разработанных в экономической литературе матричных моделей для оценки структурных изменений в отечественной экономике на основе моделей межотраслевого баланса (МОБ) и модели множителей матрицы продукции.

Учитывая динамическую природу структурного сдвига экономических

систем, можно определить, что структурный сдвиг – это динамический механизм, сформировавшийся за счет качественного изменения факторов различных типов и направленности, и оказывающий аккумулирующее воздействие на воспроизводственные процессы, на темпы и качество экономического роста национальной экономики. При определении сущности структурного сдвига акцент делается именно на его эффективном и качественном изменении, потому что данный

момент исключительно важен в целях разграничения двух близких понятий — «структурный сдвиг» и «структурное изменение». По нашему мнению, существует взаимосвязь между структурными сдвигами и экономическими циклами. Экономический цикл представляет собой набор из некоего множества структурных сдвигов, но в то же время нельзя не признать, что циклические колебания также оказывают воздействие на структурные сдвиги. Таким образом, проявляется двойственная природа структурных сдвигов — они являются и причиной, и следствием циклических колебаний.

Расширенное национальное воспроизводство является необходимым условием экономического роста, потому что без возобновляющегося производства в увеличивающемся масштабе само по себе увеличение национального богатства невозможно. Учитывая сложность экономических взаимоотношений, когда одновременно может существовать несколько типов взаимодействий, предложена модель — «факторы — структура экономической системы» (рисунок 1.1).

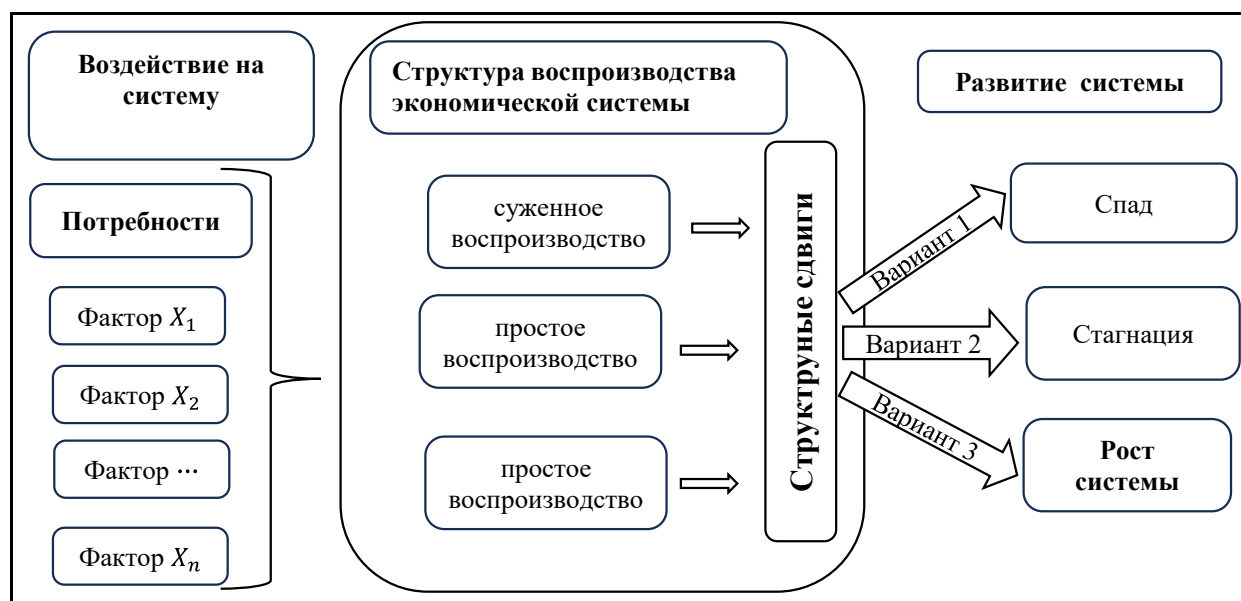


Рисунок 1.1. Схема взаимосвязей в модели «факторы — структура экономической системы»

Применительно к теме данного исследования был отображен общий характер взаимосвязей с выделением основных крупных блоков: общественные потребности (как основная движущая сила экономического развития), факторы, воздействующие на структурные сдвиги, сами структурные сдвиги, типы воспроизводства и экономический рост, стагнация и экономический спад. Таким образом, структурные сдвиги являются динамическим механизмом, передающим воздействие различных факторов на процессы расширенного воспроизводства, и

как следствие, формирующего экономический рост. Экономический рост, как более общее явление, характеризующее характер развития экономики и одновременно ее цель, представляет собой совокупность из нескольких разнонаправленных структурных сдвигов, определяющих его наличие (направление), качество и уровень.

В качестве одной из задач исследований по проблематике структурных сдвигов ставится вопрос об эффективности происходящих изменений. Прежде чем ответить на этот вопрос, необходимо пояснить, какую структуру экономики следует считать эффективной. Для отнесения структуры экономики к эффективной должны выполняться следующие условия: рост объемов производства, производительности труда, фондоотдачи, снижение материалоемкости, а также соответствие производимой продукции потребностям общества.

1. В рамках разработанных основ комплексной теории структурных изменений экономических систем, предложены математические модели, обеспечивающие единую логическую взаимосвязь изучения динамики структурных факторов и результирующих показателей функционирования экономических систем.

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

5. 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. Экономические системы рассматриваются как нелинейные, недетерминированные и неравновесные образования, для которых присущи явления неравномерности и стохастичности.

6. 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. Задача оценки взаимосвязи между качеством структуры и темпами роста ВВП решается на основе моделей регрессионно-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 результиративного признака в зависимости от факторного.

7. Проведена верификация и адаптация разработанных в экономической литературе матричных моделей для оценки структурных изменений в

отечественной экономике на основе моделей межотраслевого баланса (МОБ) и модели множителей матрицы продукции.

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:

$$A = [a_{11} \ a_{12} \ \dots \ a_{1n} \ a_{21} \ \dots \ a_{22} \ \dots \ \dots \ a_{2n} \ \dots \ a_{n1} \ a_{n2} \ \dots \ a_{nn}]$$

или

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2.30)$$

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 прямых затрат находится как

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{w_j}, \quad (2.31)$$

где x_{ij} – объём продукции i –ой отрасли, потребленной в j –ой отрасли, w_j – валовой выпуск j – ой отрасли.

Можно полагать, что в некотором промежутке времени коэффициенты прямых затрат a_{ij} будут постоянными и зависящими от сложившейся технологии производства и это означает линейную зависимость материальных затрат от валового выпуска, т.е.

$$x_{ij} = a_{ij}X_j, \text{ где } (i, j = \underline{1, n}).$$

Теперь соотношение баланса можно записать в виде:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}X_j + Y_i = X_i \quad (i = \underline{1, n}) \quad (2.32)$$

где Y_i – вектор конечного продукта.

Систему (2.32) можно записать в матричном виде:

$$X = AX + Y \quad (2.33)$$

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

Коэффициенты прямых затрат матрицы не учитывают косвенные затраты. Поэтому, для расчета полных затрат производство продукции одной отрасли на выпуск единицы другой, необходимо сложить прямые и косвенные затраты, тогда получим коэффициенты полных затрат.

Получаем уравнение, которое выражает зависимость валовой продукции каждой отрасли от конечной продукции всех отраслей. Из (2.33) находим X .

$$X = (E - A)^{-1} \cdot Y \quad (2.35)$$

Матрица $(E - A)$ невырожденная и называется матрицей Леонтьева.

Если матрица $(E - A)$ невырожденная, т.е. $|E - A| \neq 0$, то по формуле

матричного метода $X = C^{-1} \cdot D$

Обозначим $(E - A)^{-1} = D^{-1}$, а ее элементы через d_{ij} , тогда

$$D^{-1} = (E - A)^{-1}.$$

Матрица D^{-1} называется матрицей коэффициентов полных затрат. Элементы d_{ij} ($i, j = 1, n$) называются коэффициентами полных материальных затрат. Они включают в себя как прямые, так и косвенные затраты продукции отрасли i на единицу продукции отрасли j .

Если прямые затраты отражают количество средств производства, израсходованных непосредственно при изготовлении данного продукта, то косвенные относятся к предшествующим стадиям производства и входят в продукт не прямо, а через другие средства производства.

Коэффициенты полных затрат можно использовать и при планировании и прогнозировании на следующий отчетный период.

При анализе влияния технологического сдвига на валовой выпуск отраслей используется следующее выражение, полученное на основании МОБ:

$$\Delta X = ((E - A)_i^{-1} \cdot Y_i - (E - A)_0^{-1}) \cdot Y_i \quad (2.37)$$

где $(E - A)_i^{-1}$ — матрица полных затрат i — го периода, Y_i — вектор конечного продукта для i — го периода.

Изменения отраслевой структуры конечного продукта под влиянием динамики валового выпуска отраслей применяется следующее выражение:

$$\Delta X = ((E - A)_i^{-1} \cdot Y_i - (E - A)_0^{-1}) \cdot Y_0 \quad (2.38)$$

Поскольку метод межотраслевого баланса универсален по своей природе, его применение на местах имеет ряд недостатков.

Более того, на практике часто требуется проанализировать процессы перехода от одной программы развития экономики к другой. Именно поэтому используются динамические балансы.

Динамические межотраслевые балансы отличаются от статических тем, что при их построении автор ссылается на специфику общественного производства в течение определенного периода как переходного. Таким образом, мы на самом деле рассматриваем не состояния экономики, которые происходят одновременно, а скорее переходы или процессы, переходящие из одного состояния в другое. Все это способствует поиску наилучших путей развития экономической системы.

Динамические модели обычно описываются с помощью систем линейных дифференциальных, разностных или обычных алгебраических уравнений.

В динамических народнохозяйственных моделях используемый национальный доход разделяется, по крайней мере, на две части: на фонд производственного накопления и фонд потребления:

$$N_d(t) = F_s(t) + F_c(t) \quad (2.40)$$

где $F_s(t)$ — фонд производственного накопления, $F_c(t)$ — фонд потребления.

Поскольку цели экономики в большей степени относятся к удовлетворению потребительского спроса, то именно динамика функции потребления является более значимой для анализа. Однако фонд накопления является главным источником воспроизводства, а, следовательно, и основным условием для роста

потребления.

