

Чороев К.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА, И ПРОГНОЗА СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

Специальность 05.13.16 – применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях (по отраслям науки)

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. 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 структуру экономику КР можно рассматривать как социально-экономическая система. Социально-экономическая система в общепринятом смысле можно понимать как совокупность ресурсов и экономических субъектов, образующих единое целое (социально-экономическую структуру), взаимосвязанных и взаимодействующих между собой в сфере производства и потребления, обмена и распределения.

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

Процессы преобразования социально-экономической системы (СЭС) и условий их развития связана со значительными трудностями. Во многом они определяются необходимостью проведения крупномасштабных, в том числе структурных, изменений в ведущих отраслях экономики, реконструкции и модернизации производственных процессов, обеспечивающие удовлетворение потребностей в качественной продукции, конкурентоспособной на международном рынке, тщательного научного анализа эффективности использования материальных, финансовых и общественных ресурсов.

Быстрые структурные изменения в социально-экономической системе, приводит к необходимости создания более эффективных средств анализа сложных объектов и выбора целенаправленного путей их стратегического развития. Результаты их применения должны позволять судить о наиболее вероятных и целесообразных направлениях развития экономических процессов, их устойчивости и других, желательных и нежелательных свойствах для оперирующей стороны на основе информации о структурных особенностях исследуемой системы.

Такая постановка задачи может быть решена на базе развития теории и практики системного анализа структурных изменений и математического моделирование различных сценариев развития экономики страны.

В развитых странах под структурной политикой, прежде всего, понимается набор мер общего макроэкономического характера, в основном они концентрируется внимание на взаимодействии ключевых макроэкономических индикаторов. Развитие КР с переходной экономикой в годы независимости, в значительной степени определялось масштабом и скоростью трансформаций в отраслевой структуре производства и связанным с ними изменением пропорций доходов и цен. В результате произошедших изменений экономика КР как экономики других стран СНГ, стала представлять собой уникальную систему, в значительной степени опирающуюся на капитал, созданный в советский период, но функционирующую преимущественно на рыночных принципах хозяйствования.

С учетом имевшихся ресурсов государство пытается выстраивать рыночные компенсационные механизмы. Однако недостаток средств, приводит к тому, что эти меры поддержки не позволяет компенсировать разрывы в уровне эффективности производства на уровне отраслей и экономики в целом. В результате качественные разрывы в структуре экономики не только не сокращались, но и возрастали.

Понятие структуры экономики является достаточно широким и в зависимости от контекста использования может иметь различное содержание. Можно говорить об отраслевой структуре выпуска, структуре использования создаваемого продукта, структуре затрат и т.д. Подобные структурные срезы являются важными характеристиками отдельных составляющих экономической системы, но исследование таких структурных срезов не способно дать понимание того, почему в экономике устойчиво воспроизводятся их ключевые черты.

Кризисные явления в отечественной экономике в полной мере выявили дисбалансы в бюджетной системе, финансовом секторе, на рынке труда, во внешнеторговом обмене, в области научных исследований и разработок (НИОКР) и др.

Учитывая те взаимодействия, которые стоят за накопленными дисбалансами, их устранение государственными мерами регуляризации не представляется возможным. Отсюда следует необходимость выработки специальной структурной политики, целью которой будет формирование новых механизмов структурных изменений в экономике для преодоления структурно технологической несбалансированности.

Механизм структурных изменений в экономике — противоречивое взаимодействие элементов экономической структуры, с помощью которого совершаются структурные изменения. По отношению к структуре экономики механизм структурных сдвигов является механизмом, позволяющим согласовывать сдвиги в структуре производства, распределения, обмена и потребления со сдвигами в структуре потребностей.

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

Отечественная экономика представляет в настоящее время как хозяйственная система, имеющей черты развивающихся экономик по технологическому уровню. При

этом комплексных исследований этого состояние на уровне качественных характеристик ее структуры мало исследовались. Данное исследование направлено на то, чтобы попытаться, хотя бы в некоторой степени, восполнить этот пробел.

На современном этапе в условиях глобализации, внешнеэкономические взаимосвязи стран в постсоветском пространстве значительно изменились. Одновременно в этих условиях происходит трансформация экономической системы в рыночную экономику. Трансформация экономической системы сопровождалась структурными изменениями на всех уровнях (на отраслевом, межотраслевом и секторальном уровнях).

По существу, трансформация экономической системы от плановой к рыночной экономике, поставило вопрос о новых подходах к оценке структурных изменений, как фактора, влияющего на экономический рост. И эта оценка должны учитывать особенностей современного экономического развития: глобализационные процессы в мировой экономике, усложнение межгосударственных связей, свободного передвижения капитала, технологий и знаний, не равномерности развития как результат структурных изменений и структурной несбалансированности развития основных секторов экономики.

Основой нового подхода исследования должно стать рассмотрение экономического развитие – как последовательность определенных структурных изменений.

Если характеризовать современную экономическую ситуацию в стране, то можно констатировать, что отсутствует стратегия осуществления структурных сдвигов в экономике, неразвитостью рыночных институтов инвестирования в реальный сектор производства, в том числе отсутствием эффективных механизмов трансформации ресурсов в инвестиции. Эта особенность не может не наложить отпечаток и на процесс эффективного социально-экономического развития страны и ее регионов и на формирование политики осуществления структурных преобразований.

Несовершенство механизмов перераспределения ресурсов в перспективные отрасли и производства (механизмов структурных сдвигов), предопределяет необходимость проведения государством активной структурной политики на республиканском и региональном уровне.

Обязательным условием управления структурными изменениями в регионе, обеспечения экономической безопасности и создания предпосылок экономического роста региона - является совершенствование методик выявления структурных сдвигов.

В условиях дефицитности инвестиционных ресурсов органам государственной власти основное внимание необходимо уделить стимулированию накоплений и созданию благоприятного инвестиционного климата в рамках структурной политики страны.

Среди прочих условий, активизация инвестиционной деятельности регионов во многом будет зависеть от развития информационной базы, а именно методического обеспечения вопросов исследования и выявления приоритетных направлений развития региона с целью экономии инвестиционных ресурсов.

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 национальной экономики становятся объектом исследования многих ученых экономистов. К исследованию проблем структурных изменений и их влияние на экономический рост посвящены работы зарубежных и отечественных ученых. В дальних зарубежных странах проблему структурных изменений в экономике исследовали такие ученые как К. Кларк, С. Кузнец, В. Леонтьев, Э. Денисон, К. Нутахара, Г. Минасян, А. Картер, М.Плантинга и другие. В России научное исследование структурных изменений в экономике связана с именами А.И. Анчишкина, Ю.В. Яременко, В.С. Сутягина, А.А. Нечаева, С.С. Емельянова, Л.С. Казинца, Г.Е. Эдельгауза, В.В. Коссова, М.А. Бутиной, С.Н. Журавлева, Л.А. Дедова, В.С. Лукинського, В.А. Бессонова, В.В. Глухова, И.В. Ильина, В.Н. Юрьева, Г.Ю. Силкиной, Р.В. Соколова, О.С. Сухарева, Н.В.Суворова, О.В. Спасской и других.

