

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение  
высшего образования  
«Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»

*На правах рукописи*

Жуков Роман Александрович

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ  
ИЕРАРХИЧЕСКИХ  
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОГО  
ОПТИМИЗАЦИОННОГО ПОДХОДА

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы  
в экономике

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора экономических наук

Научный консультант

Клейнер Георгий Борисович,  
доктор экономических наук, профессор

Москва – 2022

Диссертация представлена к публичному рассмотрению и защите в порядке, установленном ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» в соответствии с предоставленным правом самостоятельно присуждать учёные степени кандидата наук, учёные степени доктора наук согласно положениям пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

Публичное рассмотрение и защита диссертации состоится 18 января 2023 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Финансового университета Д 505.001.111 по адресу: Москва, Ленинградский проспект, д. 51, корп. 1, аудитория 1001.

С диссертацией можно ознакомиться в диссертационном зале Библиотечно-информационного комплекса ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» по адресу: 125167, Москва, Ленинградский проспект, д. 49/2, комн. 200.7 и на официальном сайте Финансового университета в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» по адресу: [www.fa.ru](http://www.fa.ru).

Персональный состав диссертационного совета:

председатель – Соловьев В.И., д.э.н., доцент;  
заместитель председателя – Одинцов Б.Е., д.э.н., профессор;  
учёный секретарь – Золотова Т.В., д.физ.-мат.н., доцент;

члены диссертационного совета:

Абдикеев Н.М., д.техн.н., профессор;  
Афанасьев А.А., д.э.н., доцент;  
Васильева Е.В., д.э.н., доцент;  
Владова А.Ю., д. техн.н., доцент;  
Гатауллин Т.М., д.э.н., профессор;  
Коровин Д.И., д.э.н., доцент;  
Судаков В.А., д.техн.н., доцент;  
Трегуб И.В., д.э.н., профессор.

Автореферат диссертации разослан 09 сентября 2022 г.

Учёный секретарь диссертационного совета  
Финансового университета Д 505.001.111

Т.В. Золотова

## I Общая характеристика работы

**Актуальность темы исследования.** В современных условиях трансформации экономики, возрастания роли информационных технологий в бизнесе и обществе особую значимость приобретает обеспечение устойчивого, сбалансированного развития государства, его административно-территориальных единиц (округ, субъект Российской Федерации), которые представляют собой сложные социально-экономические системы (далее – СЭС) с ярко выраженной иерархической структурой. Именно такое обеспечение является ключевой целью политики Российской Федерации и целью органов управления различных уровней. Следует признать, что экономика страны, ориентированная только на ресурсодобывающие и ресурсоемкие секторы (феномен «проклятие ресурсов»), не будет обеспечивать устойчивый экономический рост в долгосрочной перспективе. В этих неблагоприятных условиях достижение такой цели представляется особенно актуальным, а успешность решения сопутствующих ей задач определяется тем, насколько корректно поставлена цель, идентифицирован объект исследования, проведен анализ его состояния и функционирования, сформированы и согласованы обоснованные управленческие решения, а также реализован процесс управления. В настоящее время эффективное решение таких задач практически невозможно без использования математического аппарата, методов моделирования и анализа данных, моделей объекта управления и системы управления, а также современных инструментальных средств анализа и принятия решений.

Современным научным фундаментом, позволяющим изучать закономерности функционирования и развития социально-экономических систем, является системная парадигма. Ее методологические принципы дают возможность рассматривать сложную систему как совокупность ее подсистем и элементов с множеством внутриуровневых и межуровневых связей, последние из которых характерны для иерархических социально-экономических систем (далее – ИСЭС). Именно в рамках системного подхода оказывается возможным комплексно подойти к решению вопросов согласования целей системы в целом и ее частей, анализа функционирования ее элементов и подсистем, формирования эффективных управляющих воздействий. В итоге это позволит обеспечить устойчивое, сбалансированное развитие ИСЭС с учетом конкретных условий ее функционирования.

До настоящего времени основополагающие вопросы, связанные как с изучением и моделированием развития иерархических социально-экономических систем, так и управлением ими, проработаны не в полной мере.

Существуют проблемы согласования понятийно-терминологического аппарата и формирования концептуальных положений развития ИСЭС, последняя из которых непосредственно связана с проблемами постановки достижимых целей и реализации эффективных управленческих решений.

Отсутствует обобщенный методологический подход и методический инструментарий для анализа разнокачественных и разноуровневых систем. Это приводит к необходимости идентификации объекта исследования, его формализованного описания, решения задачи классификации в зависимости от свойств его элементов и подчиненности субъектам управления. Остаются открытыми проблема построения и взаимосвязи частных и интегральных индикаторов оценки результатов и эффективности функционирования ИСЭС, ее подсистем, элементов с использованием соответствующих моделей и проблема формирования критериев, по которым можно судить о том, что цели достигнуты.

Одним из ключевых вопросов, связанных с моделированием, является построение моделей. При этом проблемы касаются выбора типа модели, определения ее функциональной формы, методов построения, спецификации параметров, области ее применимости. До сих пор не решена проблема построения согласованных моделей для иерархических социально-экономических систем, обладающих однородными результативными признаками и возможными неоднородными факторами состояния и воздействия.

Недостаточно проработаны вопросы, связанные с построением многоуровневых моделей управления, методов, включающих в себя не только традиционные методы и механизмы, укладывающиеся в рамки общей теории менеджмента, но и математический аппарат управления технико-экономическими системами, в том числе методов анализа данных и принятий решений с использованием современных программных средств.

**Степень разработанности темы исследования.** Теория и методология изучения и управления социально-экономическими системами связана с такими именами основоположников теории систем и системного анализа, как Л. Бераланфи, А.А. Богданов, И.В. Блауберг, Я. Корнай, А. Холл и др. Существенный вклад в развитие общей теории систем, теории экономических систем и системного анализа внесли

Е.П. Голубков, Г.Б. Клейнер, В.Н. Сагатовский, В.Н. Садовский, А.И. Уемов, Ю.И. Черняк, У.Р. Эшби. Особого внимания заслуживают исследования Н. Винера, заложившего основы кибернетического подхода к управлению сложными системами.

Современные исследования, связанные с развитием теории управления сложными системами и построением соответствующих моделей, отражены в работах Е.Э. Аверченковой, В.Н. Буркова, Д.А. Новикова, Ю.Н. Шедько и других ученых.

Однако проблема выбора того или иного подхода к управлению остается открытой. На наш взгляд, современное эффективное управление СЭС должно не только опираться на традиционные методы и механизмы, укладывающиеся в рамки общей теории менеджмента, но и привлекать математический аппарат управления технико-экономическими системами для формирования обоснованных управленческих решений. Это приводит к необходимости формирования собственного подхода к управлению такими системами.

Развитие понятийно-терминологического аппарата в области изучения социально-экономических систем, вопросы классификации систем отражены в трудах С.В. Белоусовой, М.Э. Восканова, И.Н. Дрогобыцкого, Г.Б. Клейнера, Н.Г. Колесникова, И.В. Липсица, П.А. Михненко, В.М. Мишина, Т. Парсонса, Л.И. Поддериной, П.В. Савченко, Н. Смелзера.

При всей глубине проработанности этих аспектов требуется уточнение понятия иерархической социально-экономической системы, обоснование выбора классификации или разработки процедуры согласования результатов анализа функционирования ИСЭС, полученных при использовании различных классификаций.

Современные исследования в области анализа и оптимизации иерархических структур, базирующиеся на классических работах М. Месаровича и Т. Саати, нашли отражение в трудах А.А. Воронина, Ч. Кахрамана, С.П. Мишина и других.

При моделировании развития иерархических систем необходимо осуществить их формализованное описание применительно к российским реалиям с целью дальнейшего использования при построении моделей функционирования ИСЭС, ее подсистем и элементов.

Вопросам оценки результатов и эффективности функционирования и управления социально-экономическими системами, анализа их сбалансированности посвящены работы Я. Зеленецкого, Ф. Кене, Т. Котарбиньского, У. Петти, Д. Рикардо (понятие эффективности и результативности), С.А. Айвазяна, С.Н. Бобылева, Л.М. Григорьева,

Е.Б. Кручиной, Н.П. Тарасовой (индикаторы качества жизни и устойчивого развития), Е.Г. Анимицы, М.Ю. Афанасьева, И.С. Белик, А.Г. Гранберга, В.А. Шабашева (индикаторы развития регионов).

Среди современных зарубежных авторов, работы которых посвящены вопросам оценки устойчивого, сбалансированного развития СЭС, следует отметить таких исследователей, как К. Жу, М. Козена, Б. Корона, А. Миола, С. Мишра, П. Раскин, К. Сан, Х. Ченг, Дж. Ютиэн и другие.

Несмотря на многоаспектность проведенных исследований в данной области, существуют разночтения в таких понятиях, как результативность и эффективность, устойчивость, устойчивое развитие, сбалансированность функционирования системы. При этом остались открытыми вопросы выбора критериев оценки, проведения сравнительного анализа полученных результатов функционирования подсистем и элементов, которые действуют в различных условиях. Это требует разработки новых частных и интегральных индикаторов оценки, которые учитывали бы не только конкретные условия функционирования объекта исследования, но и взаимосвязи между его элементами и подсистемами.