Экономическая постановка задачи исследований

I. Для разработки экономико-математической модели управление объектом является открытая трехсекторная модель национальной экономики. В математической модели экономика подразделяется на три базовых сектора: материальный сектор, фондосоздающий и потребительский. Каждый из них вырабатывает определенного вида продукцию в соответствии со своими производственными возможностями.

Трехсекторная модель делит экономические отрасли на три сектора деятельности: добыча сырья (первичная), обрабатывающая (вторичная) и услуги (третичная). Согласно модели, основной фокус деятельности экономики смещается с первичного на вторичный и, наконец, на третичный сектор.

Модель является динамической – имеет в своем составе линейные динамические элементы:

$$\frac{dK_i}{dt} = -\mu_i K_i + I_i, \quad \frac{dL}{dt} = vL.$$

Управление осуществляется путем распределения трудовых ($L_0 + L_1 + L_2 = L$) и инвестиционных ($X_1 = I_0 + I_1 + I_2$) ресурсов.

В рыночной экономике распределение происходит косвенно с помощью цен, тарифов, налогов и т.д. Для анализа финансовых потоков к модели надо добавить балансы доходов и расходов секторов (ρ_i, t_i, w_i – цены, ставки налогов, годовые ставки заработной платы в секторах).

Баланс доходов и расходов материального сектора:

$$\rho_0(1 - a_0)X_0 = \rho_1 I_0 + t_0 X_0 + L_0 w_0.$$

Баланс доходов и расходов фондосоздающего сектора:

$$\rho_1 X_1 = \rho_0 a_1 X_1 + t_1 X_1 + L_1 w_1.$$

Баланс доходов и расходов потребительского сектора:

$$\rho_2 X_2 = \rho_0 a_2 X_2 + \rho_1 I_1 + t_2 X_2 + L_2 w_2.$$

Сложив эти три уравнения, получим баланс предложения предметов потребления и платежеспособного спроса:

$$\rho_2 X_2 = \sum_{i=0}^2 L_i w_i + \sum_{i=0}^2 t_i w_i$$

Слева стоимость произведенных предметов, справа - суммарный доход работников производственной сферы и суммарный доход работников непроизводственной сферы и пенсионеров.

Нами были проведены расчеты на основе материалов НСК КР за 1993-2021 гг.

X_0 – «Производственные материальные затраты»

X_1 – Показатель «Накопление» за вычетом «Производство предметов потребления»

X_2 – «Непроизводственное потребление»

K_i – определялись по показателям «Объем инвестиции в основной капитал по отраслям».

L_i – определялись по показателям «Распределение населения, занятого в

хозяйстве по отраслям».

Получены следующие ПФ секторов

$$X_0 = 3,32K_0^{0,39}L_0^{0,61}$$

$$X_1 = 1,46K_1^{0,56}L_1^{0,44}$$

$$X_2 = 2,73K_2^{0,47}L_2^{0,53}$$

Основные характеристики параметров производственной функции показывают значимости полученных параметров производственной функции.

Из определения коэффициентов эластичности следует: увеличение ОПФ сырьевых отраслей на 1% приводит к росту выпуска продукции на $\alpha_0\%$. Такое же увеличение ОПФ в фондосоздающих и потребительских отраслей приводит к росту выпуска продукции на $\alpha_1\%$ и $\alpha_2\%$.

Для построение производственной функции CES необходимо установить экзогенные параметры модели. Самая большая трудность - установление параметров производственных функций секторов. Используемая производственная функция CES имеет вид:

$$Y_\delta(a, b) = Ae^{\lambda t} (c_1 K^{-\delta} + c_2 L^{-\delta})^{-\frac{1}{\delta}},$$

Получены следующие ПФ секторов:

$$1) Y_0 = 0,993(0,4047K^{-0,675} + 0,596L^{-0,675})^{-\frac{1}{0,675}}$$

где $s^2 = 0,1$; $dw = 1,01$; $v = 3,14$; $R^2 = 0,994$. Характеристики выравнивания

Таблица 3.2. Основные характеристики параметров производственной функции

Критерии	Показатели		
	X	K	L
Промышленность и строительство			
R^2	0,96	0,82	0,76
F	43,21	62,32	9,87
t_1	-0,11	3,2	-3,25
t_2	1,24	0,28	-
Сельское хозяйство и добывающая промышленность			
R^2	0,87	0,93	0,45
F	41,32	59,25	4,23
t_1	-0,13	3,2	0,97
t_2	1,24	0,23	-
Торговля и услуги			
R^2	0,78	0,92	0,98
F	37,42	40,32	7,51
t_1	-1,17	7,28	-1,43
t_2	1,64	0,93	2,01

показывают, что полученные оценки параметров статистически значимы.

Коэффициенты эластичности по факторам равны $b_1(x) = 0,151$ и $b_2(x) = 0,843$. Эластичность производства по сумме затрат (т.е. $b_1(x) + b_2(x)$) меньше единицы. Это означает, что в этом секторе производство возрастало медленнее, чем затраты, т.е. увеличение производства носило более экстенсивный

характер.

Предельные производительности по факторам на концах периода имеют значения: $\partial Y / \partial K_0 = 0,228$ и $\partial Y / \partial K_t = 0,063$, $\partial Y / \partial L_0 = 3,328$; и $\partial Y / \partial L_t = 7,632$.

2) $Y_1 = 1,05(0,7347K^{-2,75} + 0,275L^{-2,75})^{-\frac{0}{2,75}}$
где $s^2 = 0,07$; $dw = 0,838$; $v = 4,38$; $R^2 = 0,961$; $F = 148,8$.

Характеристики выравнивания значительно хуже, чем характеристики производственных функций других секторов национальной экономики.

Анализ коэффициента эластичности производства по основным фондам показывает тенденцию этого показателя к снижению, и аналогично поведению фондоотдачи. Коэффициент эластичности по труду увеличивался незначительно. Суммарная эластичность по факторам меньше единицы, т.е. производство возрастает медленнее, чем затраты факторов.

3) $Y = 0,614(0,182K^{-1,12} + 0,82L^{-1,12})^{-\frac{0}{1,12}}$
Характеристики выравнивания: $s^2 = 0,09$; $dw = 1,058$; $v = 4,05$; $R^2 = 0,97$; $F = 464,64$.

Коэффициент эластичности производства по фондам ($b_1(x) = 0,025$) в исследуемый период снижался, фондоотдача падала более заметно, чем в других секторах экономики. Коэффициент эластичности по труду увеличился незначительно. Суммарная эластичность производства по факторам близка к единице, т.е. можно предполагать, что увеличение производства имело экстенсивный характер.

При рассмотрении эконометрических моделей, которые содержат структурные изменения параметров, время структурного сдвига может быть, как известным (экзогенный сдвиг) так и не известным (эндогенный сдвиг). Модели временных рядов со структурными сдвигами, дают возможность выявить во – первых: статистически значимые изменения динамики экономических показателей во времени, смены периодов падения периодами роста или стагнации, изменений темпов роста или падения и т.д. То есть, данные модели определяют моменты времени и направления структурных сдвигов, в том числе и в случаях, когда точный момент структурного сдвига неизвестен и выявляют устойчивые долгосрочные тенденции. Во-вторых, жесткую связь проблемы наличия структурных сдвигов во временных рядах с проблемой не стационарности временных рядов. В этой связи естественным образом встает вопрос о том, как лучше моделировать нестационарную компоненту случайного процесса.

Проведенный обзор современных исследований в области статистического анализа нестационарных моделей временных рядов с единичным корнем и(или) структурным сдвигом позволяет сформулировать следующую общую постановку задачи обнаружения структурных сдвигов в эконометрических зависимостях регрессионного типа.

I. Пусть модель наблюдений имеет следующий вид:

$$y_i = c_1 x_{1i} + c_2 x_{2i} + \dots + c_k x_{kn} + \varepsilon_i, i = \overline{1, N} \quad (3.1)$$

где ε_i – случайная последовательность «шумов» в зависимой переменной y_i ; $c = c_1, c_2, \dots, c_k$ – вектор неизвестных коэффициентов в модели (3.1), описывающийся кусочно-постоянной функцией:

$$c = \sum_{i=1}^{m+1} a_i X([\theta_{i-1}N] < n < [\theta_i N]) \quad (3.2)$$

где θ_i – неизвестные параметры структурных сдвигов в модели (10), $X_n = (x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{kn})$ – случайный вектор предикторов.

Практически важные приложения рассматриваемой модели включают класс моделей

- авторегрессии $y_i = c_1 x_{1i} + c_2 x_{2i} + \dots + c_k x_{kn} + \varepsilon_i$;
- авторегрессии скользящего среднего

$$y_i = c_1 y_{i-1} + \dots + c_k y_{i-k} + d_1 u_{i-p} + \dots + d_h u_{i-h-p+1} + \varepsilon_i;$$

II. Другой класс моделей описывается системами одновременных эконометрических уравнений вида:

$$By_t + \Gamma x_t = \varepsilon_t \quad (3.3)$$

где $y_t = (y_{1t}, y_{2t}, \dots, y_{mt})'$ – вектор эндогенных переменных; $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{kt})'$ – вектор детерминированных переменных; $\varepsilon_t = (\varepsilon_{1t}, \varepsilon_{2t}, \dots, \varepsilon_{mt})'$ – вектор случайных статистически зависимых ошибок; B – матрица $m * m$; Γ – матрица $m * k$.

Структурная форма (12) может быть записана в следующей приведенной форме:

$$y_t = -B^{-1}\Gamma x_t + B^{-1}\varepsilon_t = \Pi x_t + \xi_t.$$

Под структурными сдвигами понимаются резкие изменения в коэффициентах матрицы Π . Параметры x_t предполагаются детерминированными или стохастическими.

Для оценки момента структурного сдвига используется следующая статистика:

$$Y_N(n) = N^{-1}(z(1, n) - \mathcal{P}_1^n (\mathcal{P}_1^N)^{-1} z(1, N))$$

где $z(n_1, n_2) = \sum_{i=n_1}^{n_2} F(i/N) y_i'$ – матрица; $1 \leq n_1 < n_2 \leq N$.