Во многих научных исследованиях проблемы структурных изменений в национальной экономике анализируется с помощью моделей межотраслевого баланса и другие математические модели, и структурные сдвиги рассматривались как фактор, воздействующий на экономический рост. Все большее внимание уделяется изучению вопросов технологического уровня производства.

Исследования лауреата Нобелевской премии В.В. Леонтьева по межотраслевому балансу дал толчок развитию инструментальной базы исследования структурных изменений. Модель В.В. Леонтьева широко используется для решения задач развития национальной экономики.

В Организации Объединенных Наций по Промышленному Развитию (ЮНИДО) методология разработки модели межотраслевого баланса используется для перспективы развития мировой экономики. Вместе с тем, как это показывает современное экономическое развитие, и особенно текущий экономический кризис, структурная несбалансированность таит в себе реальные экономические угрозы, причем долговременного характера, учитывая инерционный характер процессов в макроэкономических системах.

Цель и задачи диссертационного исследования. Целью исследования является:

- создание методологии оценки, анализа и моделирования структурных изменений макроэкономических процессов национальной экономики в переходном периоде, предназначенных для решения задач развития экономики;
- разработке математических инструментариев, описывающего структурных изменений и процессов экономического роста;
- разработке алгоритмов приведения к заданной отраслевой структуре исследуемых макроэкономических процессов национальной экономики.

Для решения поставленных проблем были сформулированы и решены следующие задачи исследования:

1. Анализ и обобщение зарубежного и отечественного опыта анализа, моделирования и оценки макроэкономических структурных изменений в национальной экономике.

2. Обоснование новых подходов и методологических приемов в части моделирования воздействия структурных механизмов на процессы экономического роста.

3. Анализ и выявление основных причинно-следственных взаимосвязей структурных изменений и макроэкономических параметров.

3. Разработка математических моделей и методов исследования динамику структурных изменений и моделей взаимосвязи структурных изменений и роста национальной экономики.

5. Разработка параметров оценки воздействия структурных изменений на процессы экономического развития.

6. Анализ характера и направленности структурных изменений в отечественной экономике за период независимости (1993-2021гг.).

7. Обоснование качественных параметров структуры экономических систем и определение условий их сбалансированного развития.

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

Предметом исследования является разработка математических методов и моделей 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.

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

представленные в диссертации, являются результатом самостоятельных исследований автора.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- проведение системного исследования воздействия структурных изменений на процессы экономического развития, что позволило расширить методологические основы изучения структурных сдвигов в экономике;
- построение нового класса нелинейных математических моделей взаимосвязи структурных изменений и экономического роста,
- также формулирование теоретических и методологических подходов к комплексной оценке воздействия структурных изменений на отраслевые и технологические сдвиги.

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

1. Созданы основы комплексной теории структурной изменений экономических систем, отличающейся системным характером по построению методологии и систему математических моделей и по обеспечению единую логическую взаимосвязь исследований изменения структурных факторов и динамики результирующих показателей функционирования экономических систем.

2. При исследовании развития экономики рассмотрено как структурно-функционального развития и это создала возможности построения динамических моделей структурных изменений, так и экономического роста, в рамках которой экономическое развитие рассматривается прежде всего как последовательность определенных структурных изменений.

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

4. В силу наличия макроэкономических систем как нелинейных, неравновесных и недетерминированных элементов разработан концептуальный подход к исследованию этих систем основанных на теории нелинейных динамических систем. Известно, что модели нелинейных динамических систем наиболее точно отражают особенности структурных изменений макроэкономического уровня.

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

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.

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

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в том, что она способствует развитию научных знаний в области теории и методологии моделирования структурной изменений макроэкономических систем, создавая основы комплексной теории моделирования структурных изменений и экономического роста.

Практическая значимость и внедрение результатов исследований. Теоретические, методологические и методические результаты, полученные в ходе исследования, могут быть использованы при разработке и совершенствовании методологии макроэкономического планирования и 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, рассматривающих вопросы макроэкономического моделирования.

Апробация работы. Основные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: Международной конференции Общества центрально-евразийских исследований (CESS) в Питтсбургском университете (США) 2023 г.; Международной конференции «Экономика Евразии». Измир, Турция, 2023 г.; Материалы международной конференции «Экономика Евразии». Стамбул, Турция 2021г.; Материалы международной конференции «Экономика Евразии», Фамагуста, Кипр 2019г.; Международной конференции Общества центрально-евразийских исследований (CESS) в Вашингтонском университете (США) 2023 г.; Международной конференции «Экономика Евразии» Ташкент, УЗБЕКИСТАН, 2018 г.; XII Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем», Бостери, Кыргызстан, 2016г.; VI международной конференции «Моделирование сложных систем» Омск. Россия 2015г.; XI Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем " Новосибирск, Россия, 2015г.; X Международной Азиатской школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем " Бостери, Кыргызстан, 2014г.

Публикации. Основные научные результаты диссертационного исследования изложены в более 41 публикациях общим объемом более 20 пл., в научных журналах,

изданиях, сборниках научных трудов, материалах научных конференций, из них 23 публикаций в журналах из перечня Высшей аттестационной комиссии.

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

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

Структурные изменения экономики на национальном уровне является закономерным итогом эволюции макроэкономической системы. Структурная несбалансированность является следствием самого процесса развития, когда несопряженность функций системы и ее структуры ставит на повестку дня вопрос о существенной коррекции и обеспечении соответствия структуры и функции системы. Именно этим вопросам посвящена первая глава «Структура и функции макроэкономических систем», где ставится и исследуется вопрос о самом понятии «структура», а также анализируются процессы структурного развития в макроэкономических системах. Отдельно рассмотрены вопросы, связанные с институциональной составляющей структурной динамики, хотя в самих моделях действие этой компоненты не рассматривается. В этой же главе анализируются особенности формирования макроэкономических структур и обосновывается использование метода моделирования как инструментальной основы исследования.

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

В третьей главе «Модели структурных сдвигов» содержится подробный анализ изменения отраслевых структурных сдвигов в экономике. Исследуемая выборка включает в себя отраслевое и макроэкономическое структуру национальной экономики, а исследуемый период охватывает 1993-2021 гг. Здесь же рассмотрены вопросы технологической структуры, а также предложены методы оценки и построения эталонных структур.