Существенный вклад в развитие балансовых моделей и моделей экономического роста экономических и социально-экономических систем внесли: Дж. Акерлофф, Дж. М. Кейнс, В.В. Леонтьев, М. Спенс, Дж. Стиглиц (модели равновесия); В.Д. Белкин, В.В. Ивантер, Я.М. Уринсон, Н.Ф. Шатилов, Ю.В. Яременко (динамические модели межотраслевого баланса); Е. Домар, П. Дуглас, Ч. Кобб, Р. Солоу, Р. Харрод (модели экономического роста), давшие толчок развитию теории производственных функций; Д.Л. Медоуз, Д.Х. Медоуз, М. Месарович, Э. Пестель, Д.В. Пирс, Р.К. Тернер, Дж. Форрестер (модели мировой динамики).

Современные модели для российской экономики и ее составляющих, прогнозные модели, вопросы эконометрического моделирования отражены в работах Н.М. Абдикеева, А.А. Афанасьева, Л.О. Бабешко, А.Р. Бахтизина, Л.А. Бекларяна, Г.Л. Бекларян, В.А. Бывшева, В.Л. Макарова, Е.Д. Сушко, И.В. Трегуб и других.

Современные зарубежные исследования в области построения моделей функционирования социально-экономических систем связаны с именами Б. Бломквиста, Дж. Дрейрера, В. Женхуа, Б. Лина, Ч.-Ч. Ли, Дж. Х. Стока, Н. Сэйеря, Л. Чарфеддине, П. Шмидта, Ж.П. Элхорста и других.

Однако существующие модели, которые в большинстве своем используются для разработки прогноза или сценариев развития, крайне редко выступают в качестве средства для определения ориентира, задающего вектор устойчивого, сбалансированного развития ИСЭС. Это требует расширения области применения моделей, в том числе для построения нормативов, которые могут выступать в качестве индикаторов оценки степени достижения целей ИСЭС.

При этом в составе моделей используются производственные функции различной функциональной формы, но проблема выбора таких моделей недостаточно освещена. Не в полной мере проработан вопрос построения агрегированных производственных функций, характеризующих результаты функционирования подсистем ИСЭС, а также оценки их параметров. Это требует совершенствования подхода к построению таких моделей, выбору их функциональной формы, в том числе с учетом качественного содержания описываемых объектов и процессов, а также приоритетов субъектов управления в случае, если несколько протестированных моделей являются адекватными.

Современные подходы к поиску оптимальных решений для сложных систем, базирующиеся на классических трудах Р. Акоффа, Л.В. Канторовича, В.В. Новожилова, В.Д. Ногина, В.В. Подиновского, Б. Руа, Н.Н. Моисеева, П. Фишберна, отражены в работах А.В. Андрейчикова, Т.М. Гатауллиной, К. Говиндана, А.К. Еналеева, Ч.Ф. Мански, В.И. Соловьева и др. Развитию методов принятия решений, формированию критериев оптимальности для иерархических систем посвящены работы В.А. Горелика, Т.В. Золотовой.

Однако в задачах оптимизации, в том числе многокритериальной оптимизации, не в полной мере проработан вопрос формирования целевой функции с использованием моделей, построенных как для отдельных элементов и подсистем, так и для совокупности элементов одного или нескольких иерархических уровней ИСЭС. Также недостаточно внимания уделено вопросу минимизации влияния субъективных экспертных оценок при принятии управленческих решений.

Реализация методов анализа данных и принятия решений на базе информационных систем связана с именами В.И. Гурмана, А.А. Емельянова, В.Е. Лихтенштейна, Б.Е. Одинцова, А.Н. Романова, Г.В. Росса, А.Б. Столбова и других.

При этом на рынке информационных продуктов представлено мало программных средств, использование которых не требует от пользователей специальных навыков в области моделирования социально-экономических процессов и углубленных знаний

в сфере эконометрического моделирования и статистической обработки информации, и которые могли бы давать обоснованные количественно выраженные рекомендации органам управления различных уровней (регион (субъект Российской Федерации), муниципальное образование, предприятие).

Таким образом, моделирование сбалансированного развития иерархических социально-экономических систем на основе построения согласованных моделей состояния и функционирования разнокачественных и разноуровневых элементов, подсистем ИСЭС, разработки методологии, обеспечивающей корректные их оценку и анализ на базе системы динамических нормативов, а также формировании оптимизационных моделей, позволяющих определить значения факторов, приводящих ИСЭС в динамическое равновесие, является важной научной проблемой, обуславливающей основные направления исследования в рамках выбранной темы. Решение проблемы будет способствовать обеспечению сбалансированного социально-экономического роста ИСЭС.

**Цель** исследования состоит в разработке экономико-математического аппарата и программных средств для решения важной народнохозяйственной проблемы – обеспечение сбалансированного социально-экономического роста иерархических социально-экономических систем, в том числе двухуровневых систем типа «федеральный округ – субъект федерации» за счет управления факторами функционирования их подсистем и элементов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

– раскрыть сущность, содержание и особенности функционирования иерархических социально-экономических систем и управления ими;

– сформировать методологические принципы и концептуальный подход к оценке состояния и функционирования иерархических социально-экономических систем;

– разработать методику конструирования частных и интегральных показателей результативности функционирования ИСЭС, оценки гармоничности их функционирования и эффективности управления с использованием производственных функций и агрегированных производственных функций;

– создать методику обоснования выбора функциональной формы производственных функций;



– разработать метод определения параметров агрегированной производственной функции для подсистем ИСЭС;

– построить системную эконометрическую модель ИСЭС, увязывающую между собой социальные и экономические особенности их состояния и функционирования с учетом пространственных и временных факторов;

– оценить состояние и функционирование иерархической социально-экономической системы в рамках используемых классификаций на примере двухуровневой ИСЭС (Центральный федеральный округ в целом и области), в том числе: сформировать систему индикаторов оценки; оценить и проанализировать результаты функционирования ИСЭС, ее подсистем и элементов; оценить сбалансированность функционирования и эффективность управления ИСЭС с использованием построенных моделей;

– сформулировать концептуальные положения и принципы управления развитием иерархических социально-экономических систем;

– сформировать многоуровневый оптимизационный подход к управлению ИСЭС;

– построить алгоритм формирования решений на базе построенных моделей;

– разработать процедуру оптимизации, в том числе многокритериальной оптимизации с учетом конкретных задач, решаемых субъектами управления;

– создать модели управления развитием ИСЭС на основе многоуровневого оптимизационного подхода;

– предложить меры, направленные на обеспечение устойчивого, сбалансированного развития ИСЭС на примере регионов (областей) Центрального федерального округа;

– разработать программный комплекс для оценки функционирования сложных систем и принятия решений.

**Объектом исследования** являются иерархические социально-экономические системы, обладающие однородными результативными признаками на всех уровнях управления (типа «федеральный округ – субъект федерации»).

**Предметом исследования** являются особенности и характеристики процессов влияния факторов на результаты функционирования ИСЭС, изучаемые с целью выработки управляющих воздействий, обеспечивающих заданный уровень целевых индикаторов.

**Область исследования** соответствует пунктам 1. «Теоретические и методологические вопросы применения математических, статистических, эконометрических и инструментальных методов в экономических исследованиях»; 2. «Типы и виды экономико-математических и эконометрических моделей, методология их использования для анализа экономических процессов, объектов и систем»; 11. «Компьютерные методы и программы моделирования экономических процессов» Паспорта научной специальности 5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике (экономические науки).

**Научная новизна** исследования заключается в комплексном решении научной проблемы, имеющей народнохозяйственное значение – разработке методологии и методики оценки результатов функционирования иерархических социально-экономических систем, учитывающей взаимосвязи между их элементами, подсистемами и конкретными условиями функционирования с использованием системной эконометрической модели, а также разработке многоуровневого оптимизационного подхода к управлению ИСЭС, позволяющего сформировать обоснованные управленческие решения.

**Положения, выносимые на защиту.** В результате проведенного исследования получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1) Для оценки результатов функционирования ИСЭС, ее подсистем и элементов предложено использовать систему универсальных индикаторов, основанную на применении экономико-статистических моделей ИСЭС. Ее отличиями от других систем являются:

– разделение индикаторов на 3 вида по внутреннему смыслу: частные (интегральные) показатели результативности – оценки результатов функционирования элемента, подсистемы ИСЭС, коэффициенты гармоничности – оценки сбалансированности результатов функционирования ИСЭС; показатели эффективности – отношение изменения показателей результативности к изменению унифицированных факторов производственных функций. Это позволяет избежать смешения понятий результативности и эффективности, а также позволяет провести комплексный анализ ИСЭС с различной степенью детализации;

– использование единой измерительной шкалы для каждого из частных (для элементов) и интегральных (для подсистем) результативных признаков, что исключает влияние единиц измерения и размаха (масштаба) между их значениями

на результаты оценки, и которое может привести к некорректной интерпретации результатов;

– каждый из индикаторов содержит в себе динамический норматив, рассчитываемый по модели связи (в виде производственной функции) между результативными и факторными признаками для каждого из элементов ИСЭС, что позволяет избежать субъективных экспертных заключений по установлению значений таких нормативов (планов);

– интегральные индикаторы, которые рассчитываются посредством квадратичной свертки частных результативных признаков с использованием их корреляционной матрицы. Это дает возможность учесть внутриуровневые связи между элементами, подсистемами ИСЭС. При этом отпадает необходимость придания значений весам частных результативных признаков при их агрегировании для оценки результатов функционирования подсистемы или ИСЭС в целом.