\mathcal{P}_1^N – произвольная точка n множества $\arg \max_{1 \leq n \leq N} \|Y_N(n)\|$ принимается в качестве оценки параметра структурного сдвига.

Для наиболее полного исследования проблем оптимального экономического роста с учетом структурных изменений, постановку задачи исследований разделим на две составные части: математическую и экономическую.

Решение любой конкретной задачи оптимального экономического роста включает несколько этапов:

- разработку математической модели управляемого объекта;
- определение критерия качества управления;
- рассмотрение различного рода ограничений на траекторию системы;

– ограничение на управление (исследование управляющих воздействий параметров, длительности процесса управления, класса допустимых управлений);

– необходимые условия оптимальности.

Остановимся на этих этапах подробнее.

1. Разработка математической модели управляемого объекта

В зависимости от вида рассматриваемого процесса и желаемой степени детализации его изучения могут быть использованы различные типы уравнений: обыкновенные дифференциальные уравнения, уравнения с последействием, стохастические уравнения, уравнения в частных производных и т.д., Предположим, ради определенности, что эволюция объекта описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x(t), u(t)), t_0 \leq t \leq T, \quad (4.1)$$

где $u \in U \subset R^m$, U – область допустимых управлений, $x \in R^n$ – Евклидово пространство размерности n , $f: R^{n+m+1} \rightarrow R$ – заданная функция для каждого $t, x(t), u(t)$ [29].

Придавая управлению $u(t)$ различные возможные значения, получаем различные состояния объекта, среди которых и выбирается оптимальное, т.е. наилучшее в том или ином смысле состояние.

2. Определение критерия качества управления

Управление системой (4.1) осуществляется для достижения некоторых целей, которые записываются в терминах максимизации по u функционалов $J(u)$ определяемых управлением $u(t)$ и траекторией $x(t)$, где

$$J(u) = \int_{t_0}^T f_0(t, x(t), u(t)) dt + F(t, x(T)) \rightarrow \max \quad (4.2)$$

Здесь f_0 и F – заданные скалярные функции.

Задача оптимального управления, описываемая уравнениями (4.1), и (4.2) именуется задачей О. Больца. Если $f_0 \equiv 0$, то задачей А. Майера и, наконец, задачей Лагранжа при $F \equiv 0$ [24]. В настоящей диссертации рассматривается задача Лагранжа, поскольку в целевом критерии отсутствует слагаемое F .

3. Ограничения на траекторию.

В некоторых реальных ситуациях траектория системы не может принадлежать тем или иным частям пространства R^n . Указанное обстоятельство находит отражение в ограничении вида $x(t) \in G(t)$, где $G(t)$ – заданная область в R^n . В зависимости от конкретного типа этих ограничений выделяют различные классы задач управления.

В задачах с фиксированными концами начальное состояние $x(t_0)$ и конечное состояние $x(T)$ заданы. Если же $x(t_0)$ или $x(T)$ не задано, то получаем задачу со свободным левым (правым) концом. Задача с подвижными концами — это задача, в которой моменты t_0 и T фиксированы, а векторы $x(t_0)$ и $x(T)$ принадлежат соответственно областям $G(t_0)$ и $G(T)$.

В ряде случаев ограничения носят интегральный характер и имеют вид:

$$\int_{t_0}^T f_0(t, x(t), u(t)) dt \leq 0 \quad (4.3)$$

Если в задаче Лагранжа, описываемой уравнениями (4.2) и (4.3), начальное положение $x(t_0)$ и конечное $x(T)$ заданы, моменты начала движения t_0 и окончания T свободны, функция $F = 0$ и $f_0 = 1$, то получаем задачу о переводе системы (4.1) из положения $x(t_0)$ в положение $x(T)$ за минимально возможное время. Подобного рода задачи именуются задачами оптимальными по быстродействию.

4. Ограничения на управление

Информационные ограничения на управление зависят от того, какая именно информация о системе (4.1) доступна при выработке управляющего воздействия. Если вектор $x(t)$ недоступен измерению, то оптимальное управление ищется в классе функций $u(t)$ зависящих только от t .

Кроме информационных ограничений возможен и другой тип ограничений, обусловленный ограниченностью ресурсов управления, имеющих вид $u(t) \in U(t)$, где $U \subset R^m$, U — область допустимых управлений.

5. Необходимые условия оптимальности

Сформулируем необходимые условия оптимальности в форме принципа максимума (17) для задачи Больца: $x = f(t, x(t), u(t))$, $t_0 \leq t \leq T$, $x(t_0) = x_0$, $u(t) \in U$.

Здесь $U \subset R^m$ — заданное множество, x_0 — заданное начальное положение системы.

Введем в рассмотрение скалярную функцию H и вектор сопряженных переменных $\psi(t) \in R^{n+1}$ с помощью соотношений $\psi_0 = 1$ — принцип максимума в нормальной форме [82,83]. Тогда система канонических уравнений будет иметь вид:

$$H(t, x(t), u(t), \psi(t)) \leq \psi, f(x, u) \geq \sum_{i=0}^n \psi_i f_i(x, u) \quad (4.5)$$

$$\dot{\psi} = -\frac{\partial H}{\partial x}(t, x(t), u(t), \psi(t))$$

$$\psi(T) = -\frac{\partial F(x(T))}{\partial x}$$

Предположим, что $u(t)$ — оптимальное управление, а $x(t)$ и $\psi(t)$ — соответствующие траектория и вектор сопряженных переменных, удовлетворяющие уравнениям (4.4) и (4.5). Тогда функция $H(t, x(t), u(t), \psi(t))$ достигает своего максимума по $u(t) \in U$ в точке $u^*(t)$.

$$H(t, x(t), u^*(t), \psi(t)) = \max_{u \in U} H(t, x(t), u(t), \psi(t)) \quad (4.6)$$

Найдем из соотношения (4.6) зависимость

$$u = u(t, x(t), \psi(t)) \quad (4.7)$$

Далее подставим (4.7) в (4.4). В результате получим краевую задачу для системы обыкновенных дифференциальных уравнений относительно функций $x(t)$ и $\psi(t)$, среди решений которой только и может находиться оптимальная траектория. Если оптимальная траектория $x(t)$ и вектор $\psi(t)$ найдены, то оптимальное управление дается выражением (4.7). Отметим, что поскольку соотношения (4.4-4.6) суть лишь необходимые условия оптимальности, то необходимо дополнительное обоснование оптимальности траектории и управления, найденных из соотношений (4.4-4.6). Для этого необходимо отдельно формулировать достаточные условия оптимальности.

Важно указать, что для достаточности условий оптимальности потребуется выпуклость $f(t, x(t), u(t))$ правой части уравнений движения, а также выпуклость целевого функционала. В исследуемой экономической постановке задачи эти условия будут выполнены автоматически.

Используя стандартные обозначения, осуществим переход к так называемым относительным показателям. Для каждого сектора вводится понятие фондовооруженности:

$$k_i = \frac{K_i}{L_i} \quad (4.12)$$

Пользуясь однородностью производственной функций, переходим к зависимостям от конкретной фондовооруженности. В относительных показателях, уравнения модели выглядят следующим образом:

$$\theta_i = \frac{L_i}{L}; \quad s_i = \frac{I_i}{X_i}; \quad i = 0, 1, 2$$

Тогда уравнения имеют следующий вид:

1. Уравнение распределения трудовых ресурсов по секторам:

$$\theta_0 + \theta_1 + \theta_2 = 1,$$

2. Уравнение распределения инвестиционных ресурсов (нормировка с учетом слагаемого Y_1 , получаемого из внешней торговли продукцией материального и потребительского секторов ($X_1 + Y_1 = I_0 + I_1 + I_2$):

$$s_0 + s_1 + s_2 = 1,$$

3. Уравнение материального баланса, здесь a_i — коэффициенты прямых материальных затрат секторов, y_i — удельный (ввоз-вывоз) продукции соответствующего сектора на одного занятого:

$$(1 - \alpha_0)x_0 = a_1x_1 + a_2x_2 + y_0$$

4. Уравнения движения с учетом фондовооруженности $k_i = \frac{K_i}{L_i}$, совокупного износа фондов $\lambda = \mu_i + v$ амортизации μ_i и темпа прироста населения v принимают вид (27).

5. Уравнение внешнеторгового баланса:

$$\tilde{q}_0 y_0 = \tilde{q}_1 y_1 + \tilde{q}_2 y_2,$$

$$\theta_i \geq 0, \quad s_i \geq 0, \quad y_i \geq 0.$$

6. Уравнения движения (динамики) фондовооруженностей:

$$\frac{dK_i}{dt} = -\lambda_i k_i + \frac{s_i}{\theta_i} (x_i + y_i), \quad \text{для всех } i = 0, 1, 2 \quad (4.15)$$

$x_i = \frac{x_i}{L} = \theta_i f_i(k_i)$ – народнохозяйственная производительность i – го сектора.

Под экономическим ростом понимается монотонный рост во времени фондовооруженностей секторов $k'_i(t) > 0$, где $i = 0, 1, 2$.

Под сбалансированностью траекторий, понимается выполнение в каждый момент времени t материального, трудового, инвестиционного балансов и условий сбалансированности внешней торговли.

Искомое управление, будет принадлежать к классу непрерывных функций $\theta_i(t)$, $s_i(t)$ и параметра $-\gamma_1$, для которых допускается конечное число разрывов, так называемых переключений.

Фактически ограничением на управление структурной политикой являются условия сбалансированности секторов и внешней торговли:

$$\begin{cases} \theta_0 + \theta_1 + \theta_2 = 1 \\ s_0 + s_1 + s_2 = 1 \\ (1 - \alpha_0)\theta_0 f_0(k_0) = \alpha_1 \theta_1 f_1(k_1) + \alpha_2 \theta_2 f_2(k_2) + \frac{q_1}{q_0} y_1 \\ \theta_1 = \theta_1(k_0, k_1, k_2, \theta_2, y_1), \theta_0 = \theta_0(k_0, k_1, k_2, \theta_2, y_1) = 1 - s_1 - s_2. \end{cases} \quad (4.20)$$

$$\dot{\psi}_i = \frac{\partial H(\psi, \underline{k}, u)}{\partial k_i} \quad (4.21)$$

$$\dot{k}_i = \frac{\partial H(\psi, \underline{k}, u)}{\partial \psi_i} \quad (4.22)$$

(4.20-4.22) - канонические уравнения движения, фондовооруженностей и двойственных переменных ψ – теневых цен на них в секторах. Здесь: θ_i – доля i – го сектора в распределении трудовых ресурсов, s_i – доля i – го сектора в распределении инвестиций. λ – параметр износа фондов, с учетом роста населения, и устаревания капитала. f_i производственная функция i – го сектора. (в модели неоклассические, Кобба-Дугласа), γ_1 – квота на ввоз инвестиционных товаров: $y_1 = \gamma_1 x_1 = \gamma_1 \theta_1 f_1(k_1)$. Ведущие параметры, системы $s_1, s_2, \theta_2, \gamma_1$.