В частности, предложены в качестве инструментария исследования структурных изменений различные формы динамических систем. Как следует из полученных результатов, математический аппарат, используемый при изучении динамических систем, в наибольшей степени адаптирован именно к исследованию динамических структурных характеристик. Особенно многообещающей выглядит использование нелинейных зависимостей для задач оценки направленности и характера процессов структурной динамики. Здесь же сформулированы методологические основы моделирования и количественной оценки структурных изменений, проведена оценка взаимосвязи между отраслевыми и технологическими изменениями и темпами роста

ВВП. Так, основываясь на показателях качества отраслевой структуры, удалось показать, что структурные изменения способна как замедлять, так и ускорять экономический рост, т.е. является одним из важных факторов экономического развития.

На основе широко распространенного класса моделей – матричных – в четвертой главе «Модели оптимального роста с учетом структурных изменений экономических систем» проведен анализ оценки межотраслевых взаимосвязей для экономики страны. Для анализа структурных изменений в экономике КР определен период 1993-2021 гг., когда имело место наиболее глубокая структурная ломка экономики, а в качестве моделей для оценки таких трансформационных процессов использована крупноагрегированная трехсекторная модель, основанная на данных межотраслевого баланса. Количественная макроэкономическая оценка структурных сдвигов экономики проведена на основе модифицированной матричной модели. Можно констатировать, что структурные и технологические изменения, характерные для экономики в период 1993-2021 гг., не могут рассматриваться как эталонные, прежде всего, в силу коренной ломки народнохозяйственного комплекса СССР, имевшего место в начале 1990-х годов.

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

2. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Диссертационное исследование посвящено решению важной макроэкономической проблемы – созданию основ комплексной теории и методологии моделирования структурных изменений на отраслевом и технологическом уровнях. Структурная несбалансированность является следствием самого процесса развития, когда несопряженность функций системы и ее структуры ставит на повестку дня вопрос о существенной коррекции и обеспечении соответствия структуры и функции системы.

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

Первое. Неразрывный характер структурно-функциональных связей, когда наблюдается строгое соответствие структуры и функции и наличие в

макроэкономических системах обоих вариантов системогенеза, когда на различных стадиях развития каждая из них поочередно играет доминирующую роль.

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

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

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

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

Шестое. Институциональная составляющая макроэкономических систем играет важную роль в формировании структурно-функциональной целостности системы и оказывает непосредственное влияние на динамику развития системы. Ввиду практической трудности математической формализации этой компоненты, описание ее воздействия и влияния на структурных изменениях системы носит в основном описательный характер.

Суммируя все эти обобщения в форме единой характеристики структурных изменений, можно дать следующее определение: структурные изменения являются многокомпонентным, динамическим и кумулятивным процессом с ярко выраженными аллометрическими свойствами (т.е. — различие пропорций у структурных элементов с разными размерами).

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

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

Обеспечение высоких темпов роста «общественного богатства» является основной функцией экономической системы: чем больше этого богатства, чем выше

темпы его роста, тем большими ресурсами обладает система и тем полнее могут быть исполнены все функции второго порядка.

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

Анализ изменений отраслевой структуры ВВП в период 1993-2021 гг. показал, что для одних отраслей характерна ярко выраженная тенденция к сокращению их долей в ВВП (это, прежде всего, сельское хозяйство), для других - наоборот, устойчивая тенденция к увеличению (например, сектор услуг). Вместе с тем есть сектора, доли которых в ВВП подвержены незначительным колебаниям на протяжении всего исследуемого периода (мы их условно назвали «традиционные» отрасли – это строительство, транспорт, электро-, газо- и водоснабжение). Проанализированы сложившиеся в экономической теории и практике подходы к оценке структурных изменений в экономических системах, выявлены тенденции в развитии методологических подходов к исследованию структурных сдвигов на микро- и макроуровнях, обобщены теоретические, методологические и практические подходы к моделированию структурной динамики макроэкономических систем.

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

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

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

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. Данная концепция представляет собой многошаговый процесс оценки направленности и качества самой структуры, с последующим описанием характера взаимосвязи изменения структуры и процессов экономического развития. В рамках этой концепции экономические системы рассматриваются как нелинейные, недетерминированные и неравновесные образования, для которых присущи явления неравномерности и стохастичности.

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.

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

Наиболее точный метод оценки различных структур (совокупностей) на основе принципа измерения пропорциональности был предложен П. Ватником. Данный подход позволяет создать определенную эталонную оценку, которая может быть использована в дальнейшем при исследовании динамики изменения самой структуры. Введенный таким образом коэффициент пропорциональности имеет следующий вид:

$$Prop[X, Y] = \frac{\overline{XY}^2}{\overline{X^2} \cdot \overline{Y^2}}, \text{ или } Prop[X, Y] = \frac{(\sum_i X_i Y_i)^2}{(\sum_i X_i^2) \cdot (\sum_i Y_i^2)}$$

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

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

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

Таблица 2

Значение эталона для отраслевой структуры ВВП

№	Наименование отрасли	Доля, %
1	Сельское хозяйство, охота, лесоводство и рыболовство	2,2
2	Горнодобывающая	0,9
3	Электро-, газо- и водоснабжение	2,5
4	Строительство	6,2

5	Оптовая и розничная торговля – рестораны и гостиницы	14,1
6	Транспорт, склады и коммуникации	7,5
7	Финансы, страхование, недвижимость и бизнес-услуги	25,4
8	Услуги: индивидуальные, социальные и общественные	21,4
9	Обрабатывающая промышленность	19,8
	Всего	100,0

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 результативного признака в зависимости от факторного.

6. 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, а также матричной модели оценки направленности структурных сдвигов Бархина-Чеснокова.

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

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

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

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{w_j}$$

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

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

В матричной форме прямые затраты определяются как:

$$T = A \cdot V,$$

где T – вектор прямых затрат,

A – матрица коэффициентов прямых затрат,

V – вектор конечного продукта отраслей народного хозяйства.

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

В формализованном виде вектор валового выпуска можно записать как

$$W = V + A \cdot V + A^2 \cdot V + A^3 \cdot V$$

или

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

где E – единичная матрица.

Тогда

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

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

$$W = A \cdot W + V,$$

где W – вектор валовых объемов производства, A – матрица коэффициентов прямых затрат, V – вектор объемов конечной продукции.