В целом введенная система индикаторов дает возможность обеспечить корректность проводимых оценок и сравнения результатов функционирования разнокачественных и разноуровневых элементов, подсистем ИСЭС с использованием экономико-статистических моделей (С. 93–128).

2) Предложена модификация процедуры построения модели связи между результативными и факторными признаками элемента ИСЭС, включающей выбор функциональной формы, оценку параметров модели, проверку адекватности, точности и анализ содержательного смысла, за счет включения этапа, позволяющего учесть приоритеты развития элементов ИСЭС. Тем самым появляется возможность обеспечить соответствие результатов расчета по моделям целевым установкам управления (С. 128–136).

3) Разработан метод оценки параметров агрегированной производственной функции с использованием принципа максимального правдоподобия, применяемого для плотности вероятности случайной величины, являющейся результатом агрегирования случайных величин – остатков производственных функций. Агрегированная производственная функция определяется квадратичной сверткой производственных функций результатов функционирования элементов подсистемы ИСЭС и используется при расчете норматива для оценки результата функционирования подсистемы ИСЭС. Для двумерного случая получено аналитическое выражение плотности распределения вероятностей. Метод позволяет повысить достоверность проводимых оценок за счет

корректировки параметров агрегированной производственной функции, а, следовательно, повысить обоснованность принимаемых решений при формировании нормативов для подсистем ИСЭС и управления ими (С. 136–158).

4) Разработана система инструментов для оценки результатов функционирования ИСЭС и поиска факторов, позволяющих улучшить целевые индикаторы ее развития на основе построенных системной эконометрической модели и модели управления. В отличие от традиционных систем, которые содержат либо модель функционирования либо модель управления ИСЭС, предложенная система включает набор целевых индикаторов (частные и интегральные показатели результативности, коэффициенты гармоничности); дает возможность корректировать план за счет изменения параметров системной эконометрической модели на каждой итерации цикла управления по отклонениям; содержит в контуре модели управления процедуру оптимизации целевых индикаторов результатов функционирования ИСЭС. Система инструментов позволяет согласовать цели функционирования элементов и подсистем ИСЭС (С. 213–222; 235–246).

5) На основе проведенной систематизации целевых установок управления двухуровневых ИСЭС сформирован и формализован набор оптимизационных моделей – задач оптимизации: достижение заданного результата (для элемента), результатов, сбалансированности (для подсистем) функционирования ИСЭС при наличии ограничений на ее факторы; минимизации изменения факторов при ограничениях на значения показателей результативности ИСЭС, что не встречалось в публикациях последних лет. На базе разработанных алгоритмов и метода, основанного на расширении метода DEA с использованием метода Лагранжа, позволяющего искать весовые коэффициенты входящих в состав целевой функции индикаторов непосредственно из решения оптимизационной задачи, могут быть найдены необходимые изменения факторов функционирования ИСЭС в режимах интенсивного или экстенсивного развития, управление которыми обеспечит социально-экономический рост элементов, подсистем и ИСЭС в целом. В отличие от традиционных оптимизационных моделей, целевая функция содержит в себе как нормативные модели, так и модели функционирования элементов, подсистем ИСЭС, что дает возможность осуществлять корректировку значений нормативов при управлении факторами ИСЭС, снижая влияние субъективных оценок и повышая обоснованность принимаемых решений (С. 222–235).

б) Создан программный комплекс для оценки функционирования сложных систем и принятия решений «ЭФРА». Среди основных преимуществ программного комплекса можно отметить: сочетание модулей анализа и синтеза решений; формирование отчета с экспертными заключениями, что нехарактерно для традиционных статистических пакетов (STATA, SPSS и др.), а также для ряда программ подобного типа; возможность анализа функционирования разных элементов и подсистем посредством одновременного изучения нескольких результативных признаков на базе разработанной методологии оценки результатов функционирования ИСЭС. Программный комплекс позволяет ускорить процедуры анализа данных и принятия обоснованных решений при управлении ИСЭС (С. 258–270).

7) Построена системная эконометрическая модель функционирования регионов (областей) Центрального федерального округа (далее – ЦФО). Выделены социальная и экономическая подсистемы, последняя из которых представлена в двух вариантах: с использованием секторальной (с целью анализа специализации регионов и оценки их сбалансированности) и пространственно-временной (с целью оценки системной сбалансированности экономики регионов) классификаций. В состав модели вошли линейные (для социальной подсистемы) и степенные мультипликативные (для экономической подсистемы) производственные функции. Предложенная модель отличается от существующих моделей региональных социально-экономических систем набором связей и составом признаков описаний элементов. Анализ экономической подсистемы в рамках секторальной классификации показал, что регионы ЦФО в большинстве своем специализируются на рыночных услугах и не ориентированы на развитие сырьевого сектора или сектора обрабатывающих производств. Построенная модель позволяет изучать региональную экономику как в целом, так и в разрезе ее отраслей, подсистем; проводить корректную оценку и сравнительный анализ результатов хозяйственной деятельности разнокачественных и разноуровневых элементов и подсистем ИСЭС с учетом взаимосвязей между ними. Модель используется для поиска факторов, улучшающих целевые индикаторы развития ИСЭС (С. 160–175; 201–208).

8) Применение методологии оценки результатов функционирования ИСЭС с помощью частных и интегральных показателей результативности, эффективности, коэффициента гармоничности и скорректированного индекса системной сбалансированности к областям ЦФО и округа в целом позволило выявить степень

влияния факторов на результаты функционирования элементов, подсистем ИСЭС и разработать методику выявления причин несоответствия фактических и нормативных результатов. Методика предполагает последовательный переход от анализа результатов функционирования региона в целом, к анализу результатов региональных подсистем и их элементов, что позволяет в дальнейшем связать эти результаты с деятельностью соответствующих органов управления (С. 175–201).

9) Для областей ЦФО и округа в целом решены задачи оптимизации, в том числе многокритериальной оптимизации результатов функционирования построенной двухуровневой модели ИСЭС «округ – область». Вычислены значения необходимых изменений факторов, которые бы позволили улучшить значения целевых индикаторов, характеризующих устойчивое, сбалансированное развитие регионов. Полученные результаты могут выступать в качестве рекомендаций для региональных органов управления в части разработки мер в сфере занятости; мероприятий, направленных на модернизацию и обновление основных фондов; шагов в области инвестиционной политики, демографической политики; мер, связанных с перераспределением объемов региональных консолидированных бюджетов по соответствующим статьям, а также средств федерального бюджета между областями (С. 246–256).

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Основные положения данной работы могут быть использованы для развития системных исследований в экономике, в частности методов и инструментов анализа данных и принятия решений, расширяющих области применения экономико-статистических моделей при оценке, анализе функционирования разнокачественных и разноуровневых иерархических социально-экономических систем и решении задач оптимизации результатов деятельности элементов, подсистем и ИСЭС в целом.

Практические результаты исследования могут быть использованы для разработки программ социально-экономического развития регионов Центрального федерального округа, а внедрение программного комплекса в практику деятельности органов управления может послужить шагом к использованию экономико-математических методов при формировании управленческих решений, направленных на устойчивое, сбалансированное развитие иерархических социально-экономических систем, в том числе на региональном уровне.

**Методология и методы исследования.** Методологической базой исследования являются фундаментальные положения системной парадигмы, теории систем

и системного анализа, теории управления, принципы экономической теории и теории экономического роста, труды отечественных и зарубежных ученых разных школ и направлений, связанные с исследованием социально-экономических систем и обеспечением их устойчивого, сбалансированного развития.

В работе использованы общенаучные методы, которые обеспечили достоверность полученных результатов и комплексность проведенного исследования: исторический и диалектический подходы использовались при ретроспективном анализе системы взглядов на процесс управления сложными системами, эволюции математических моделей и методов моделирования для изучения социально-экономических систем; абстрактно-логический метод применен для выявления сущностных характеристик иерархических социально-экономических систем; системный анализ использовался для выявления структуры, внутриуровневых и межуровневых связей между элементами и подсистемами иерархической социально-экономической системы; теоретико-множественный подход – для формализованного описания ИСЭС; экономико-статистический метод – для формирования моделей ИСЭС; метод моделирования – для оценки результатов функционирования ИСЭС; метод сравнения – для обоснования основных результатов исследования путем их сопоставления с результатами других авторов, а также для сопоставления результатов функционирования региональных подсистем Центрального федерального округа; метод оптимизации – для формирования обоснованных управленческих решений.

Источниками нормативной, аналитической и статистической информации послужили Федеральные Законы Российской Федерации, Указы и Распоряжения Президента Российской Федерации, материалы Федеральной службы государственной статистики и другие.

**Степень достоверности, апробация и внедрение результатов исследования.** Достоверность основных результатов исследования, выносимых на защиту, обосновывается корректностью применяемых методологических положений. Полученные теоретические и практические результаты опираются на фундаментальные концепции и положения, представленные в трудах отечественных и зарубежных ученых в области теории систем, системного анализа, экономико-математического моделирования, анализа данных и принятия решений, а также на официальные статистические данные.