В результате, вычисления производных по k_i зависимым переменным оказалось, что в системе (4.22) из трех уравнений, два образуют автономную подсистему. Это уравнение для нулевого (материального) и второго (потребительского) секторов.

Если бы, был более простой случай линейной зависимости по k_i :

$\dot{k}_i = A(t)k_i + b(t)$ то сопряженная система выписывалась крайне просто: $\dot{\psi}_i = -\psi_i A(t) + dt$.

Для такой системы верна следующая теорема:

Теорема 1. Пусть матричная функция $A(t): [t_0, t_1] \rightarrow L(R^n)$ и вектор функция $b: [t_0, t_1] \rightarrow R^n$, интерпретируемые по Лебегу. Тогда для любых $\tau: [t_0, t_1]$ и $\zeta \in R^n$, решение задачи Коши: $\dot{k}_i = A(t)k_i + b(t), k(\tau) = \zeta$ существует на всем отрезке $[t_0, t_1]$ и единственно.

Более того, решение задается формулой:

$$k(t) = P(t)(k(t_0) + \int_{t_0}^t P^{-1}(s)b(s)ds)$$

где $P(t)$ – фундаментальная матрица (решений). Т.е. это решение однородного уравнения:

$$\dot{P} = A(t) * P; P(t) = E$$

Следствие. Для сопряженных переменных верна аналогичная теорема, и расчетная формула для $\psi(t)$. А именно:

$$\psi(t) = P^*(t)(\psi(t_0) + \int_{t_0}^t P^{*-1}(s)b(s)ds)$$

здесь $P^* = -A(t) * P^* = B(t) * P^*, P^*(t_0) = E$.

Для того, чтобы воспользоваться этой теоремой, необходимо сначала выписать наши сопряженные уравнения

$$\dot{\psi}_i = -\frac{\partial H(\psi, \underline{k}, u)}{\partial k_i},$$

а затем постараться привести их к наиболее простому виду, для которого работает следствие из теоремы:

$$\dot{\psi}_i = -\psi_i A(t) + dt = -\psi_i B(t) + dt.$$

Задача нахождения траекторий оптимального экономического роста в экономическом смысле представляет собой задачу поиска наиболее подходящей последовательности структурных сдвигов, сохраняющих наиболее важные структурные (торговые, материальные, инвестиционные) балансы в системе.

Экономический смысл оптимальных траекторий роста следующий:

- поставленная задача оптимального управления экономикой имеет очень важное практическое значение. Она позволяет перейти от языка экономического описания объекта, к четкой формализованной математической задаче, которую можно решать различными методами оптимального управления или вариационного исчисления;
- наилучшего оптимального варианта управления достигнуть крайне сложно, но можно своевременными макроэкономическими воздействиями уменьшить отклонение реального от идеального (т.е. устранить структурный дисбаланс).

В общем виде можно выделить следующие этапы экономического роста:

1) Этап ускоренного роста, который обеспечивает сбалансированное развитие фондосоздающего сектора. На нем за счет крупного вливания в первый сектор инвестиций (увеличение доли s_1 до максимальной) - происходит наиболее быстрый рост фондовооруженности первого сектора k_1 .

2) Затем начинается второй этап - этап замедленного роста. Он характеризуется тем, что первый сектор поддерживается на хорошем уровне за счет избыточного предложения трудовых ресурсов, тогда как освободившиеся инвестиции уже отправляются на увеличение доли s_2 потребительского сектора.

3) На третьем этапе роста - этапе потребления, к инвестиционным ресурсам присоединяются и трудовые. Моменты переключений (скачки управляющих воздействий в системе, фактически знаменуют собой происходящие структурные

сдвиги в макроэкономической политике) определяются с помощью анализа сопряженной системы.

Так, момент \hat{t} — первого переключения первого этапа быстрого роста на замедление определяется в момент перемены знака выражения:

$$\lambda_1 = \lambda - (1 - \gamma_1)s_1 f'_1(k_1).$$

Второй момент переключения, необходимый для выхода на заключительную фазу роста \tilde{t} устанавливается на основе перемены знака второго собственного значения сопряженной системы:

$$\lambda_2 = \lambda - f_1(k_1)(1 + \gamma_1) \left[\frac{s_0}{\theta_0} \left(1 + \frac{\theta_1}{\theta_0} \right) \frac{\partial \theta_1}{\partial k_0} + \frac{s_2}{\theta_2} \frac{\partial \theta_1}{\partial k_2} \right]$$

Проведенный анализ позволяет на основе оценки этих показателей выявить моменты переключений и дает возможность построить оптимальную траекторию для трехсекторной экономики на рассматриваемой временной оси. Кроме того, можно определить моменты времени, когда нужно делать качественную смену структурной политики, т.е. проводить диверсификацию труда θ_1 и инвестиций s_i по секторам для сохранения системы на траектории наиболее близкой к оптимальной.

Для ответа на основные вопросы практического моделирования, оптимальных траекторий сбалансированного экономического роста, для трехсекторной модели экономики страны, сначала осуществляется расчет экзогенных и начальных эндогенных параметров модели. К ним относятся:

- 1) Коэффициенты эластичности функций, а также сами функции, с учетом коэффициентов нейтрального технологического прогресса.
- 2) Коэффициенты прямых материальных затрат.
- 3) Начальные доли инвестиционных и трудовых ресурсов, определяются из имеющейся на данный момент времени, как параметры отраслевой структуры в инвестиционных ресурсах и данных о предложении труда по секторам.
- 4) Оптимальные доли инвестиционных и трудовых ресурсов, находятся на основе золотого правила распределения ресурсов в трехсекторной экономике, либо на основе других альтернативных методов определения технологического оптимума.
- 5) Начальные и стационарные значения фондовооруженностей. Если начальные значения нам известны из статистических данных о труде и инвестиционных ресурсах в секторах, то оптимальные значения находятся на основе найденного ранее оптимального распределения трудовых и инвестиционных ресурсов, с помощью так называемых стационарных уравнений движения:

$$\frac{dk_i}{dt} = -\lambda_i k_i + \frac{s_i}{\theta_i} (1 + \gamma_1) \theta_1 f_1(k_1), \quad i = 0, 1, 2$$

Затем на основе исследования поведения сопряженных переменных, сделанного во второй главе, а также за счет некоторых дополнительных определяется общее время протекания переходного процесса, а также находится момент первого переключения по инвестиционным ресурсам.

При построении производственных функций традиционными факторами производства служат основные фонды и затраты труда. Построение функций

Кобба-Дугласа и производственной функции постоянной эластичности замены (*CES*) производиться на основе разработанных ранее методик предложенных в работах [34,35]. Коэффициенты прямых материальных затрат определяются на основе анализа таблиц затрат выпуск, с использованием межотраслевых балансов [30].

На основе этого, будет построен перспективный сценарий развития отечественной экономики с учетом сложившейся макроструктуры. В этом контексте будем оценивать порядок переключений по ведущим управляющим параметрам: s_1, θ_i .

Для оценки параметров (коэффициентов эластичности и коэффициента совокупной факторной производительности) производственной функции Кобба-Дугласа и производственной функции постоянной эластичности замены (*CES*) необходимо брать три статистических ряда данных: изменения фондов, труда и выпуска сектора. Стоит отметить, что для удобства вычислений данные могут быть представлены в виде индексов относительно некоторого базового года. Производственная функция может использоваться как для ретроспективного анализа, так и для прогнозов выпусков секторов в будущем (перспективный анализ). Поэтому для получения конкретного значения производства каждого сектора возможен переход от индексов к абсолютным значениям в ценах базового года.

Для построения производственных функций секторов, в начале необходимо численно определить экзогенные составляющие нашей модели. Вычисления проходят на основе имеющихся в наличии статистических данных. Начальным, или базовым для построения производственных функций (ПФ) мы будем считать 2000 год. При расчете использовались статистические данные национального статистического комитета Кыргызстана. Перспективный анализ будем проводить на промежутке (2024-2026 гг.). Причем, время завершения переходного процесса будет определяться аналитически на основе имеющихся параметров модели и найденных оптимальных значений фондовооруженности секторов.

Производственные функции трехсекторной модели экономики имеют вид

$$F_i = A_i K_i^{\alpha_i} L_i^{1-\alpha_i} \quad i = 0,1,2. \quad (5.1)$$

Для расчетов используется предположение о том, что совокупная факторная производительность не меняется со временем. Поэтому коэффициент A_i — явно не зависит от времени. Далее, чтобы перейти от абсолютных значений показателей, используемых в формуле (30) к индексам, разделим выражение (30) на это же выражение в определенный базовый год. Мы имеем право проделать такую операцию, поскольку как факторы производства, так и выпуск секторов всегда положительны. Обозначим через F_{0i}, K_{0i}, L_{0i} — соответствующие значения выпуска, фондов и труда i — го сектора в базисный год. Тогда формула (5.1) может быть представлена в виде:

$$\frac{F_i}{F_{0i}} = \frac{A_i}{A_{0i}} \left(\frac{K_i}{K_{0i}} \right)^{\alpha_i} \left(\frac{L_i}{L_{0i}} \right)^{1-\alpha_i}, \quad i = 0,1,2. \quad (5.2)$$

Отсюда, в частности получается, что коэффициент нейтрального экономического прогресса $\frac{A_i}{A_{0i}} = 1$. Действительно, ведь в наших предположениях A_i не зависит от времени.