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

$$R(X, Y) = \cos \varphi = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{R(X, 0) \cdot R(Y, 0)}$$

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

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n r_i N_i}{R(\tau - t)} \quad (18)$$

Модель Бархина-Чеснокова, хотя дает оценку направленности структурных сдвигов двух вектор-структур, имеет комплексный характер, поскольку характеризует структурные изменения по четырем показателям: R, E, N, S . В качестве оценочного показателя было использовано выражение (18), которое характеризовало интенсивность структурных сдвигов для указанного периода.

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

Таблица 5. Оценка структурных сдвигов для трех вариантов агрегирования отечественной экономики

Показатели	1995-2000	2000-2005	2010-2015	2015-2021
трех секторная модель				
R	0,310	0,079	0,017	0,405
E	0,898	0,994	1,000	0,828
N	0,440	0,114	0,025	0,560
двух секторная модель				
R	0,259	0,118	0,018	0,344

E	0,887	0,976	0,999	0,806
N	0,462	0,217	0,032	0,592

Рассмотрим изменения значения показателя R для всего периода: наибольшие расстояния между вектор-структурами получены для трехсекторной модели – 0,405, наименьшие – для двухсекторной (0,259). Необходимо отметить, что незначительные изменения показателя R в период 2010-2021 гг. (0,017 и 0,018) свидетельствуют о том, что в этот период имело место консервация произошедших в предыдущие периоды структурных изменений.

Показатель E определяет направление структурных изменений: чем ближе его значение к 1, тем в большей степени структурный сдвиг происходит за счет накопленных ранее структурных изменений.

Показатель N дополняет два предыдущие показателя и является количественной оценкой резонансности системы, характеризуя степень отклонения от основной траектории изменения вектор-структуры. Чем меньше значение этого показателя, тем больше экономические преобразования зависят от предыдущего состояния системы. Наибольшие значения этого показателя для всего исследуемого периода характерны только для двухсекторной модели. Для трехсекторной модели показатели резонансности составляют в период 1995-2000 гг. 0,440 и 0,462 соответственно и эти значения являются максимальными 2015-2021 периода.

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

А. Динамическая модель взаимосвязи экономического роста и структурных изменений

1) Логистическая функция

$$Y(t) = Y_{ST} + Y_A + Y_F + Y_S + Y_M$$

где Y_{ST} – объем выпуска традиционных отраслей;

Y_A – объем выпуска аграрного сектора;

Y_F – объем выпуска финансового сектора;

Y_M – объем выпуска обрабатывающих отраслей промышленности.

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

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

a – постоянная, определяемая указанным начальным условием;

b – коэффициент, определяемый эффектом «слияния технологий» в традиционных отраслях.

Одна из целей развития экономики — это оптимальное межсекторальное и внутриотраслевое распределение ресурсов. Рыночный механизм не может обеспечить желательную схему межсекторального распределения ресурсов сообщества по той

очевидной причине, что он действует на основе прибыли - единственного важного фактора в его поведении. Решение о приоритете инвестиций в различных секторах может не совпадать с оптимальным значением, требуемым для общих социально-экономических выгод или затрат. Любое отклонение от этого оптимума корректируется правительством как с помощью методов регулирования, так и путем непосредственного участия в экономическом процессе.

Функция импульсивного отклика и устойчивое влияние могут быть использованы в качестве основы для оценки стратегической политики в целях управления макроэкономическими диспропорциями. Принцип экономического благосостояния должен предлагать абсолютно четкую стратегию для реализации структурных реформ, в целях увеличения производительности и в рамках управления диспропорциями. Это обусловлено тем, что эти меры имеют под собой потенциальную возможность одновременно реагировать на макроэкономические диспропорции и повышать производительность. Это отражается на высоких государственных расходах по реализации структурных реформ и поднимает серьезные вопросы о правильности проведения структурных реформ, в целях управления экономическими диспропорциями.

Правительство не должно игнорировать существование макроэкономических диспропорций и в будущем необходимо согласовать на государственном уровне и осуществлять ряд реформ в области управления экономическими диспропорциями. Меры должны быть направлены на идентификацию экономических диспропорций на раннем этапе и принятие мер по их своевременному решению.

Макроэкономические диспропорции несут основную экономическую нагрузку. Поэтому правительству необходимо рассмотреть этот вопрос совместно структурными подразделениями и пересмотреть свой метод поддержки на правительственном уровне, в целях привлечения инвестиций, улучшения технического обеспечения в первую очередь тех отраслей, где происходит явная диспропорция, и для улучшения бизнес климата в целом по стране.

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, во-первых, такие модели дают возможность выявить 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, проблема наличия структурных сдвигов во временных рядах тесно связана с проблемой не стационарности временных рядов. В этой связи естественным образом встает вопрос о том, как лучше моделировать нестационарную компоненту случайного процесса.

На сегодняшний день проблема структурных сдвигов в эконометрических моделях остается недостаточно разработанной. Наиболее слабым звеном в эконометрических исследованиях является отсутствие надежного научного аппарата, что не позволяет эффективно различать не стационарности экономических временных рядов. Мало изучен механизм осуществления структурных сдвигов, представляющий

собой сложную совокупность различных факторов и являющийся внутренним источником развития экономической структуры. Так же одной из важных практических задач в эконометрическом моделировании является проверка адекватности моделей в реальном времени, т.е. оперативное обнаружение моментов изменения набора регрессионных коэффициентов, параметров функциональных зависимостей.

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:

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

Где ε_i – случайная последовательность «шумов» в зависимой переменной y_i ;

$c = c_1, c_2, \dots, c_k$ – вектор неизвестных коэффициентов в модели (1), описывающийся кусочно-постоянной функцией:

$$c = \sum_{i=1}^{m+1} a_i X([\theta_{i-1}N] < n < [\theta_i N]) \quad (2)$$

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

Практически важные приложения рассматриваемой модели включают класс моделей

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

- авторегрессии скользящего среднего или модель $ARMA(p, q)$, где p и q – целые числа, задающие порядок модели, называется следующий процесс генерации временного ряда X_t :

$$X_t = c + \varepsilon_t + \sum_{i=0}^p \alpha_i X_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_i \varepsilon_{t-i},$$

где c – константа, ε_t – белый шум, то есть последовательность независимых и одинаково распределённых случайных величин (как правило, нормальных), с нулевым средним, $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_p$ и $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_q$ – действительные числа, авторегрессионные коэффициенты и коэффициенты скользящего среднего, соответственно. Параметры $p, q > 1$, предикторы x_i могут порождаться стационарными процессами авторегрессии скользящего среднего и процессами с единичным корнем.

Задача состоит в оценке параметров $\theta_i, i = 1, \dots, m$ структурных сдвигов в модели (2) по наблюдениям $(y_n, x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{kn}), n = 1, \dots, N$; коэффициенты $c(n) = (c_1(n), c_2(n), \dots, c_k(n))^*$ предполагаются неизвестными.