Ключевые положения, полученные результаты и выводы исследования обсуждались на многочисленных научных мероприятиях, в том числе: на Международной научно-практической конференции «Социально-экономическое развитие регионов: теория и практика» (г. Тула, Тульский филиал Финуниверситета, 28–29 апреля 2015 г., 27 апреля 2016 г., 17–18 мая 2017 г., 17–18 мая 2018 г., 17–18 апреля 2019 г., 19–20 мая 2021 г.); на Международной научно-практической конференции «Демидовские чтения: экономика и образование» (г. Тула, Тульский филиал Финуниверситета, 14 декабря 2016 г., 6–7 декабря 2017 г., 11–12 декабря 2019 г., 18–19 декабря 2020 г.); на Международной научно-практической конференции «Современная математика и концепции инновационного математического образования» (Москва, Финансовый университет, 20 мая 2016 г.); на XXVII Международной научно-практической конференции «Предупреждение. Спасение. Помощь» (г. Химки, Московская область, Академия гражданской защиты МЧС России, 17 марта 2017 г.); на XXVIII Международной научно-практической конференции «Предупреждение. Спасение. Помощь» (г. Химки, Московская область, Академия гражданской защиты МЧС России, 22 марта 2018 г.); на XXX Международной научно-практической конференции «Предупреждение. Спасение. Помощь» (г. Химки, Московская область, Академия гражданской защиты МЧС России, 19 марта 2020 г.); на VI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экономической науки и практики» (г. Тула, Тульский государственный университет, 26 апреля 2018 г.); на XV Международной конференции «Алгебра, теория чисел и дискретная геометрия: современные проблемы и решения» (г. Тула, Тульский государственный педагогический университет, 28–31 мая 2018 г.); на XXIX Международной научно-практической конференции «Предупреждение. Спасение. Помощь» (г. Химки, Московская область, Академия гражданской защиты МЧС России, 21 марта 2019 г.); на Международной научно-практической конференции «Системная экономика, социально-экономическая кибернетика, мягкие измерения в экономике – 2019» (Москва, Финансовый университет, 7 июня 2019 г.); на круглом столе «Реализация принципов цифровой экономики – путь к устойчивому развитию региона» (г. Тула, Тульский филиал Финуниверситета, 12 декабря 2019 г.); на XXX Международной научно-практической конференции «Предупреждение. Спасение. Помощь» (г. Химки, Московская обл., Академия гражданской защиты МЧС России, 19 марта 2020 г.); на Международной научно-практической конференции «Системная экономика, социально-экономическая



кибернетика, мягкие измерения в экономике – 2020» (Москва, Финансовый университет, 20 мая 2020 г.); на VII Международной научно-практической конференции «Современная математика и концепции инновационного математического образования» (Москва, Финансовый университет, 25 июня 2020 г.); на XXI Всероссийском симпозиуме «Стратегическое планирование и развитие предприятий» (Москва, ЦЭМИ РАН, 10–11 ноября 2020 г.); на VI Международной научно-практической конференции «Системный анализ в экономике» (Москва, Финансовый университет, 9–11 декабря 2020 г.); на Четвертом Российском экономическом конгрессе (Москва, МГУ, 21–25 декабря 2020 г.); на Круглом столе, посвященном творческому наследию Д.С. Львова (Москва, Финансовый университет, 10 марта 2021 г.); на XXII Всероссийском симпозиуме «Стратегическое планирование и развитие предприятий» (Москва, ЦЭМИ РАН, 13–14 апреля 2021 г.); на VII Международной научно-практической конференции «Современная математика и концепции инновационного математического образования» (Москва, Финансовый университет, 28 мая 2021 г.); на X Юбилейной международной школе – семинаре «Многомерный статистический анализ, эконометрика и моделирование реальных процессов» имени С.А. Айвазяна (г. Цахкадзор, Республика Армения, ЦЭМИ РАН, 24–25 июня 2021 г.); на Международной научно-практической конференции «Системная экономика, социально-экономическая кибернетика, мягкие измерения в экономике – 2021» (Москва, Финансовый университет, 24–25 июня 2021 г.).

Практическая значимость полученных результатов обусловлена интеграцией работы с исследованиями, проводимыми в Финансовом университете в рамках утвержденной на 2018–2020 гг. общеуниверситетской комплексной темы «Новая парадигма общественного развития в условиях цифровой экономики», подтема «Системное моделирование межуровневых и внутриуровневых социально-экономических взаимодействий в структуре: «Индивид-общество-государство».

Материалы используются в НВПО «ПРОИННОТЕХ». Разработанная методология оценки состояния и функционирования ИСЭС легла в основу процесса отбора перспективных направлений деятельности организации и формирования реестра актуальных инновационных проектов. Программный комплекс «ЭФРА» используется в текущей деятельности предприятия в качестве средства для анализа его текущего состояния и корректировки принимаемых решений.

Материалы работы использованы ООО «Агролэнд» при создании и развитии нового направления деятельности организации, в частности в сфере сельского хозяйства. Разработанные методики оценки результативности, эффективности и гармоничности функционирования иерархических социально-экономических систем дали возможность провести комплексный анализ текущего состояния отрасли, позволили выявить ряд существующих проблем, а также определить рыночные ниши, не охваченные производителями сельскохозяйственной продукции Тульского региона.

Материалы использованы при разработке некоторых мероприятий, направленных на повышение цифровой грамотности населения Тульской области в рамках Государственной программы «Цифровая экономика» Российской Федерации. Использованный новый подход позволил проанализировать текущее состояние уровня цифровизации, выявить резервы цифрового развития Тульской области, на базе которых разработаны предложения, направленные на цифровую трансформацию региона и повышение цифровой грамотности.

Результаты исследования используются кафедрой «Математика и информатика» Тульского филиала ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» в преподавании дисциплин «Математические методы принятия решений», «Компьютерный практикум», «Анализ данных», «Эконометрика».

Получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613181 Программный комплекс для оценки функционирования сложных систем и принятия решений «ЭФРА» («EFRA»).

Апробация и внедрение результатов исследования подтверждены соответствующими документами.

**Публикации.** Основные положения диссертации отражены в 33 научных публикациях общим объемом 59,27 п.л. (авторский объем – 52,59 п.л.), в том числе в одной авторской монографии объемом 11,63 п.л., в одной коллективной монографии общим объемом 13,40 п.л. (авторский объем – 11,12 п.л.), в 22 статьях общим объемом 22,83 п.л. (авторский объем – 18,32 п.л.) в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК при Минобрнауки России, из которых 3 статьи входят в цитатно-аналитическую базу RSCI общим объемом 4,1 п.л. (весь объем авторский).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы

из 330 наименований и 5 приложений. Текст диссертации изложен на 349 страницах, содержит 26 таблиц, 83 рисунка.

## **II Основное содержание работы**

**В первом параграфе первой главы рассматриваются вопросы, связанные с выявлением сущности социально-экономических систем, в том числе иерархических социально-экономических систем, их содержанием, подходами к анализу состояния, функционирования и особенностями управления ИСЭС с системных позиций. Обобщено и сформулировано определение **иерархической социально-экономической системы как целостной совокупности объектов, субъектов, процессов и явлений, взаимосвязанных между собой прямыми и обратными отношениями, образующими группы с вертикальными (межуровневыми) и горизонтальными (внутриуровневыми) связями, в характерном пространственно-временном континууме (среда, инфраструктура), имеющими экономический (производство, распределение, обмен, потребление) и социальный (личностный, культурный, религиозный, поведенческий, институциональный) характер.****

В результате проведенного анализа подходов к изучению и управлению сложными системами уточнен и взят за основу для дальнейшего использования в исследовании понятийно-терминологический аппарат, включающий в себя такие понятия, как социально-экономическая система, иерархия, иерархическая социально-экономическая система, управление системой, система управления, модель управления, оптимальное управление, а также понятие классификации.

Принят собственный взгляд на процесс управления развитием ИСЭС, включающий в себя принципы холизма (целостности), необходимого разнообразия, рациональности, целеполагания и согласованности. Управление должно базироваться на системном походе и сочетании процессного и ситуационного подходов с использованием теории принятия решений, формализованного (математического) описания модели объекта управления с применением современных инструментальных средств обработки и анализа данных. При этом необходимо сформировать единый подход к управлению ИСЭС на разных уровнях иерархии с использованием методов оптимизации, в том числе многокритериальной оптимизации.

**Во втором параграфе первой главы** проанализирован генезис используемых для описания и анализа функционирования сложных систем, в том числе ИСЭС, математических моделей, включающих в себя: модели равновесия, модели роста, циклические модели, модели мировой динамики и агент-ориентированные модели. Рассмотрены различные функциональные формы моделей, в том числе особый вид экономико-статистических моделей – производственных функций, которые целесообразно использовать для формализованного описания ИСЭС. Высказывается утверждение, что выбор таких функций должен базироваться как на качественном содержании моделей, так и на приоритетах – целях, которые закладываются в эти модели и определяют дальнейшее развитие ИСЭС.