Ряды фондовооруженностей секторов $k_i = \frac{K_i}{L_i}$ — в индексном выражении, это отношение индексов инвестиций, к индексам труда. В качестве такого показателя были взяты данные об индексах производства в отраслевом разрезе. Затем на основе таблицы о структуре инвестиций в отраслях, каждой отрасли был приписан весовой коэффициент, с которым в последствии она включается в соответствующий сектор трехсекторной экономики. График динамики фондовооруженностей секторов в индексах к 2015 г. приведен на рисунке 5.1.

С использованием этих рядов были вычислены коэффициенты эластичностей производственных функций Кобба-Дугласа, по регрессионным моделям в относительных показателях, $f_i = A_i \cdot k_i^{\alpha_i}$, где $k_i = \frac{K_i}{L_i}$ — отношение капиталовложений, к имеющимся в секторе трудовым ресурсам (если оба ряда в индексах, то их отношение тоже в индексах).

Затем руководствуясь данными о фондовооруженностях секторов в абсолютном выражении и производственных возможностях секторов (выпуске) в абсолютном выражении, были найдены коэффициенты A_i — нейтрального технологического прогресса.

Для более подробного анализа изменений фондовооруженности секторов увеличим рассматриваемый период. Приведем конечный результат обоих этапов идентификации коэффициентов производственной функции, получившихся на основе анализа данных за рассматриваемый промежуток 2000-2021 год:

$$\begin{cases} X_0 = 1,727 \cdot K_0^{0,57} L_0^{0,43}, \\ X_1 = 0,48 \cdot K_1^{0,674} L_1^{0,326} \\ X_2 = 0,628 \cdot K_0^{0,67} L_0^{0,33}. \end{cases} \quad (5.6)$$

Построенные производственные функции характеризуют сложившуюся отраслевую производительность трех агрегированных секторов экономики страны и конкретный вклад двух факторов в развитие экономики.

Далее в расчетах для моделирования оптимальных траекторий экономического роста мы будем использовать найденные коэффициенты функций. Повторим постановку задачи оптимального сбалансированного экономического роста. Пусть имеется модель открытой трехсекторной экономики, записанная в относительных показателях (глава 2). Заданы уравнения движения (4.15), а также определяющие структуру экономики соотношения (4.20). Эти соотношения в дальнейшем играют решающую роль при анализе траекторий роста, поскольку они, собственно, определяют ее макроструктуру.

$$\frac{dk_i}{dt} = -\lambda_i k_i + \frac{s_i}{\theta_i} (x_i + y_i), \quad i = 0, 1, 2 \quad (5.8)$$

$$\begin{cases} \theta_0 + \theta_1 + \theta_2 = 1 \\ s_0 + s_1 + s_2 = 1 \\ (1 - \alpha_0)\theta_0 f_0(k_0) = \alpha_1 \theta_1 f_1(k_1) + \alpha_2 \theta_2 f_2(k_2) + \frac{q_1^+}{q_0} y_1 \end{cases} \quad (5.9)$$

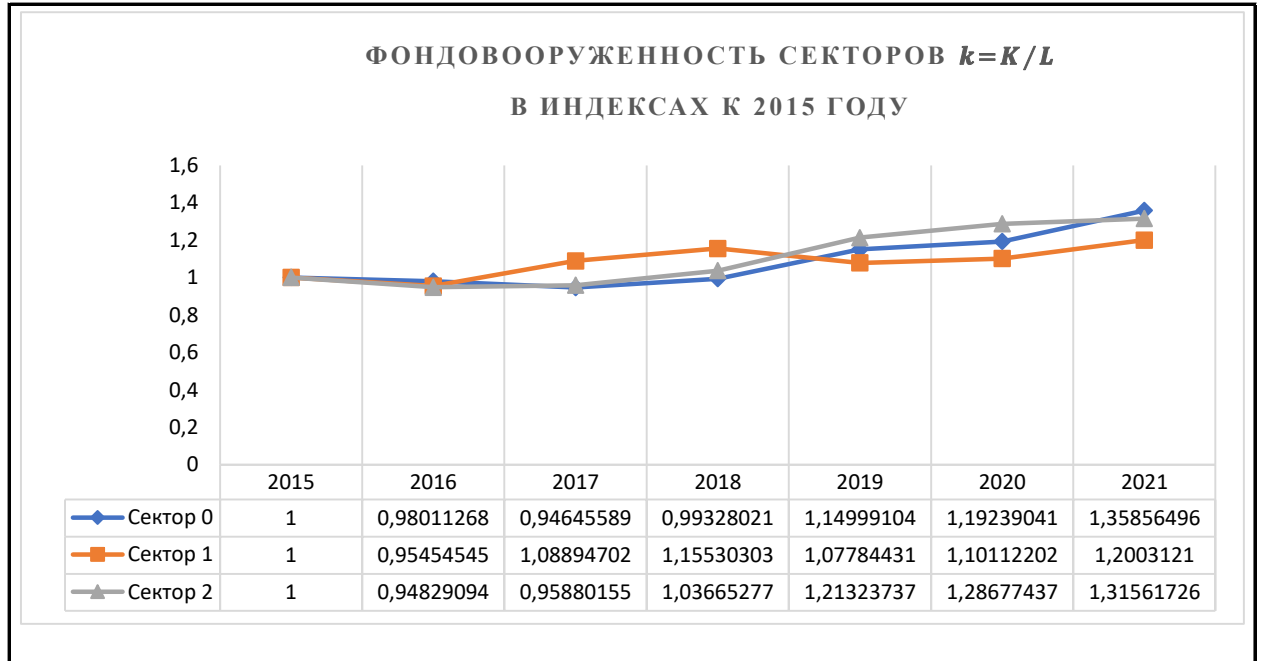


Рисунок 5.1. График динамики фондовооруженностей секторов (в индексах к 2015г.)

Для этих соотношений требуется максимизировать выражение дисконтированного потребления на одного занятого рабочего:

$$\max_{\theta, s, y} \int_0^{+\infty} e^{-\delta t} \theta_2(t) f_2(k_2) dt \quad (5.10)$$

Для решения этой задачи, составляется расширенная целевая функция - Гамильтониан системы:

$$H = e^{-\delta t} (\theta_2 f_2(k_2)) + \sum_{i=0}^2 \psi_i (-\lambda_i k_i + \frac{s_i}{\theta_i} \theta_1 f_1(k_1) (1 + \gamma_1)) \quad (5.11)$$

В нем каждое слагаемое отвечает за вклад в оптимизационный функционал, той или иной фазовой переменной. Сопряженные переменные $\psi_i \geq 0$ теневые цены секторов, умножаются на прирост фондовооруженностей $\frac{dk_i}{dt}$ (по фазовым координатам k_i), и затем суммируются. На каждом этапе экономического роста часть сопряженных переменных будет обращаться в ноль и соответствующие слагаемые не будут учитываться в сумме для вычисления расширенного целевого критерия.

Кроме того, в задаче для монотонного роста (5.11) H – расширенного целевого критерия, дополнительно потребуется монотонный рост всех

фондовооруженностей секторов $\frac{dk_i}{dt} \geq 0$, тогда с каждой новой итерацией значение целевого критерия будет больше, чем на предыдущей итерации.

Для определения технологического оптимума в предположении равенства пропорций трудовых и инвестиционных ресурсов введем параметр h характеризующий долю потребительского сектора в остаточных от s_1 , ресурсах:

$$\begin{aligned} \theta_0 &= (1-h)(1-s_1), & \theta_0 &= s_1, & \theta_0 &= h(1-s_1), \\ s_0 &= (1-h)(1-s_1), & s_1 &, & s_2 &= h(1-s_1), \end{aligned}$$

т.е. фактически ведущим параметром считаем параметр s_1 , а варьированием по h , определяем оптимальные пропорции между нулевым и вторым секторами. Тогда выпуски каждого сектора могут быть записаны в виде:

$$x_0 = B_0(1-h)(1-s_1)s_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}, \text{ где } B_0 = A_0A_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}\lambda^{-\alpha_0}\lambda^{\frac{\alpha_0\alpha_1}{1-\alpha_1}} \quad (5.13)$$

$$x_1 = B_1s_1^{\frac{1}{1-\alpha_1}}, \quad \text{где } B_1 = A_1^{\frac{1}{1-\alpha_1}}\lambda^{\frac{\alpha_0\alpha_1}{1-\alpha_1}} \quad (5.14)$$

$$x_2 = B_2h(1-s_1)s_1^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}}, \text{ где } B_2 = A_2A_1^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}}\lambda^{-\alpha_2}\lambda^{\frac{\alpha_2\alpha_1}{1-\alpha_1}} \quad (5.15)$$

Подставляя эти выражения в уравнение материального баланса, получаем уравнение на h :

$$h(s_1) = \frac{1 - b_1s_1^{\frac{1-\alpha_0}{1-\alpha_1}}(1-s_1)^{-1}}{1 + b_2s_1^{\frac{\alpha_2-\alpha_0}{1-\alpha_1}}}, \text{ где } b_i = \frac{a_1B_i}{(1-a_0)B_0}, \quad i = 1, 2.$$

Функция $h(s_1)$ убывает, начиная со значения $h(0) = 1$ и заканчивая нулевым значением $h(\bar{s}_1) = 0$, определяемым из уравнения $b_1s_1^{\frac{1-\alpha_0}{1-\alpha_1}} = (1-s_1)$.

Подставляем решение этого уравнения в выражения для удельных выпусков секторов, x_0, x_1, x_2 , получаем формулы для $x_0(s_1), x_1(s_1), x_2(s_1)$.

Вычислим на основе этих формул, при разных значениях s_1 , значения $h(s_1), x_0(s_1), x_1(s_1), x_2(s_1)$. Для наших исходных данных: $a_0 = 0,33; a_1 = 0,29; a_2 = 0,45$ – коэффициенты прямых материальных затрат секторов.

В результате выбрано значение наиболее близкое к оптимальному, выделено зеленым, $s_1^* = 0,234; \theta_1^* = 0,168; h = 0,6, l = 0,76$. Т.е. в этой клетке наиболее выгодное из всех соотношение между затратами средств производства и выпуском предметов потребления, причем доля первого сектора, $s_1^* = 0,234$, близка к ранее найденной доле $s_1^* = \theta_1^* = 0,3$, которая была получена с учетом того же самого ограничения.