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

$$By_t + \Gamma x_t = \varepsilon_t \quad (3)$$

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 (3) может быть записана в следующей приведенной форме:
 $y_t = -B^{-1}\Gamma x_t + B^{-1}\varepsilon_t = Px_t + \xi_t$.

Под структурными сдвигами понимаются резкие изменения в коэффициентах матрицы P . 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 $z(n_1, n_2) = \sum_{i=n_1}^{n_2} F(i/N)y_i'$ – $(k * m)$ – 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.

Предложен следующий метод обнаружения и оценивания множественных структурных сдвигов:

1) По выборке данных в диапазоне $[1, \dots, N]$ построить статистику

$$Y_N(n) = N^{-1}(u(1, n) - \mathcal{H}_1^n(\mathcal{H}_1^N)^{-1}u(1, N)). \text{ Если } \max_n \|Z_N(n)\| > C \text{ (где } C = C(N) -$$

порог принятия решения), тогда вычислить точку $\max \|Z_N(n)\|$, в противном случае выборка считается статистически однородной.

2) По выборке данных в диапазоне $[1, \dots, \max n]$ построить статистику $Y_N(n) = N^{-1}(u(1, n) - \mathcal{H}_1^n(\mathcal{H}_1^N)^{-1}u(1, N))$ при $N = \max n$. Цикл повторяется до тех пор, пока не будет получена однородная выборка в диапазоне $[1, \dots, \max n]$. Тогда принимаем $n_1 = \max n$ в качестве оценки момента структурного сдвига и перейти к шагу 3.

3) По выборке данных в диапазоне $[n_1, \dots, N]$ построить статистику $Y_N(n) = N^{-1}(u(1, n) - \mathcal{H}_1^n(\mathcal{H}_1^N)^{-1}u(1, N))$. Повторять цикл до тех пор, пока не будет получена однородная выборка в диапазоне $[n_1, \dots, N]$.

При имитационном моделировании использован детерминированный и стохастический регрессионные модели.

2. Для составления стохастического регрессионного модели использованы следующее уравнение:

$$y_i = c_0 + c_1x_i + \varepsilon_i, i = \overline{1, N}, x_i = x_{i-1} + \varepsilon_i.$$

3. Множественные структурные сдвиги в системе одновременных уравнений:

$$y_i = c_0 + c_1y_{i-1} + c_2z_{i-1} + c_3x_i + e_i;$$

$$z_i = d_0 + d_1y_i + d_2x_i + o_i;$$

$$x_i = 0.5x_{i-1} + x_i;$$

$$e_i = 0.3e_{i-1} + z_i,$$

$$y_i = c_0 + c_1y_{i-1} + c_2z_{i-1} + c_3x_i + e_i;$$

$$z_i = d_0 + d_1y_i + d_2x_i + o_i;$$

$$x_i = 0,5x_{i-1} + x_i;$$

$$e_i = 0,3e_{i-1} + \eta_i;$$

4. Практические применения. Для практического применения рассмотрены следующая макроэкономическая зависимость в отечественной экономике: модель инфляции на потребительском рынке. Для построения модели была использована выборка данных за период 1993 – 2021гг. Регрессионная модель для показателя «темпы инфляции на потребительском рынке» содержит следующий набор параметров для прогнозирования: pi – темпы инфляции на потребительском рынке; eps – темпы изменения обменного курса доллара; gsm – темпы роста цен на горючие смазочные материалы (ГСМ).

Было проверено, что все переменные имеют первый порядок и, следовательно, для построения модели можно использовать методологию линейного регрессионного анализа. Полученная регрессионная модель имеет следующий вид:

$$pi = 0.0034 + 0.2924eps + 0.0951gsm$$

Показатели качества зависимости: $R^2 = 0,87$; $DW = 1,72$ – свидетельствуют о ее приемлемом качестве.

Фактор eps – темпы изменения обменного курса доллара является, по существу, монетарным фактором. Фактор gsm – отражает воздействия немонетарных шоков на динамику инфляции на потребительском рынке.

Таким образом, предложенный метод позволяет выявлять моменты структурных сдвигов в регрессионной модели, которые допускают содержательную экономическую интерпретацию.

Корреляционно – регрессионный анализ позволит сделать следующие выводы

1. Предложенный метод обнаружения структурных сдвигов является более робастным в отношении возможных ошибок.

2. Установленные априорные границы снизу для вероятности ошибки оценивания параметра структурного сдвига позволяют утверждать, что оптимальная скорость сходимости оценок к истинному значению является экспоненциальной по объему выборки данных.

3. Установлена асимптотическая оптимальность предложенных методов.

4. Предложенные методы могут быть использованы для решения актуальных практических задач - повышения качества эконометрического моделирования.

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

Решение любой конкретной задачи оптимального экономического роста включает несколько этапов:

1. определение цели управления, именуемой иногда критерием качества управления;

2. разработку математической модели управляемого объекта;

3. рассмотрение различного рода ограничений на траекторию системы;

4. исследование управляющих параметров (управляющих воздействий, длительности процесса управления, класса допустимых управлений) и т.д.

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

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x(t), u(t)), t_0 \leq t \leq T, \quad (4)$$

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 $t, x(t), u(t)$.

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

$$J(u) = \int_{t_0}^T f_0(t, x(t), u(t)) dt + F(t, x(T)) \rightarrow \max \quad (5)$$

Здесь f_0 и F – заданные скалярные функции.

Задача оптимального управления, описываемая уравнениями (4), и (5) 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:

$$\int_{t_0}^T f_0(t, x(t), u(t)) dt \leq 0 \quad (6)$$

Если в задаче Лагранжа, описываемой уравнениями (4) и (5), 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 (2.1) из положения $x(t_0)$ в положение $x(T)$ за минимально возможное время. Подобного рода задачи именуется задачами оптимальными по быстродействию.

4. Ограничения на управление

Информационные ограничения на управление зависят от того, какая именно информация о системе (4) 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 для задачи Больца: $x = f(t, x(t), u(t)), t_0 \leq t \leq T, x(t_0) = x_0, u(t) \in U$,

$$J(u) = \int_{t_0}^T f_0(t, x(t), u(t)) dt + F(t, x(T)) \rightarrow \max \quad (7)$$

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:

$$H(t, x(t), u(t), \psi(t)) \leq \psi, f(x, u) \geq \sum_{i=0}^n \psi_i f_i(x, u) \quad (8)$$

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

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

Предположим, что $u(t)$ – оптимальное управление, а $x(t)$ и $\psi(t)$ – соответствующие траектория и вектор сопряженных переменных, удовлетворяющие уравнениям (7) и (8). Тогда функция $H(t, x(t), u(t), \psi(t))$ достигает своего максимума по $u(t) \in U$ в точке $u^*(t)$.

$$H(t, x(t), u^*(t), \psi(t)) = \underbrace{\max}_{u \in U} H(t, x(t), u(t), \psi(t)) \quad (9)$$

Экономическая постановка задачи исследований

1. 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» [49] 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

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

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

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

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

Основные характеристики параметров производственной функции

Таблица 3.2.