**В третьем параграфе первой главы** представлен подход к моделированию развития ИСЭС, формирование которого осуществлялось в виде цепочки аналитических действий: понятийно-терминологический аппарат, цели (проблематика, проблемы, требующие решения), подходы, принципы, виды, методы, модель, инструментальные средства, моделирование, результат. Обобщено и сформулировано **определение моделирования развития ИСЭС**, под которым понимается **процесс поиска результатов функционирования рассматриваемой системы на различных уровнях иерархии с учетом конкретных условий (факторов состояния и воздействия), а также поиска таких условий, при которых результаты функционирования будут соответствовать заданным (ожидаемым) значениям.**

Подход базируется на методах анализа и синтеза, характерных для системного подхода, и основан на принципах информационной достаточности, осуществимости, иерархической организации, множественности, агрегирования и параметризации, а также принципах системности. Моделирование включает в себя построение экономико-статистических моделей в форме производственных функций. Такой выбор обусловлен особенностями рассматриваемых ИСЭС, относящихся к макро и мезо уровням, что требует некоторого обобщения, характерного для эконометрического моделирования. На базе таких моделей должна быть построена системная эконометрическая модель, увязывающая социальные и экономические особенности состояния и функционирования ИСЭС с учетом пространственных и временных факторов на различных уровнях иерархии. Модели используются при анализе состояния и функционирования ИСЭС. При этом предложенный подход в отличие от традиционных подходов должен давать не только сценарные результаты, но и оптимальные, с точки зрения выбранных

критериев, рекомендации, позволяющие достичь заданных (ожидаемых) значений выбранной системы частных и интегральных (обобщенных) индикаторов оценки результатов функционирования ИСЭС. Это подразумевает необходимость формирования многоуровневого оптимизационного подхода к управлению развитием иерархическими социально-экономическими системами на базе принятой системы взглядов.

**В четвертом параграфе первой главы** проведенный анализ эволюции методологий оценки состояния и функционирования социально-экономических систем позволил сделать вывод, что системы индикаторов напрямую зависят от изменяющихся социально-экономических и даже экологических условий, а также приоритетов развития общества. В этом аспекте при изучении современных ИСЭС наряду с экономическими индикаторами необходимо использовать и социальные показатели, которые должны согласовываться с индикаторами, отраженными в концепции устойчивого развития, и оценивать качество жизни населения, входящего в состав ИСЭС. Наблюдающиеся разночтения в понятийно-терминологическом аппарате методологии оценки функционирования сложных систем, касающихся определения таких понятий, как устойчивость, устойчивое состояние и устойчивое развитие, результативность, эффективность, качество жизни населения потребовало их уточнения, в том числе **понятия устойчивого (сбалансированного) развития ИСЭС. Его определяем как: «постоянный процесс положительных социальных и экономических изменений состояния и функционирования иерархической социально-экономической системы, характеризуемой ключевыми индикаторами оценки, лежащими в границах заданных траекторий, без ухудшения других индикаторов элементов и подсистем ИСЭС, – изменений, направленных на обеспечение благополучия нынешнего и будущего поколений и повышения качества их жизни».**

В каждый временной период должно быть реализовано равновесное функционирование системы (динамическое равновесие) в смысле согласования желаемых и достигнутых результатов – целей существования ее элементов и подсистем – за счет изменения факторов, которые, в свою очередь, могут привести к изменению структуры и свойств системы, а следовательно, ее развитию в будущем. В этом аспекте понятие «равновесие» рассматривается как синоним сбалансированности и устойчивости.

Показано, что при построении интегральных показателей функционирования систем исследователи используют различные процедуры агрегирования частных показателей, которые, так или иначе, сводятся к процедуре усреднения набора

соответствующих индикаторов. При всем многообразии методов выбор метода свертки диктуется самим исследователем, поскольку не существует единого подхода к такому выбору.

Анализ показал, что при оценке функционирования сложных систем, в том числе ИСЭС, существует ряд проблем, которые связаны с недостаточностью объема данных и их достоверностью, субъективизмом при формировании интегральных индикаторов и некорректной используемой процедурой агрегирования частных индикаторов при решении конкретных задач, возможностью адекватного сравнения аналогичных систем, действующих в различных условиях. Все это требует развития соответствующей методологии оценки состояния и функционирования ИСЭС на различных уровнях иерархии, обеспечивающей возможность проведения адекватного анализа с целью принятия обоснованных управленческих решений.

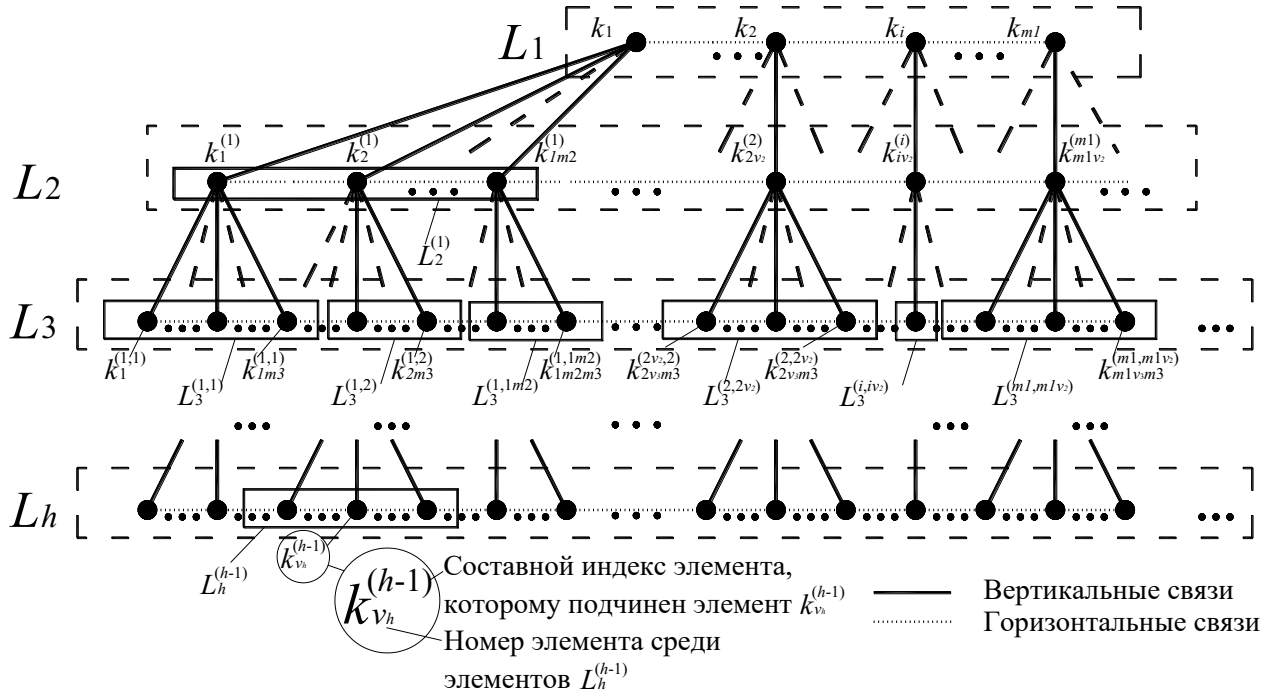
**Вторая глава** посвящена формированию подхода к оценке состояния и функционирования ИСЭС, включающего в себя формализованное описание ИСЭС; методику оценки ее состояния, функционирования и управления; методику конструирования частных и интегральных показателей результативности, эффективности и гармоничности для оценки функционирования ИСЭС; методику выбора производственных функций, входящих в состав модели ИСЭС и используемых для расчета частных и интегральных показателей оценки; метод поиска параметров агрегированной производственной функции, применяемой при расчете соответствующих интегральных характеристик ИСЭС.

**В первом параграфе второй главы** разработано формализованное описание ИСЭС в рамках теоретико-множественного подхода, позволяющее однозначно идентифицировать каждый элемент ИСЭС, а также его принадлежность к определенному уровню и подсистеме (классу) в рамках используемых классификаций, одинаковых на каждом уровне иерархии. Подсистему уровня  $L_p$  будем называть социально-экономической системой (далее – СЭС). Схематично иерархия представлена на рисунке 1. Разработанная методология оценки состояния и функционирования ИСЭС включает:

1) Определение объекта исследования, степени детализации его структурных особенностей и имеющихся причинно-следственных связей в соответствии

с поставленной гипотезой и моделью в рамках формирования иерархии и проведения классификации ИСЭС.

2) Формирование (выбор) схемы изучения системы и определение направления исследования (например, состояние; результат функционирования; потенциал; безопасность; устойчивость; обобщенная оценка и т. п.).



Источник: составлено автором.

Рисунок 1 – Иерархия системы

3) Описание и обоснование выбора результативных и факторных признаков с разделением их на группы (в соответствии с проведенной классификацией), соответствующие выбранной схеме и с учетом имеющейся информационной базы. Информационная база исследования должна удовлетворять критериям надежности, достоверности, полноты (достаточности) и относительной доступности.

4) Конструирование частных индикаторов оценки результатов функционирования ИСЭС. Основными свойствами, которыми должны обладать индикаторы, являются: монотонность, безразмерность, соизмеримость. Включенные в состав индикаторов значения результативных признаков должны быть приведены к единой шкале измерения, а сам индикатор должен иметь наглядное представление и интерпретацию. К тому же показатель должен обеспечить возможность сравнения фактических данных результативного признака с нормативом, который рассчитывается для конкретного элемента ИСЭС, функционирующего в характерных для него условиях. Процедура

конструирования должна обеспечивать возможность ее применения для любых элементов ИСЭС, независимо от их признаков описаний и используемой классификации для элементов ИСЭС.