Тогда, оптимальное распределение - технологический оптимум получается таким:

$$\begin{aligned} s_0^* &= 0,306; s_1^* = 0,234; s_2^* = 0,46 \\ \theta_0^* &= 0,452; \theta_1^* = 0,168; \theta_2^* = 0,38 \end{aligned}$$

Заметим, что доля потребительского сектора в труде и инвестициях $s_2^* = 0,46$ близка к $1/2$, что обусловлено первоначальной итерацией.

Технологического оптимума можно определить альтернативным

способом. Для этого на основе найденного выше пропорционального распределения трудовых и инвестиционных ресурсов можем найти оптимальное распределение ресурсов между секторами. Причем, будет учтена разница в распределении трудовых и инвестиционных ресурсов.

Теперь трудовые и инвестиционные ресурсы распределены по секторам не в одинаковых пропорциях. Тогда, выпуски секторов запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} x_0 &= B_0(1-lh)^{1-\alpha_2}(1-h)^{\alpha_0}(1-\theta_1)^{1-\alpha_0}\theta_1^{\alpha_0}(1-s_1)^{\alpha_0}s_1^{\frac{\alpha_0\alpha_1}{1-\alpha_1}} \\ x_1 &= B_1\theta_1s_1^{\frac{1}{1-\alpha_1}} \quad x_2 = B_2l^{1-\alpha_2}h(1-\theta_1)^{1-\alpha_0}\theta_1^{\alpha_2}(1-s_1)^{\alpha_2}s_1^{\frac{\alpha_1\alpha_2}{1-\alpha_1}} \end{aligned}$$

Для того, чтобы разрешить задачу определения альтернативного технологического оптимума воспользуемся явным видом решения задачи на безусловный экстремум [16]:

$$\begin{cases} l^* = \frac{\alpha_0(1-\alpha_2)}{\alpha_2(1-\alpha_0) - (\alpha_2 - \alpha_0)h} \\ \theta^* = \frac{\alpha_0 + \alpha_2\varepsilon - \delta_1}{1 + \varepsilon - \delta_1} \\ s_1^* = \alpha_1 \frac{\alpha_0 + \alpha_2\varepsilon - \delta_1}{\alpha_0 + \alpha_2\varepsilon - \alpha_1\delta_1}, \end{cases} \quad (5.16)$$

$$\text{где } \varepsilon = \frac{h(\alpha_0 - lh)}{(1-h)(1-lh)}, \delta_1 = \frac{\alpha_1 x_1}{(1-\alpha_0)x_0}$$

Теперь пользуясь формулу (5.16), будем вычислять оптимальное распределение при различных пропорциях труда и инвестиций между секторами. В качестве начального приближения, возьмем ранее найденные оптимальные пропорции: $s_1^0 = \theta_1^0 = 0,55$; $h = 0,534$; $l^0 = 1$ – т.е. равные доли труда и инвестиций.

$$B_0 = 90,16; B_1 = 51,59; B_2 = 65,16;$$

$$x_0 = B_0(1-lh)^{1-\alpha_0}(1-\theta_1)^{1-\alpha_0}\theta_1^{\alpha_0}(1-s_1)^{\alpha_0}s_1^{\frac{\alpha_0\alpha_1}{1-\alpha_1}};$$

$$x_1 = B_1\theta_1s_1^{\frac{1}{1-\alpha_1}}; \quad x_2 = B_2l^{1-\alpha_2}h(1-\theta_1)^{1-\alpha_0}\theta_1^{\alpha_2}(1-s_1)^{\alpha_2}s_1^{\frac{\alpha_1\alpha_2}{1-\alpha_1}}$$

$$\alpha_0 = 0,33; \alpha_1 = 0,29; \alpha_2 = 0,45;$$

$$\alpha_0 = 0,57, A_0 = 1,727; \alpha_1 = 0,674, A_1 = 0,48; \alpha_2 = 0,669, A_2 = 0,628.$$

Данные о расчетных значениях выпусков, и долей ресурсов, найденных по заданной итерационной процедур, занесем в табл.5.4.

Таблица 5.4. Результат итерационной процедуры (5.16) при разных значениях s_1, l, h .

s_1	θ_1	l	h	$1-lh$	$1-h$	$1-\theta_1$	$1-s_1$	$s_1^{m_1}$
0,56	0,56	1	0,5837	0,4624	0,4532	0,54	0,54	0,5132
0,3456	0,1834	0,7724	0,7	0,4521	0,5	0,9213	0,7754	0,1956

Для определения оптимальных пропорций между секторами динамическую модель трехсекторной экономики необходимо привести к ее статическому

аналогу. Это делается в предположении, что все сектора находятся вблизи своих стационарных состояний. В заданной постановке задачи требуется максимизировать выпуск продукции потребительского сектора, в расчете на одного занятого человека работоспособного населения.

$$J = \max_{\theta_i s_i} \theta_2 f_2(k_2^S) = \max \theta_2 A_2 \left(\frac{s_2}{\theta_2} \frac{\theta_1 (1 + \gamma_1)}{\lambda} A_1 (k_1^E)^{\alpha_1} \right)^{\alpha_2},$$

где θ_i – доля i – го сектора в распределении трудовых ресурсов, s_i – доля i – го сектора в распределении инвестиций, λ – параметр износа фондов, с учетом роста населения, и устаревания капитала, f_i – производственная функция i – го сектора, γ_1 – квота на ввоз инвестиционных товаров.

В качестве производственных функций секторов были взяты функции CES рассчитанные автором на данных 2000-2021 годов:

- для материального сектора $f_0 = 1,727 \cdot k_0^{0,57}$;
- для фондосоздающего сектора $f_1 = 0,48 \cdot k_1^{0,674}$;
- для потребительского сектора $f_2 = 0,628 \cdot k_2^{0,67}$.

Коэффициенты эластичностей секторов α_i , а также коэффициенты нейтрального технологического прогресса A_i , на основе данных 2000-2021 года:

$$\alpha_0 = 0,57, \quad A_0 = 1,727; \quad \alpha_1 = 0,674, \quad A_1 = 0,48; \quad \alpha_2 = 0,669, \quad A_2 = 0,628.$$

В качестве коэффициентов $B_i = \frac{A_i}{\lambda^{\alpha_i}}$, где $\lambda = \mu + \nu = 0,05$ – коэффициент износа фондов по секторам, с учетом физического устаревания фондов и прироста населения. Во всех секторах для простоты считаем его одним и тем же:

$$B_0 = \frac{1,727}{0,05^{0,57}} = 9,525; \quad B_1 = \frac{0,48}{0,05^{0,674}} = 3,615; \quad B_2 = \frac{0,628}{0,05^{0,67}} = 4,659.$$

После чего по формулам для D_i (15),(16),(17) находим постоянные параметры материального баланса:

$$D_0 = 3,188; \quad D_1 = 0,31; \quad D_2 = 0,209$$

Далее прямым счетом получаем $\theta_0(s_0)$:

$$\theta_0(s_0) = \frac{1}{1 + \frac{s_0^{1,325}}{[0,097 \cdot (1 - s_0)^{0,89} + 0,066 \cdot (1 - s_0)^{0,874}]^{2,325}}} \quad (5.22)$$

Максимизируем выражение:

$$h(s_0) = [(1 - \theta_0(s_0))(1 - s_0)^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}}] = [(1 - \theta_0(s_0)) \cdot (1 - s_0)^{2,052}]$$

Все предыдущие выражения вычисляется с помощью электронных таблиц типа Microsoft Excel с малым шагом дискретности по s_0 . Затем находится максимум выражения $h(s_0)$. Данные расчетов целевой функции $h(s_0)$ занесены в табл.5.6.

Таблица 5.6. Значения целевой функции $h(s_0)$

s_0	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11
-------	------	------	------	------	------	-----	------

$h(s_0)$	0,529	0,572	0,603	0,623	0,636	0,6441	0,6475
s_0	0,12	0,13	0,14	0,2	0,3	0,4	
$h(s_0)$	0,6476	0,6449	0,6402	0,5865	0,4648	0,3446	

Максимум достигается при значении $s_0^* = 0,12$. Затем находится $\theta_0^* = 0,158$ и определяются доли остальных секторов:

$$\begin{aligned}\theta_1^* &= \alpha_2(1 - \theta_0); \quad s_1^* = \alpha_2(1 - s_0) \\ \theta_2^* &= (1 - \alpha_2)(1 - \theta_0); \quad s_2^* = (1 - \alpha_2)(1 - s_0)\end{aligned}$$

Используя эти формулы легко находим:

$$\begin{aligned}s_1^* &= \alpha_2(1 - s_0) = 0,669 \cdot 0,88 = 0,588. \\ s_2^* &= (1 - \alpha_2)(1 - s_0) = 0,331 \cdot 0,88 = 0,291. \\ \theta_1^* &= \alpha_2(1 - \theta_0) = 0,699 \cdot 0,842 = 0,5632. \\ \theta_2^* &= (1 - \alpha_2)(1 - \theta_0) = 0,331 \cdot 0,842 = 0,279.\end{aligned}$$

Итак, вычислено оптимальное разбиение по секторам труда и инвестиций:

$$\begin{aligned}s_0^* &= 0,12; \quad s_1^* = 0,588; \quad s_2^* = 0,291. \\ \theta_0^* &= 0,158; \quad \theta_1^* = 0,5632; \quad \theta_2^* = 0,279.\end{aligned}$$

Фактически, это оптимальные пропорции между секторами, которые должны установиться к моменту перехода трехсекторной экономики в свое стационарное положение.

Моделируя в системе MS Excel, находим, что общее время переходного процесса составляет $t^* = 14$. Причем соотношение между этапами, примерно равно: 0,416 к 0,584. Т.е. первый этап занимает 8 лет, а второй следующий за ним 6.

Таким образом, посредством предложенного механизма сначала будет устранена отраслевая диспропорция в материальном секторе и развит фондосоздающий сектор. Этот этап длится примерно 6 лет. А затем, еще через 4 лет своих оптимальных значений достигнут фондовооруженности потребительского сектора (на втором этапе). Причем рост фондовооруженности будет существенным, в соответствии с выше оговоренными пропорциями.