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

«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 $\alpha_2\%$ ».

Открытая трехсекторная модель экономики описывается с помощью уравнений в многомерном пространстве с помощью 3 нелинейных элементов, 3 инерционных звеньев, 4 линейных распределительных звеньев.

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

$$k_i = \frac{K_i}{L_i}$$

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:

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. Уравнение внешнеторгового баланса:

$$\begin{aligned} \tilde{q}_0y_0 &= \tilde{q}_1y_1 + \tilde{q}_2y_2, \\ \theta_i &\geq 0, \quad s_i \geq 0, \quad y_i \geq 0. \end{aligned}$$

Уравнения движения с учетом фондовооруженности $k_i = \frac{K_i}{L_i}$, совокупного износа фондов $\lambda = \mu_i + \nu$ амортизации μ_i и темпа прироста населения ν принимают вид (4,15).

5. Уравнения движения (динамики) фондовооруженностей:

$$\frac{dK_i}{dt} = -\lambda_i k_i + \frac{s_i}{\theta_i} (x_i + y_i), \quad \text{для всех } i = 0,1,2 \quad (10)$$

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

С учетом вида производственной функции $X_i = F_i(K_i, L_i) = A_i K_i^{\alpha_i} L_i^{1-\alpha_i}$, перепишем:

$$f_i(k_i) = A_i k_i^{\alpha_i}, \quad i = 0,1,2,$$

здесь A_i – коэффициент нейтрального технического прогресса, где α_i – коэффициент эластичности по фондам.

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:

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

Рассмотрим трехсекторную модель экономики и выполним анализ с помощью метода линеаризации системы для того, чтобы, уловить общие закономерности динамики системы. Для гамильтониана H выписывается система канонических уравнений Гамильтона (*):

$$\begin{aligned} \dot{\psi} &= -\frac{\partial H(\psi, \vec{k}, u)}{\partial k_i} - \text{уравнения на двойственные переменные } \psi \\ \dot{k} &= -\frac{\partial H(\psi, \vec{k}, u)}{\partial \psi_i} - \text{уравнения движения} \end{aligned}$$

Для рассматриваемого Гамильтониана линеаризованная система (поскольку на самом деле при взятии частных производных были не учтены члены 2-го порядка малости) запишется следующим образом:

$$H = e^{-\delta t}(\theta_2 f_2'(k_2)) + \sum_{i=0}^2 \psi_i \left[-\lambda_i k_i + \frac{s_i}{\theta_i} \theta_1 f_1(k_1)(1 + \gamma_1) \right],$$

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.

1. Экономический смысл оптимальных траекторий канонического роста

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 Кобба-Дугласа, 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 (*).

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

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.

Для построения производственных функций секторов, в начале 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.

В трехсекторной модели экономики выпуск каждого сектора задается с помощью своей производственной функции. В данной работе в качестве производственных функций используются функции Кобба-Дугласа, это стандартная практика в вопросах моделирования оптимального экономического роста. Различные попытки построения производственных функций для отечественной экономики зачастую наталкиваются на большие трудности. Среди основных проблем можно отметить недостаточное количество публикуемой статистической информации, описываемой экономикой страны на макроуровне. Статистические информации иногда обладают плохой точностью, что вынуждает пользоваться относительно простым инструментарием. В таких случаях использование функций Кобба-Дугласа считается обоснованным.

В качестве исходных данных для проведения оценки параметров производственных функций материального, фондосоздающего и потребительского секторов будем брать основной общедоступный источник макроэкономической

статистики - публикации национального статистического комитета [54-64,106].

Проведенный анализ основан на годовой динамике. Можно отметить, что рассматривать более частые, например, квартальные или ежемесячные изменения не представляется возможным, так как (ежемесячных и ежеквартальных данных), данные число занятых в отраслях экономики, структура инвестиций в основной капитал, индексы производства по видам экономической деятельности и т.д., тяжело применимы для моделирования по причине возможных сезонных колебаний.

Используемые производственные функции трехсекторной модели экономики имеют вид

$$F_i = A_i K_i^{\alpha_i} L_i^{1-\alpha_i} \quad i = 0,1,2. \quad (11)$$

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 (11) к индексам, разделим выражение (11) 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 (11) может быть представлена в виде:

$$\frac{F_i}{F_{0i}} = \frac{A_i}{A_{0i}} \left(\frac{K_i}{K_{0i}} \right)^{\alpha_i} \left(\frac{L_i}{L_{0i}} \right)^{1-\alpha_i}, \quad i = 0,1,2. \quad (12)$$

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.

Производственные функции для трехсекторной модели будут построены в контексте следующей отраслевой структуры отечественной экономики. В материальный сектор включены все виды промышленности, участвующие в одном производственном цикле, в фондосоздающий сектор - предприятия, выпускающие различные виды продукции и участвующие в нескольких производственных циклах (двух и более), потребительский сектор состоит из предприятий, выпускающих продукцию, не участвующую в производственных циклах, а предназначенную непосредственно для потребления.

В материальный сектор отнесены: добыча полезных ископаемых, производство и переработка полезных ископаемых; химическое производство, производство резиновых и пластмассовых изделий; производство прочих неметаллических минеральных продуктов; производство и распределение электроэнергии, газа и воды.

В фондосоздающий сектор входят: производство машин и оборудования; производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования.

В потребительском секторе участвуют: производство пищевых продуктов, включая напитки, табака, текстильное и швейное производство; производство кожи, изделий из кожи и производство обуви; обработка древесины и производство изделий из дерева; издательская и полиграфическая деятельность

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 2015г. приведен на рис.1.