5) Построение интегрального (обобщенного) индикатора оценки результатов функционирования ИСЭС. Помимо указанных требований для процедуры конструирования и свойств частных индикаторов интегральный индикатор должен учитывать внутриуровневые связи между элементами системы, входящими в состав подсистемы в рамках используемой классификации. Соответствует положению 1, выносимому на защиту.

**Во втором параграфе второй главы** представлена методика конструирования частных (для элементов) и интегральных (для подсистем) показателей результативности функционирования ИСЭС, используемых для оценки результатов функционирования ИСЭС и позволяющих проводить корректную оценку разнокачественных и разноуровневых элементов, подсистем ИСЭС.

Каждый  $v_p$  элемент  $k_{v_p, s_q}^{(p-1)}$  уровня  $L_p$  ( $p$  – номер уровня), относящийся к подсистеме (классу)  $s_q$  и подчиненный элементу более высокого уровня с номером  $(p-1)$ , характеризуется четырьмя типами признаков: 1) результативный признак  $y_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)$  (фактический результат функционирования элемента в период времени  $t$ ); 2) факторы состояния  $x_{v_p, j}^{(p-1)}(t)$  (условия функционирования элемента,  $j=1, \dots, J$   $J$  – число факторов состояния); 3) факторы воздействия  $z_{v_p, u}^{(p-1)}(t)$  (признаки, характеризующие управляющие воздействия на элемент,  $u=1, \dots, U$ ;  $U$  – число факторов воздействия); 4) нормативный результативный признак  $\widehat{y}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)$  (нормативный (ожидаемый) результат функционирования элемента).

Если принять, что каждое из значений четырех типов признаков можно рассматривать как одно из возможных реализаций соответствующих случайных величин  $y^{(p-1)}$ ,  $x_j^{(p-1)}$ ,  $z_u^{(p-1)}$ ,  $\widehat{y}^{(p-1)}$ , то связь между результативными и нормативными признаками можно представить через эконометрическое уравнение по формуле (1)

$$y^{(p-1)} = \widehat{y}^{(p-1)} + \varepsilon^{(p-1)} = f^{(p-1)}(x_j^{(p-1)}, z_u^{(p-1)}) + \varepsilon^{(p-1)}, \quad (1)$$



где  $\varepsilon^{(p-1)}$  – значение случайной величины, которую в первом приближении будем считать нормальной  $N(0; \sigma_{\varepsilon^{(p-1)}}^2)$ .

Производственная функция (далее – ПФ), которая характеризует внутриуровневые связи ИСЭС определяется по формуле (2)

$$\hat{y}^{(p-1)} = f^{(p-1)}(x_j^{(p-1)}, z_u^{(p-1)}). \quad (2)$$

В общем случае межуровневые связи можно определить по формуле (3)

$$y^{(p-2)} = \sum_{v_p=1}^{V_p} w_{v_p} \cdot y^{(p-1)}, \quad (3)$$

где  $w_{v_p}$  – весовые коэффициенты, значения которых зависят качественного содержания признака.

Формула (3) применима для  $x_j^{(p-1)}$  и  $z_u^{(p-1)}$ .

При этом  $\hat{y}^{(p-2)}$  может быть представлено в двух вариантах. В первом варианте  $\hat{y}^{(p-2)}$  вычисляется по формуле (3), во втором варианте определяется по формуле (1) по данным для уровня  $(p-1)$  ИСЭС.

Значение частного показателя результативности рассчитывается по формуле (4)

$$\xi_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t) = \frac{y_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)}{\hat{y}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)}, \quad (4)$$

где  $\xi_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)$  – значение частного показателя результативности  $v_p$  элемента  $k_{v_p, s_q}^{(p-1)}$ ;

$y_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)$ ,  $\hat{y}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)$  – унифицированные (нормализованные) фактические и нормативные (ожидаемые), определяемые по ПФ, значения результативного признака.

Индекс «0» характеризует, что значения приведены к шкале от 0 до 1 с помощью унифицированного преобразования стандартизованных значений  $y_{v_p, s_q}^{*(p-1)}(t)$  и  $\hat{y}_{v_p, s_q}^{*(p-1)}(t)$ .

Стандартизованные значения – центрированные и нормированные по объединенной по  $v_p$  и  $t$  выборке значения  $y_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)$  и  $\hat{y}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)$  соответственно. Стандартизованные величины будем обозначать индексом «\*».

Преобразование осуществляется по формуле (5)

$$\overset{0}{(\cdot)}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t) = \frac{\overset{*}{(\cdot)}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t) - \min\{\overset{*}{y}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t), \overset{*}{\hat{y}}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)\}}{\max\{\overset{*}{y}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t), \overset{*}{\hat{y}}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)\} - \min\{\overset{*}{y}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t), \overset{*}{\hat{y}}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)\}}, \quad (5)$$

где  $(\cdot) - y, \hat{y}$ .

Частный показатель результативности будет неотрицательным и обладать свойствами монотонности, тождественности, соизмеримости, безразмерности и транзитивности. При этом предложенный индикатор учитывает факторы состояния и воздействия в силу того, что при вычислении ожидаемых значений используется модель связи между результативными и факторными признаками, описываемой формулой (2).

Значение интегрального показателя результативности, характеризующего результат функционирования подсистемы  $v_p$  класса  $s_q$ , в состав которой входят  $I$  элементов  $k_{v_p, s_q}^i \in L_{s_q}^i, i = 1, \dots, I$ , определяется по формуле (6)

$$\xi_{v_p, s_q}(t) = \frac{\sqrt{\sum_{i_1=1}^I \sum_{i_2=1}^I r_{i_1, i_2, s_q} \cdot \overset{0}{y}_{v_p, s_q}^{i_1}(t) \cdot \overset{0}{y}_{v_p, s_q}^{i_2}(t)}}{\sqrt{\sum_{i_1=1}^I \sum_{i_2=1}^I \hat{r}_{i_1, i_2, s_q} \cdot \overset{0}{\hat{y}}_{v_p, s_q}^{i_1}(t) \cdot \overset{0}{\hat{y}}_{v_p, s_q}^{i_2}(t)}}, \quad (6)$$

где  $r_{i_1 i_2, s_q}$  – значение парного коэффициента корреляции Пирсона между  $\overset{0}{y}_{s_q}^{i_1}$  и  $\overset{0}{y}_{s_q}^{i_2}$  переменными, принимающими значения  $\overset{0}{y}_{v_p, s_q}^{i_1}(t)$  и  $\overset{0}{y}_{v_p, s_q}^{i_2}(t)$  соответственно ( $i_1, i_2 = 1, \dots, I$ );

$\hat{r}_{i_1 i_2, s_q}$  – значение парного коэффициента корреляции Пирсона между  $\overset{0}{\hat{y}}_{s_q}^{i_1}$  и  $\overset{0}{\hat{y}}_{s_q}^{i_2}$  переменными, принимающими значения  $\overset{0}{\hat{y}}_{v_p, s_q}^{i_1}(t)$  и  $\overset{0}{\hat{y}}_{v_p, s_q}^{i_2}(t)$  соответственно.

Интегральный показатель результативности, за исключением области значений, будет обладать теми же свойствами, что и частный показатель, а также учитывать внутриуровневые связи между элементами ИСЭС.

С экономической точки зрения интегральный показатель результативности, в отличие, например, от суммы соответствующих показателей, может учитывать синергетический эффект от взаимного влияния совокупности рассматриваемых элементов на заданном уровне иерархии и сгруппированных в рамках принятой классификации.

Если  $\xi_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t) \geq 1$  (для элемента),  $\xi_{v_p, s_q}(t) \geq 1$  (для подсистемы),

то функционирование элемента, подсистемы ИСЭС можно считать удовлетворительным. Будем считать, что цель функционирования элемента, подсистемы достигнута с заданной точностью, если выполняется условие, определяемое формулой (7)

$$\xi_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t) = 1 \pm \Delta \quad (\xi_{v_p, s_q}(t) = 1 \pm \Delta), \quad (7)$$

где  $\Delta$  – допустимое отклонение.

Для оценки результативности функционирования элементов (подсистем) ИСЭС вводится система соответствующих показателей на каждом уровне иерархии. Соответствует положению 1, выносимому на защиту.

**В третьем параграфе второй главы** обсуждаются вопросы, связанные с оценкой сбалансированности и эффективности функционирования, воздействия и управления ИСЭС.

Для оценки сбалансированности (одно из свойств устойчивости) функционирования ИСЭС вводится новый индикатор – **коэффициент гармоничности**, который характеризует **соответствие результатов функционирования элементов (подсистем) ИСЭС нормативным значениям** и определяется по формуле (8)

$$H_{Ap}(t) = 1 - \frac{\sigma(\xi_{s_q}(t))}{M(\xi_{s_q}(t))}, \quad H_{Ap, s_q}(t) = 1 - \frac{\sigma(\xi_{s_q}^i(t))}{M(\xi_{s_q}^i(t))}, \quad (8)$$

где  $M(\xi_{s_q}(t))$ ,  $M(\xi_{s_q}^i(t))$  – средние по  $s_q$  или по  $i$  значения соответственно;  $\sigma(\xi_{s_q}(t))$ ,  $\sigma(\xi_{s_q}^i(t))$  – стандартные отклонения;  $(i=1, \dots, I)$ ,  $I$  – число частных показателей результативности, характеризующих класс  $S_q$  (в случае построения коэффициента гармоничности уровня;  $s_q = 1, \dots, Q$ ,  $Q$  – число интегральных показателей результативности, соответствующих числу классов).