Все это произойдет благодаря использованию оптимальной структурной политики. Сектора при этом будут расти сбалансировано и в заключительный момент переходного процесса ресурсы будут распределены в соответствии с оптимальными золотыми пропорциями. А сектора достигнут при этом стационарных значений фондовооруженностей: $k_0^* = 146,6$, $k_1^* = 221,7$, $k_2^* = 251,6$.

К этим значениям будут стремиться значения фондовооруженности в течении происходящих переходных процессов. Значительно отличающихся от своих начальных: $k_0^0 = 43,22$, $k_1^0 = 14,7$, $k_2^0 = 27,5$.

1. Ускоренный этап экономического роста

Исходя из теоретических соображений, изложенных во второй главе, приоритетное значение на первом этапе оптимальной траектории экономического роста отводится фондосоздающему (первому) сектору. С математической точки зрения это обуславливается тем, что монотонный рост всех трех секторов возможен при следующем раскладе на скорости роста фондовооруженностей:

$$\frac{dk_0}{dt} = 0, \quad \frac{dk_1}{dt} > 0, \quad \frac{dk_2}{dt} = 0.$$

Т.е. растет только первый сектор, а материальный и потребительский стационарны.

Вариант структурной политики на первом этапе экономического роста приведен в таблице 5.9 и на рисунке 5.9.

Таблица 5.9. Структурная политика на первом этапе роста

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
s_0	0,65	0,56	0,49	0,41	0,33	0,23	0,23	0,23	0,23
s_1	0,12	0,22	0,31	0,4	0,49	0,6	0,6	0,6	0,6
s_2	0,23	0,22	0,2	0,19	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17

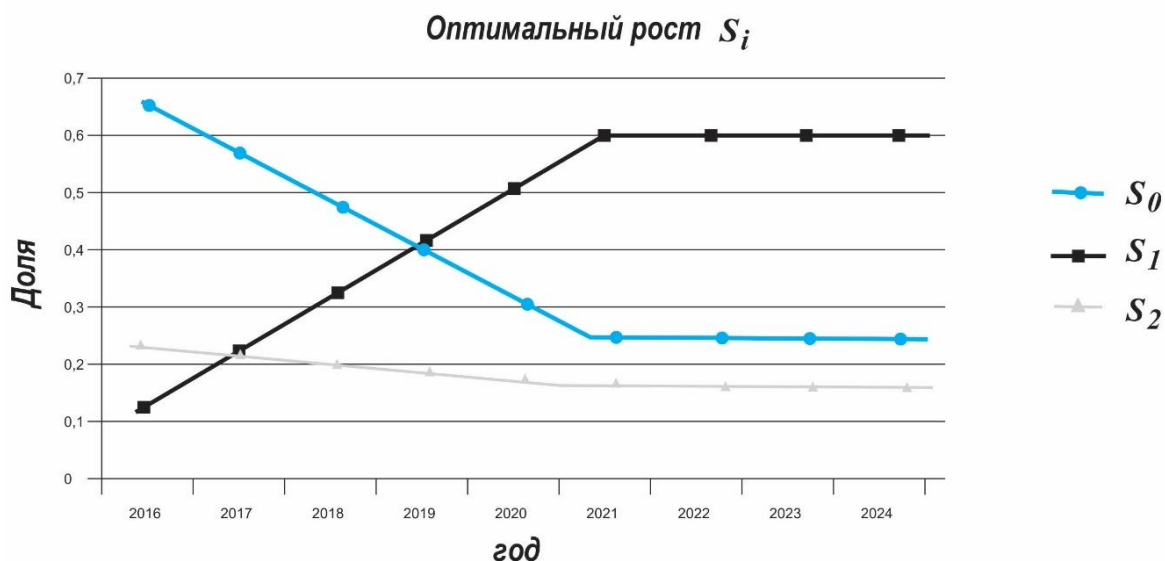


Рисунок 5.9. Установка оптимальных параметров распределения инвестиций на первом этапе роста

При начальных значениях: $k_0^0 = 43,22$, $k_1^0 = 14,7$, $k_2^0 = 27,5$. Т.е. на первом этапе развиваем первый сектор (фондосоздающий), а материальный и потребительский переводим на новые значения.

2. Этап замедленного роста

Итак, на втором этапе (замедленного роста) нужно поддержать долю s сектора на новом оптимальном значении $s_1 = 0,234$, которое отличается от прежнего $\bar{s}_1 = 0,6$ на первом этапе. Это делается только для того, чтобы поддерживать сектор на достигнутом стационарном состоянии k_1^* . А с помощью освободившихся ресурсов наращивать долю в инвестициях у потребительского и материального сектора.

На этом этапе доля трудовых ресурсов первого сектора все еще поддерживается на максимальном уровне. $\theta_1^* = \bar{\theta}_1$. После второго переключения к инвестиционным ресурсам присоединяются и трудовые.

3. Заключительный этап роста

На третьем этапе, будет выполняться соотношение $\frac{dk_2}{dt} > 0$, при ранее достигнутом стационарном состоянии первого сектора $\frac{dk_1}{dt} = 0$. Кроме того, на этом

этапе, произойдет переключение по труду, и установится окончательное оптимальное значение для первого сектора $\theta_1^* = \bar{\theta}_1$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам диссертационного исследования получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

- Доказано, что, взаимодействие структурно-функциональных связей показывает, что, на различных этапах развития каждая из них поочередно играет доминирующую роль и наблюдается соответствие структуры и функции и наличие в макроэкономических системах. Развитие макроэкономических систем необходимо рассматривать как последовательность определенных структурных изменений.

- Развитие экономической системы есть результат определенных структурных изменений и структурно - функциональных взаимодействий, то есть макроэкономическое развитие является результатом последовательности определенных структурных изменений.

- Исследовано и предложено понятие двуединства структурно-функционального развития, что позволило разработать адекватную математическую модель учитывающие структурные изменения и сдвиги рассматривать как автономные процессы внутри экономических систем, создала возможности построения динамических моделей структурных изменений и экономического роста.

- Обоснован новый подход и методологические приемы в части математического моделирования на основе многофакторных производственных функций постоянной эластичности замены (CES) в место производственных функций Кобба - Дугласа, для анализа воздействия структурных механизмов на процессы экономического роста.

- Разработан концептуальный подход к рассмотрению экономических систем как нелинейных, недетерминированных и неравновесных образований, для которых присущи явления неравномерности и стохастичности.

- 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.

- Обоснована применение трехсекторной математической модели на основе многофакторных производственных функций постоянной эластичности замены (CES) для анализа развития экономических систем КР, согласно которой качество экономического роста определяется прежде всего через его структуру, а темпы экономического роста напрямую зависят от характера структурных изменений;

- Проведена адаптация и верификация разработанных в математических моделях оценки структурных сдвигов, что позволило определить тесноту

реальной взаимосвязи между структурными и функциональными характеристиками экономики, а также предложить практические рекомендации по достижению структурной сбалансированности макроэкономических систем.

– Разработаны математические модели показывающие, что, темпы экономического роста непосредственно связаны со структурными характеристиками экономической системы в целом.

– Построенные математические модели и сформированные методические подходы и позволяют разработать системы моделей структурных сдвигов для принятия решений по сбалансированному росту экономики страны.

– Предложен новый класс нелинейных математических моделей на основе производственных функций переменной эластичностью замены (*VES*) взаимосвязи структурных изменений и экономического роста.

– Полученные результаты в ходе исследований, могут быть использованы при разработке и совершенствовании методологии макроэкономического планирования и управления, при формировании республиканских и региональных программ экономического и технологического характера. Реализация предложенных подходов моделирования структурных изменений должна содействовать качественному улучшению структурной сбалансированности на отраслевом и технологическом уровнях, обеспечению практической взаимосвязи между структурными изменениями и процессами экономического развития.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Диссертационная работа имеют значительную практическую ценность. Реализация предложенных подходов 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.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Choroev K. Askarova Ch., Kultaev T. «Structural shifts in the economy and economic growth of the Kyrgyz Republic» is accepted for publication in one of the forthcoming issues of the Scientific Herald of Uzhhorod University. Series «Physics» (ISSN: 2415-8038, e-ISSN: 2786-6688). <https://physics.uz.ua/en>

2. Структурные сдвиги и их влияние на устойчивое экономическое развитие. [Текст] /К. Чороев//Международная конференция по экономике Евразии. Материалы междунар. конф. «Экономика Евразии». 19-20 сентября 2023 года – Измир, Турция, ISBN: 978-605-73695-2-9. с. 504-508. avekon15.pdf

3. Choroev, K. Nonlinear model of uneven economic growth of regions of the Kyrgyz Republic [Text] / K. Choroev, B.I. Biibosunov, S. S. Kydyrmaeva/Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. – 2023. – N 2. – P. 104–111.

4. Choroev, K. Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. – 2023. – N 1 [Text] /K. Choroev, Alieva A., N. K.

Suynaliev // Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. – 2023. – N 1. – P. 85-93.

5. Чороев, К. Анализ оптимизации структурных изменений экономики регионов на базе моделирования [Текст] / К. Чороев, Б. Б. Рысалиева, Т. К. Бусурманова // Учет и контроль. – 2022. – № 1/2. – С. 98–109.

6. Choroev, K. An econometric model for assessing structural shifts [Text] / K. Choroev // Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. – 2022. – N 2. – P. 144–150.

7. Чороев, К. Эконометрическая модель анализа и прогноза структурных сдвигов в экономике Кыргызской Республики [Текст] / К. Чороев // Реформа. – 2021. – № 3 (91). – С. 29–34.

8. Чороев, К. Анализ динамики структуры экономики Чуйской области Кыргызской Республики [Текст] / К. Чороев, Б. Б. Рысалиева, Э. Ю. Хусаинова // Наука и инновационные технологии. – 2021. – № 3 (20). – С. 257–263.

9. Эконометрические модели структурных сдвигов экономики Кыргызской Республики [Текст] / К. Чороев // Международная конференция по экономике Евразии. Материалы междунар. конф. «Экономика Евразии».. 24-25 августа 2021 года – Стамбул, Турция, ISBN: 978-605-73695-0-5. с.436-440 <https://www.avekon.org/proceedings/avekon13.pdf>

10. Choroev, K. Modeling economic development using production functions [Text] / K. Choroev, S. S. Kydyrmaeva, N. K. Suynaliev // Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. – 2021. – N 1. – P. 150–156.