**Фондовооруженность секторов $k = K/L$
в индексах к 2015 году**

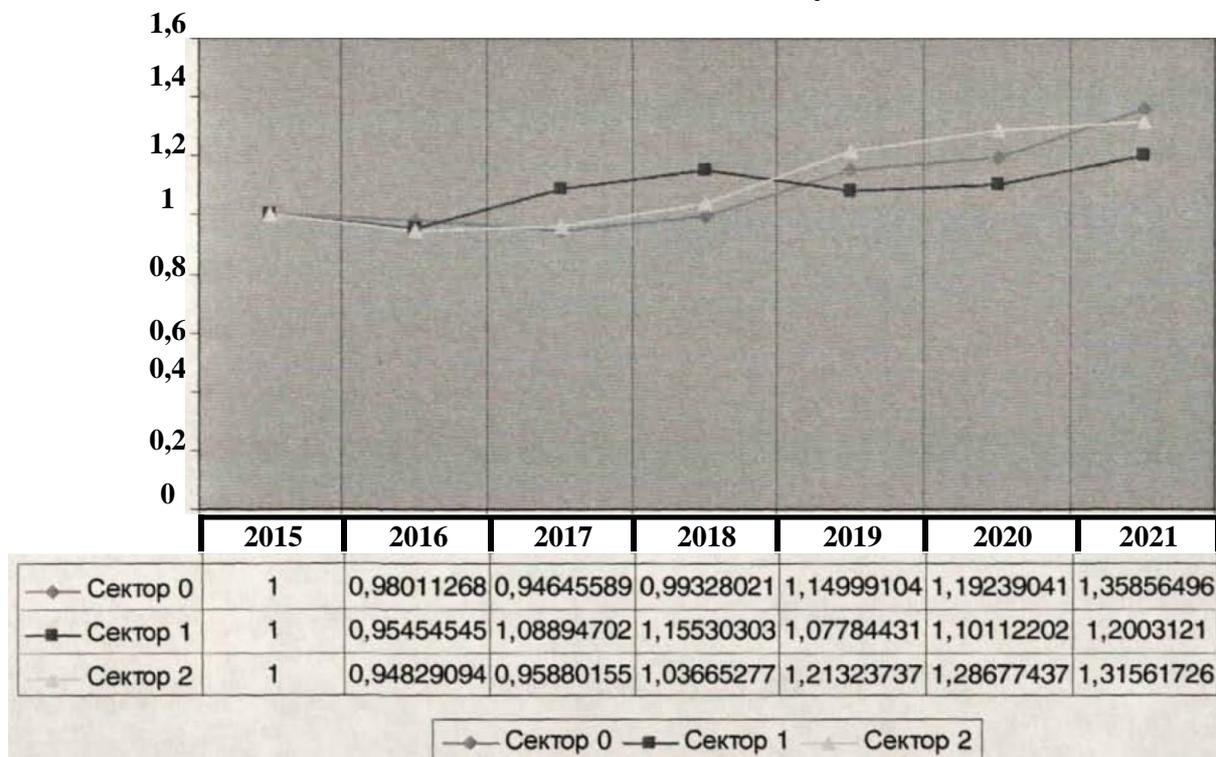


Рис. 1. График динамики фондовооруженностей секторов (в индексах к 2015г.)

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 Кобба-Дугласа, получившихся на основе анализа данных за рассматриваемый промежуток 2000-2021 год:

$$\begin{aligned} \text{для материального сектора} & - X_0 = 1,727 \cdot K_0^{0,57} L_0^{0,43}, \\ \text{для фондосоздающего сектора} & - X_1 = 0,48 \cdot K_1^{0,674} L_1^{0,326} \end{aligned} \quad (13)$$

для потребительского сектора $-X_2 = 0,628 \cdot K_0^{0,67} L_0^{0,33}$.

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 Кобба-Дугласа (13).

Повторим постановку задачи оптимального сбалансированного экономического роста:

Пусть имеется модель открытой трехсекторной экономики, записанная в относительных показателях (глава 2). Заданы уравнения движения (14), а также определяющие структуру экономики соотношения (15). Эти соотношения в дальнейшем играют решающую роль при анализе траекторий роста, поскольку они, собственно, определяют ее макроструктуру.

$$\frac{dk_i}{dt} = -\lambda_i k_i + \frac{s_i}{\theta_i} (x_i + y_i), \quad i = 0,1,2 \quad (14)$$

$$\begin{cases} \theta_0 + \theta_1 + \theta_2 = 1 \\ s_0 + s_1 + s_2 = 1 \\ (1 - \alpha_0)\theta_0 f_0(k_0) = \alpha_1 \theta_1 f_1(k_1) + \alpha_2 \theta_2 f_2(k_2) + \frac{q_1^+}{q_0} y_1 \end{cases} \quad (15)$$

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

$$\max_{\theta, s, y} \int_0^{+\infty} e^{-\delta t} \theta_2(t) f_2(k_2) dt \quad (16)$$

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

$$H = e^{-\delta t} (\theta_2 f_2(k_2)) + \sum_{i=0}^2 \psi_i (-\lambda_i k_i + \frac{s_i}{\theta_i} \theta_1 f_1(k_1) (1 + \gamma_1)) \quad (17)$$

В нем каждое слагаемое отвечает за вклад в оптимизационный функционал, той или иной фазовой переменной. Сопряженные переменные $\psi_i \geq 0$ теньевые 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 (17) H – расширенного целевого критерия, дополнительно потребуются 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 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.

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

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 Кобба - Дугласа 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:

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= 0,57, & A_0 &= 1,727, \\ \alpha_1 &= 0,674, & A_1 &= 0,48, \\ \alpha_2 &= 0,669, & A_2 &= 0,628. \end{aligned}$$

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 по формуле (17) получаем $\theta_0(s_0)$:

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

С помощью формулы (5.23) 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.2.

Таблица 2. 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	0,586	0,464	0,3446	

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

$$\theta_1^* = \alpha_2(1 - \theta_0); \quad s_1^* = \alpha_2(1 - s_0)$$

$$\theta_2^* = (1 - \alpha_2)(1 - \theta_0); \quad s_2^* = (1 - \alpha_2)(1 - s_0)$$

Используя эти формулы легко находим:

$$s_1^* = \alpha_2(1 - s_0) = 0,669 \cdot 0,88 = 0,588.$$

$$s_2^* = (1 - \alpha_2)(1 - s_0) = 0,331 \cdot 0,88 = 0,291.$$

$$\theta_1^* = \alpha_2(1 - \theta_0) = 0,699 \cdot 0,842 = 0,5632.$$

$$\theta_2^* = (1 - \alpha_2)(1 - \theta_0) = 0,331 \cdot 0,842 = 0,279.$$

Итак, вычислено оптимальное разбиение по секторам труда и инвестиций:

$$s_0^* = 0,12; \quad s_1^* = 0,588; \quad s_2^* = 0,291.$$

$$\theta_0^* = 0,158; \quad \theta_1^* = 0,5632; \quad \theta_2^* = 0,279.$$

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

Моделируя в системе 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 табл.3 и на рис. 2

Таблица 3. Структурная политика на первом этапе роста

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
--	------	------	------	------	------	------	------	------	------