Чем ближе  $H_{Ap}(t)$  ( $H_{Ap, s_q}(t)$ ) к единице, тем более сбалансировано (гармонично) функционирование совокупности элементов (подсистем) ИСЭС.

Наряду со статическим коэффициентом гармоничности представлен индикатор сбалансированного роста, который определяется как отношение текущего значения  $H_{Ap}(t)$  к предыдущему или базисному его уровню в моменты времени  $t-1$  или  $t_0$  по формуле (9)

$$H_{Ap}(t)_{DIN(Base)} = \frac{H_{Ap}(t)}{H_{Ap}(t_0)}, \quad H_{Ap}(t)_{DIN(Chain)} = \frac{H_{Ap}(t)}{H_{Ak}(t-1)}, \quad (9)$$

где  $H_{Ap}(t)_{DIN(Base)}$  – индикатор сбалансированного роста (базисный);  
 $H_{Ap}(t)_{DIN(Chain)}$  – индикатор сбалансированного роста (цепной).

Введенные индикаторы по функциональной форме аналогичны основным показателям динамики, в частности, коэффициенту роста, широко используемому в социально-экономических исследованиях. По сути, индикатор сбалансированного роста будет отражать степень сбалансированности объекта исследования в текущем периоде по сравнению с предыдущим (базисным) периодом и выступать в качестве одной из составляющих для оценки эффективности функционирования, воздействия и управления ИСЭС на заданном уровне иерархии  $L_p$ .

На основании проведенного концептуального и статистического (на примере регионов Центрального федерального округа, далее – ЦФО) сравнительного анализа показателей результативности и технической эффективности функционирования ИСЭС был сделан вывод о целесообразности использования предложенных индикаторов наряду с существующими показателями.

Предложено рассматривать эффективность (базисную и цепную) как отношение изменения индикаторов оценки результативности и гармоничности функционирования ИСЭС на каждом уровне иерархии к изменению унифицированных факторных признаков, как показано в формуле (10)

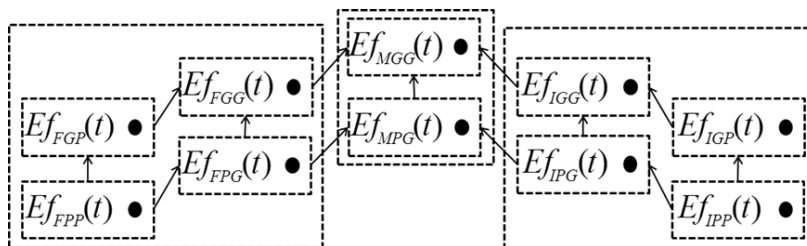
$$Ef(t) = \frac{\Delta y(t)}{\Delta x(t)} = \frac{y(t)/y(t_0)}{x(t)/x(t_0)}, \quad (10)$$

где  $y$  – индикаторы оценки;  $x$  – факторы;  $t$  – период оценки;  $t_0$  – период сравнения.

Разработана система показателей, включающая частные и интегральные показатели эффективности функционирования, воздействия и управления, представленные на рисунке 2, и которые позволяют проводить комплексную оценку ИСЭС с различной степенью детализации.

На рисунке 2 первая буква индекса характеризует тип эффективности (функционирования (F – Functioning), когда в качестве фактора используются факторы состояния; воздействия (I – Impact), когда в качестве фактора используются факторы воздействия; управления (M – Management), когда в качестве фактора используются факторы состояния и воздействия); вторая буква индекса характеризует тип индикатора

оценки (частный (P – Partial), интегральный (G – Generalized)); третья буква характеризует тип факторов (частный или интегральный).



Источник: составлено автором по материалам Жуков, Р.А. Model of Socio-Ecological and Economic System : the Central Federal District Regions of the Russian Federation = Модель социо-эколого-экономической системы : регионы Центрального федерального округа Российской Федерации / R.A. Zhukov // Statistika : Statistics and Economy Journal. – 2018. – № 3. Volume 98. – P. 237-261.

Рисунок 2 – Схема соответствия показателей эффективности функционирования, воздействия и управления ИСЭС

Соответствует положению 1, выносимому на защиту.

**В четвертом параграфе второй главы** раскрыта методика построения модели связи – ПФ, идея которой заключается в том, чтобы дополнить традиционный алгоритм, включающий выбор функциональной формы модели, оценку ее параметров, проверку адекватности и качественного содержания ПФ, этапом, позволяющим учесть приоритеты развития элементов ИСЭС с помощью сформулированного критерия, что не встречалось в публикациях последних лет. Критерий, обуславливающий выбор наиболее строгого норматива, а, соответственно, и обосновывающий выбор модели, определяется как минимум среди сумм значений показателей результативности, вычисленных с помощью каждой ПФ из набора адекватных моделей. Реализация методики продемонстрирована на примере регионов ЦФО. Соответствует положению 2, выносимому на защиту.

**В пятом параграфе второй главы** предложен метод поиска параметров агрегированной производственной функции (далее – АПФ), описывающей результат функционирования подсистемы ИСЭС. АПФ используется при вычислении значений знаменателя интегрального показателя результативности по формуле (5). На примере регионов ЦФО показано, что метод может быть использован при уточнении параметров ПФ, входящих в состав АПФ, на базе четырех алгоритмов, выбор которых может быть определен на основании анализа приоритетов развития элементов и подсистем ИСЭС.

В первом случае коэффициенты АПФ можно получить непосредственно из решения эконометрических уравнений, составленных для каждого из результативных признаков функционирования элементов ИСЭС, применив, например, обычный

(далее – OLS), обобщенный метод наименьших квадратов (далее – GLS) или метод максимального правдоподобия (далее – MLE).

Во втором случае параметры АПФ можно найти, если рассмотреть агрегированную случайную величину, являющуюся комбинацией случайных величин  $\varepsilon^{(p-1)}$ , входящих в формулу (1), и воспользоваться MLE.

Будем рассматривать элементы ИСЭС, которые принадлежат одному уровню  $p$  и одному классу  $s_q$ . Упростив соответствующие обозначения, будем рассматривать совокупность  $k$  подсистем,  $i$  элементы которых характеризуются значениями  $i$  результативных  $y_{k,i}(t)$  и  $i,j$  факторных признаков  $x_{k,i,j}(t)$  в период времени  $t$ . Будем считать  $y_{k,i}(t)$  и  $x_{k,i,j}(t)$  реализациями случайных величин  $y_i$  и  $x_{i,j}$  и рассматривать объединенную по  $k$  и  $t$  выборку. Связи между факторными и результативными признаками представим в виде формулы (11)

$$y_i = \widehat{y}_i + \varepsilon_i = f_i(C_{i,j}, x_{i,j}) + \varepsilon_i, \quad (11)$$

где  $i$  – индекс случайной величины ( $i = 1..m \in \mathbb{N}$ ,  $m$  – число результативных признаков);

$C_{i,j}$  – параметры производственных функций  $\widehat{y}_i = f_i(\cdot)$ ;

$\varepsilon_i$  – случайные составляющие (остаточные компоненты).

Будем считать, что  $\varepsilon_i$  являются нормальными  $N(0; \sigma_{\varepsilon_i}^2)$ , а дисперсии  $\sigma_{\varepsilon_i}^2$  предполагаются неизвестными.

Переходя к стандартизованным величинам (центрированным и нормированным), которые будем обозначать знаком «\*», плотность распределения вероятностей случайной величины  $\varepsilon^*$ , являющейся комбинацией стандартизованных  $\varepsilon_i^*$ , можно получить, воспользовавшись операцией свертки, по формуле (12)

$$f_p(\varepsilon^*) = \frac{1}{(2 \cdot \pi)^{m/2} \cdot \sqrt{\Delta}} \times \frac{d}{dy^*} \int \dots \int_D \exp\left[-\frac{1}{2 \cdot \Delta} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m A_{i,j} \cdot \varepsilon_i^* \cdot \varepsilon_j^*\right] dD, \quad (12)$$

где  $\Delta$  – определитель корреляционной матрицы  $\|r_{ij}\|$ ;

$A_{i,j}$  – алгебраические дополнения корреляционной матрицы  $\|r_{ij}\|$ ;

$\varepsilon_i^*$  – остаточные компоненты;

$D$  зависит от комбинации  $\varepsilon_i^*$  и соответственно  $y^*$  – комбинации  $y_i^*$ .

Остаточные компоненты  $\varepsilon_i^*$  определяются по формуле (13)

$$\varepsilon_i^* = (y_i^* - \bar{y}_i^*)^2 / (2 \cdot \sigma_{y_i^*}^2), \quad (13)$$

где  $\sigma_{y_i^*}^2$  – дисперсия  $y_i^*$ .