11. Models of overcoming structural imbalances of the economy of the Kyrgyz Republic [Text] / K. Choroev, N. K. Suinaliev, S. S. Kydyrmaeva, Ch. T. Askarova // Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. – 2021. – N 2. – P. 95–104.

12. Choroev, K. Modeling the functioning of economic systems using production ves functions [Text] / K. Choroev, N. K. Suynaliev, N. A. Zhusupbaeva // Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. – 2020. – N 1. – P. 132–138.

13. Choroev, K. Open three-sector model [Text] / K. Choroev, N. K. Suynaliev // Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. – 2020. – N 2. – P. 118–124.

14. Моделирование структурных диспропорций экономики Кыргызской Республики [Текст] / Б. И. Бийбосунов, К. Чороев, Б. Р. Сабитов, Б. Д. Давлятова // Фундаментальные исслед. – 2019. – № 7. – С. 21–26.

15. Проблемы преодоления асимметрии в региональном развитии экономики Кыргызской Республики [Текст] / К. Чороев // Актуальные проблемы экономики и управления. eLIBRARY ID: 37173174. – 2019–№1(21) с.-11-14

16. Анализ и моделирование неравномерности экономического роста регионов Кыргызской Республики в новых условиях [Текст] / К. Чороев // Международная конференция по экономике Евразии. Материалы междунар. конф. «Экономика Евразии». 11-13 июня 2019 года – Фамагуста, Северный Кипр. с.-439-443. ISBN: 978-605-9595-26-1 [avekon11.pdf](https://www.avekon.org/proceedings/avekon11.pdf)

17. Прогнозирование структурных изменений экономики Кыргызской Республики [Текст] / К. Чороев, Н. К. Суйналиева, С. С. Кыдырмаева, Ч. Т. Аскарова // Актуальные проблемы экономики и упр. – 2019. – № 2 (22). – С. 59–63.
18. Чороев, К. Эффективность структурных изменений экономической системы Кыргызской Республики [Текст] / К. Чороев, С. С. Кыдырмаева, Б. Б. Рысалиева // Актуальные проблемы экономики и упр. eLIBRARY ID: 41491034 – 2019. – № 4 (24). – С. 107–111.
19. Чороев, К. Нелинейные модели развития экономики Кыргызстана [Текст] / К. Чороев, А. Жусупбаев, М. Асанкулова, Н. К. Суйналиева // Вестн. ин-та математики Нац. АН Кырг. Респ. – 2019. – № 2. – С. 66–73.
20. Choroev K. Problems of complex economic systems optimization [Text] / K. Ch. Choroev, M. N. Irgebaeva, B. B. Rysaliev // Экономика и предпринимательство. – 2018. – № 12 (101). – P. 378–381.
21. Problems of expert system development of the investment design in agro-industrial complex of Kyrgyzstan [Text] / K. Choroev, B. R. Sabitov, A. Seitbekov, U. T. Kerimov // Экономика и предпринимательство. – 2018. – № 12 (101). – P. 414–417.
22. Оптимизация структуры экономики регионов [Текст] / К. Чороев // Международная конференция по экономике Евразии. Материалы междунар. конф. «Экономика Евразии». 18-20 июня 2018 г. – Ташкент, УЗБЕКИСТАН. ISBN: 978-975-6319-33-8. с. 583-588. avekon.org/proceedings/avekon10.pdf
23. Проблемы межотраслевого моделирования развития экономики в Кыргызстане [Текст] / К. Чороев, С. К. Бийбосунова, Б. Р. Сабитов, М. М. Кожонов // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 9/3 (86). – С. 226–229.
24. Чороев К. Проблемы построения межотраслевой оптимизационной модели равновесия [Текст] / К. Чороев // Проблемы оптимизации и экономические приложения: материалы VI Международной конференции. – Омск, 2015.. – С. 164. <https://elibrary.ru/item.asp?id=24056037>

Чороев Калыбектин 05.13.16 – эсептөө техникасын, математикалык моделдештирүүнү жана математикалык методдорду илимий изилдөөлөрдө колдонуу (илимдин тармактары боюнча) адистиги боюнча физика – математика илимдеринин доктору окумуштуулук даражасын изденип алууга үчүн "Экономикалык системалардын түзүмдүк өзгөрүүлөрүн талдоонун математикалык моделдери жана методдору жана божомолу (Кыргыз Республикасынын мисалында)" темадасында жазылган диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Урунттуу сөздөр: Математикалык методдор жана моделдер, түзүмдүк өзгөрүүлөр, экономикалык тутумдар, үч сектордук модель, оптималдуу башкаруу, матрицалык моделдер.

Изилдөө объектиси катары туруктуу экономикалык өсүш моделине өтүү жана ага ылайык экономиканын түзүмүн түзүү менен байланыштуу келип чыккан улуттук экономиканын түзүмдүк өнүгүү процессин караалат. Изилдөөнүн **предмети** болуп макроэкономикалык системалар боюнча туруктуу экономикалык өсүш моделине өтүү менен байланыштуу келип чыккан түзүмдүк өзгөрүүлөргө баа берүүнүн математикалык моделдерин иштеп чыгуу болуп саналат.

Диссертациялык иштин максаты. Диссертациялык изилдөөнүн максаты-улуттук экономиканын түзүмдүк өзгөрүүлөрү менен өз ара байланышта туруктуу өсүшүн талдоо жана болжолдоо үчүн математикалык моделди жана ыкмаларды иштеп чыгуу.

Изилдөө методдору жана аппаратура: математикалык моделдөө ыкмалары, математикалык анализдин элементтери, корреляциялык жана регрессиялык анализдин ыкмалары, эконометрикалык методдор.

Алынган натыйжалар жана жаңылык: изилдөөнүн жүрүшүндө алынган теориялык, методологиялык жана методикалык натыйжалар макроэкономикалык пландаштыруу жана болжолдоо методологиясын иштеп чыгууда жана өркүндөтүүдө, экономикалык өнүгүүнүн республикалык жана региондук программаларын түзүүдө колдонулушу мүмкүн.

Түзүмдүк өзгөрүүлөрдү моделдөө методологиясынын сунуш кылынган ыкмаларын ишке ашыруу тармактык жана технологиялык деңгээлдерде структуралык тең салмактуулукту сапаттуу жакшыртууга, структуралык өзгөрүүлөрдүн ортосундагы практикалык өз ара байланышты камсыз кылууга көмөк көрсөтүшү керек

Колдонуу боюнча көрсөтмөлөр: алынган илимий жыйынтыктарды экономикалык өнүгүүнү болжолдоодо жана пландаштырууда, инвестицияларды жана эмгек ресурстарын бөлүштүрүүдө колдонууну сунуштайбыз.

Колдонуу чөйрөсү: алынган натыйжалар экономикалык процесстердин математикалык моделдөө теориясын, экономикалык тутумдардын түзүмдүк өзгөрүүлөрүн толуктайт.

РЕЗЮМЕ

диссертации Чороева Калыбека на тему «Математические модели и методы анализа, и прогноза структурных изменений экономических систем (на примере Кыргызской Республики)» представленной на соискание ученой степени доктора физико – математических наук по специальности 05.13.16 – применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (по отраслям науки)

Ключевые слова: математические методы и модели, структурные изменения, экономические системы, трехсекторная модель, оптимальное управление, матричные модели.

В качестве **объектом исследования** рассматривается процесс структурного развития национальной экономики, возникающие в связи с переходом к модели устойчивого экономического роста и формированием соответствующей ей структуры экономики.

Предметом исследования разработка математических моделей оценки структурных изменений, возникающие в связи с переходом к модели устойчивого экономического роста в макроэкономических системах.

Цель диссертационной работы. Цель диссертационного исследования заключается в разработке математической модели и методов для анализа и прогноза устойчивого роста национальной экономики во взаимосвязи со структурными изменениями в ней.

Методы исследования и аппаратура: методы математического моделирования, элементы математического анализа, методы корреляционно-регрессионного анализа, эконометрические методы.

Полученные результаты и новизна: теоретические, методологические и методические результаты, полученные в ходе исследования, могут быть использованы при разработке и совершенствовании методологии макроэкономического планирования и прогнозирования, при формировании республиканских и региональных программ экономического развития.

Реализация предложенных подходов 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.

Рекомендации по использованию: Рекомендуем использовать полученные научные результаты при прогнозировании и планированию экономического развития, при распределения инвестиционных и трудовых ресурсов.

Область применения: полученные результаты работы дополняют теорию математического моделирования экономических процессов, структурных изменений экономических систем.

SUMMARY

of Chorojev Kalybek's dissertation on "Mathematical models and methods of analysis and forecasting of structural changes in economic systems (on the example of the Kyrgyz Republic)" submitted for the degree of Doctor of Physical and Mathematical Sciences in the specialty 05.13.16 – application of computer technology, mathematical modeling and mathematical methods in scientific research (by branches of science)

Keywords: mathematical methods and models, structural changes, economic systems, three-sector model, optimal management, matrix models.

In the article, the **object** of the study is the process of structural development of the national economy, arising in connection with the transition to a model of sustainable economic growth and the formation of an appropriate economic structure.

The **subject** of the study is the development of mathematical models for assessing structural changes that arise in connection with the transition to a model of sustainable economic growth in macroeconomic systems. The purpose of the dissertation work.

The purpose of the dissertation work. The purpose of the dissertation research is to develop a mathematical model and methods for analyzing and forecasting sustainable growth of the national economy in conjunction with structural changes in it.

Research methods and equipment: methods of mathematical modeling, elements of mathematical analysis, methods of correlation and regression analysis, econometric methods.

The obtained results and novelty: the theoretical, methodological and methodological results obtained during the research can be used in the development and improvement of the methodology of macroeconomic planning and forecasting, in the formation of republican and regional economic development programs. The implementation of the proposed approaches to the methodology of modeling structural changes should contribute to the qualitative improvement of structural balance at the sectoral and technological levels, ensuring the practical relationship between structural changes and economic growth processes.

Recommendations for use: We recommend using the obtained scientific results in forecasting and planning economic development, in the allocation of investment and labor resources.

Scope of application: the obtained results complement the theory of mathematical modeling of economic processes and structural changes in economic systems.