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

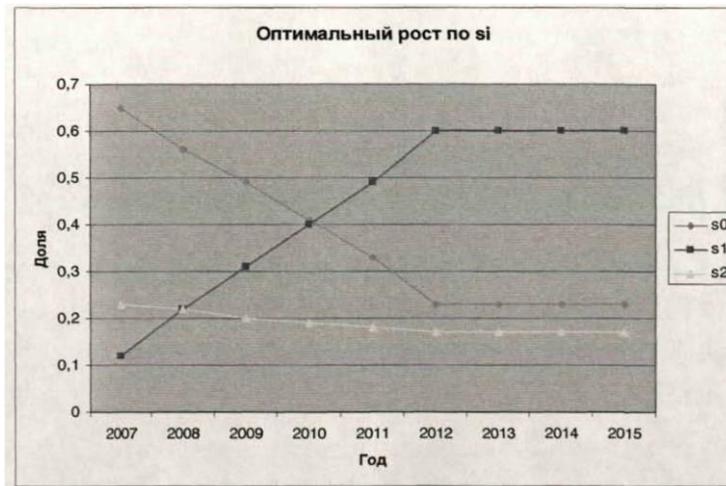


Рис. 2. Установка оптимальных параметров распределения инвестиций на первом этапе роста

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 $\theta_1^* = \bar{\theta}_1$.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

- Созданы основы методологии исследований структурной изменений развития экономических систем, отличающейся системным характером исследования структурных изменений в экономике, построить методологию и систему математических моделей и обеспечить единую логическую взаимосвязь исследований

изменения структурных факторов и динамики результирующих показателей функционирования экономических систем.

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

- Обоснована методология математического моделирования структурных изменений в экономических системах, позволяющая обеспечить системный характер исследований, в ситуации, когда структурные изменения рассматриваются как «фактор-влияние» и как «фактор-результат» развития экономической системы.

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

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

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

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

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

– Темпы экономического роста непосредственно связаны со структурными характеристиками экономической системы в целом.

– В качестве оптимальной отраслевой структуры необходимо рассматривать такую, где доля обрабатывающих отраслей должна быть не менее 20%, то есть подчиняться «правилу одной пятой», что обеспечивает необходимую устойчивость

4. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

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

2. *Choroev K. An econometric model for assessing structural shifts/ Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. –2022. № 2. С. 144-150.*

3. Чороев К. Эконометрическая модель анализа и прогноза структурных сдвигов в экономике кыргызской республики/Реформа. 2021. № 3 (91). С. 29-34.

4. Чороев К. Анализ динамики структуры экономики чуйской области Кыргызской Республики/Чороев К., Рысалиева Б.Б., Хусаинова Э.Ю. Наука и инновационные технологии. – 2021. № 3 (20). С. 257-263.

5. *Choroev K. Modeling economic development using production functions/ Choroev K., Kydyrmaeva S.S., Suynaliev N.K. Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. 2021. № 1. С. 150-156.*

6. *Choroev K. Models of overcoming structural imbalances of the economy of the Kyrgyz Republic/Choroev K., Suynaliev N.K., Kydyrmaeva S.S., Askarova Ch.T. Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. 2021. № 2. С. 95-104.*

7. *Choroev K. Modeling the functioning of economic systems using production ves functions/Choroev K., Suynaliev N.K., Zhusupbaeva N.A. Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. 2020. № 1. С. 132-138.*

8. *Choroev K. Open three-sector model/Choroev K., Suynaliev N.K. Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. 2020. № 2. С. 118-124.*

9. *Чороев К.Ч. Моделирование структурных диспропорций экономики кыргызской республики/Бийбосунов Б.И., Чороев К., Сабитов Б.Р., Давлятова Б.Д. Фундаментальные исследования. 2019. № 7. С. 21-26.*

10. *Choroev K. Problems of overcoming asymmetry in the regional development of the eonomy of the kyrgyz republic/Актуальные проблемы экономики и менеджмента. 2019. Т. 1. С. 11-14.*

11. Чороев К. Прогнозирование структурных изменений экономики Кыргызской Республики/Чороев К., Суйналиева Н.К., Кыдырмаева С.С., Аскарлова Ч.Т. Актуальные проблемы экономики и управления. 2019. № 2 (22). С. 59-63.

12. Чороев К. Эффективность структурных изменений экономической системы Кыргызской Республики/Чороев К., Кыдырмаева С.С., Рысалиева Б.Б. Актуальные проблемы экономики и управления. 2019. № 4 (24). С. 107-111.

13. Чороев К. Прогнозирование структурных изменений экономики/ *Чороев К., Жусупбаев А., Асанкулова М.А., Суйуналиева Н.К.* Вестник Института математики Национальной академии наук Кыргызской Республики. 2019. № 1. С. 135-141.

14. Чороев К. Нелинейные модели развития экономики Кыргызстана *Чороев К., Жусупбаев А., Асанкулова М.*/Вестник Института математики Национальной академии наук Кыргызской Республики. 2019. № 2. С. 66-73.

15. Choroev K. Problems of complex economic systems optimization/ *Choroev K.Ch., Irgebaeva M.N., Rysalievа B.B.* Экономика и предпринимательство. 2018. № 12 (101). С. 378-381.

16. Choroev K. Problems of expert system development of the investment design in agro-industrial complex of Kyrgyzstan/ *Choroev K., Sabitov B.R., Seitbekov A., Kerimov U.T.* Экономика и предпринимательство. 2018. № 12 (101). С. 414-417.

17. Чороев К. Проблемы оптимизации экономических систем/ Вестник Института математики НАН КР. 2018. № 1. С. 95-102.

18. Чороев К. Проблемы межотраслевого моделирования развития экономики в Кыргызстане/ *Чороев К., Бийбосунова С.К., Сабитов Б.Р., Кожонов М.М.* Экономика и предпринимательство. 2017. № 9-3 (86). С. 226-229.

19. Чороев К. Математическая модель и метод определения соотношений экспорта и импорта продукции/ *Чороев К., Жусупбаев А., Асанкулова М.*, Известия ВУЗов Кыргызстана. 2016. № 5. С. 80-82.

20. Чороев К. Математическая модель и методы соотношений экспорта и импорта продукции/ *Чороев К., Жусупбаев А., Асанкулова М.*, Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2016. № 5. С. 80.

21. Чороев К. Проблемы построения межотраслевой оптимизационной модели равновесия/ В сборнике: Проблемы оптимизации и экономические приложения. Материалы VI Международной конференции. 2015. С. 164.

22. Choroev K. Askarova Ch., Kultaev T. «Structural shifts in the economy and 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) Uzhhorod, Ukraine. Data of acceptance: February, 2024