Для оценки параметров АПФ необходимо максимизировать логарифмическую функцию правдоподобия  $\ln L(y^* | C_{i,j}^*, x_{i,j}^*(t), \sigma_{y^*})$ , составленную на основе формулы (11), как показано в формуле (14)

$$\ln L(y^* | C_{i,j}^*, x_{i,j}^*(t), \sigma_{y^*}) = \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T f(y^* | C_{i,j}^*, x_{i,j}^*(t), \sigma_{y^*}) \rightarrow \max. \quad (14)$$

Максимум в формуле (14) ищется по набору  $C_{i,j}^*$  (параметры стандартизованной ПФ с индексом  $i$ ) и  $\sigma_{y^*}$ .

Алгоритм поиска параметров моделей функционирования ИСЭС будет состоять из следующих этапов:

1) определение параметров моделей  $C_{i,j[part]}^*$  – параметры, найденные по формуле (10), – для вычисления каждого из частных показателей результативности отдельно, например с помощью метода наименьших квадратов;

2) вычисление суммы квадратов остатков для интегрального показателя результативности  $\sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T (\varepsilon_{k[part]}^*(t))^2$  с использованием  $C_{i,j[part]}^*$ ;

3) формирование логарифмической функции правдоподобия по формуле (14) для случайной величины  $\varepsilon^*$ , имеющей плотность вероятности  $f_p(\varepsilon^*)$ , определенной по формуле (12);

4) установка первоначальных значений параметров моделей  $C_{i,j[part]}^*$ ;

5) нахождение параметров модели  $C_{i,j}^*$  из решения задачи поиска максимума  $\ln L(y^* | C_{i,j}^*, x_{i,j}^*(t), \sigma_{y^*})$  при наличии ограничения, как показано в формуле (15)

$$\sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T (\varepsilon_k^*(t))^2 \leq \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T (\varepsilon_k^*(t))_{[part]}^2, \quad (15)$$

где  $\varepsilon_k^*(t)$  – значения случайной величины  $\varepsilon^*$  (остаточная компонента), вычисленные с использованием  $C_{i,j}^*$ , представленных в формуле (14);

$\varepsilon_k^*(t)_{[part]}$  – остатки, вычисленные с использованием  $C_{i,j[part]}^*$ .

Для двумерного случая обобщенный результат функционирования подсистем может быть определен случайной величиной  $y^{*+} \geq 0$ , как показано в формуле (16)

$$y^{*+} = +\sqrt{(y_1^*)^2 + 2 \cdot r \cdot y_1^* \cdot y_2^* + (y_2^*)^2}, \quad (16)$$

где  $y_1^*$  и  $y_2^*$  – стандартизованные случайные величины.

Случайные величины  $y_1^*$  и  $y_2^*$  имеют совместную плотность вероятности, определяемую по формуле (17)

$$f_P(y_1^*, y_2^*) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{1-r^2}} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2 \cdot (1-r^2)} \left( (y_1^*)^2 - 2 \cdot r \cdot y_1^* \cdot y_2^* + (y_2^*)^2 \right)\right], \quad (17)$$

где  $r$  – парный коэффициент корреляции.

Тогда плотность вероятности  $y^{*+} \geq 0$  будет выражаться формулой (18)

$$f_P(y^{*+}) = \frac{y^{*+}}{1-r^2} \cdot \exp\left[-\frac{1+r^2}{2 \cdot (1-r^2)^2} \cdot (y^{*+})^2\right] \cdot I_0\left(\frac{r}{(1-r^2)^2} \cdot (y^{*+})^2\right), \quad (18)$$

где  $I_0(\cdot)$  – модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

Метод применен для оценки результатов функционирования регионов ЦФО по данным за 2007–2016 гг. с помощью интегральных показателей результативности, характеризующих объемы ВРП для сочетаний разделов С, D и E (ОКВЭД 1). В качестве факторных признаков использованы стоимость основных фондов по полной учетной стоимости на конец года и среднегодовая численность занятых в экономике. Производственные функции были представлены в степенной мультипликативной форме, аналогичной форме Кобба – Дугласа. Применялись четыре алгоритма оценки параметров ПФ, которые отличаются особенностями построения случайной величины  $\varepsilon^*$  и процедурами вычисления параметров АПФ на каждой итерации численного решения задачи.

Соответствует положению 3, выносимому на защиту.

**Третья глава** посвящена применению разработанной методологии оценки и анализа результатов функционирования ИСЭС, ее подсистем и элементов к областям Центрального федерального округа и ЦФО в целом – двухуровневой иерархической социально-экономической системы – «округ – область».

**В первом параграфе третьей главы** сформирована система признаков описаний элементов ИСЭС, которая была использована для построения внутриуровневых и межуровневых моделей связи между элементами, подсистемами ИСЭС и вычисления частных и интегральных индикаторов результативности, коэффициентов гармоничности и показателей эффективности на основе этих моделей. Выбор результативных признаков был обусловлен, прежде всего: 1) их признанием со стороны российского и мирового



сообщества в качестве показателей оценки социально-экономического развития регионального уровня; 2) внутренним смыслом, содержащим в себе некоторое обобщение результатов функционирования элементов и подсистем мезоуровня ИСЭС; 3) общедоступностью статистических данных. Отбор факторных признаков, в дополнение к обозначенным выше причинам, был продиктован существенностью (статистической значимостью) с точки зрения степени их влияния на результативные признаки, и который был подтвержден на предварительном этапе корреляционно-регрессионного анализа.

Каждая из областей разделена на социальную и экономическую подсистемы. В качестве элементов ИСЭС, относящихся к экономической подсистеме, выбраны элементы, представляющие собой совокупность экономических единиц – институциональных единиц–резидентов областей (в терминологии СНС), деятельность которых соответствует одному из разделов Общероссийского классификатора видов экономической деятельности (далее – ОКВЭД). Это дало возможность изучить специфику результатов функционирования областей более детально, а не только рассматривать каждую из них в качестве атомарного элемента. Группировки элементов в рамках секторальной и пространственно-временной классификаций осуществлялись с целью выявления специализации областей, а также степени сбалансированности их функционирования. Для экономической подсистемы в качестве результативных признаков выбраны объемы ВРП по соответствующим разделам ОКВЭД 1 (разделы А – О ( $y^1 - y^{14}$ )). Для социальной подсистемы выбраны: индекс долголетия, индекс образования и индекс состоятельности (дохода) ( $y^{15} - y^{17}$ ). В качестве факторов состояния для экономической подсистемы выбраны: стоимость основных фондов по полной учетной стоимости на конец года по ОКВЭД 1 ( $x_1^i$ ,  $i$  – номер раздела); среднегодовая численность занятых по ОКВЭД 1 ( $x_2^i$ ,  $i$  – номер раздела); среднегодовая численность населения ( $x_2$ ); пассажирооборот автобусов общего пользования ( $x_3^8$ ); отправление пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования ( $x_4^8$ ); заболеваемость на 1000 человек населения – зарегистрировано заболеваний у пациентов с диагнозом, установленным впервые в жизни ( $x_1^{13}$ ). В качестве факторов воздействия выбраны: инвестиции в основной капитал по ОКВЭД 1 (для разделов D ( $z_1^3$ ), G ( $z_1^6$ ),

$H(z_1^7)$ ,  $K(z_1^{10})$ ); расходы консолидированного бюджета по статьям (социальная политика ( $z_2$ ), образование ( $z_2^{12}$ ), физическая культура и спорт ( $z_2^{13}$ )).

Для социальной подсистемы факторы состояния – реальные денежные доходы населения, в процентах к 2007 году ( $x_1^{15}$ ); расходы населения на здравоохранение в среднем на душу населения ( $x_2^{15}$ ); число зарегистрированных преступлений на 100 000 человек населения ( $x_3^{15}$ ); сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты ( $x_4^{15}$ ); естественный прирост на 1000 чел населения ( $x_1^{16}$ ); миграционный прирост на 1000 чел населения ( $x_2^{16}$ ). В качестве факторов воздействия для социальной подсистемы выбраны: инвестиции в основной капитал на душу населения по ППС в долларах США ( $z_1$ ); расходы консолидированного бюджета (всего) ( $z_3$ ). Все стоимостные показатели скорректированы на уровень инфляции и приведены к уровню 2007 г, что позволило исключить из моделей влияние изменения уровня цен на результативные признаки ИСЭС. Соответствует положению 7, выносимому на защиту.

**Во втором параграфе третьей главы** применение разработанной методологии на базе построенных производственных функций со статистически значимыми параметрами (линейных – для экономической подсистемы, степенных мультипликативных – для экономической подсистемы) и со значимыми  $R^2$  по данным за 2007–2018 годы дало возможность не только провести корректные оценку и анализ результатов функционирования областей ЦФО и ЦФО в целом с помощью частных и интегральных показателей результативности, но и разработать методику выявления возможных причин отклонений результатов от их нормативных значений. Для каждой из моделей проведен ряд статистических тестов: тесты на мультиколлинеарность (Фаррара – Глобера), гетероскедастичность (Спирмена); тесты для ряда остатков: случайность (поворотные точки), равенство 0 математического ожидания (t-критерий), автокорреляция (критерий Дарбина – Уотсона), нормальность (R/S-критерий, Д’Агостино  $K^2$ , Шапиро). Модели, удовлетворяющие не всем классическим требованиям по статистической адекватности, могут быть использованы в качестве аппроксимирующих моделей для построения нормативов и решения оптимизационных задач. По предложенным индикаторам развития социальной подсистемы и с учетом значимых факторов, включенных в модели, выявлено повышение качества жизни

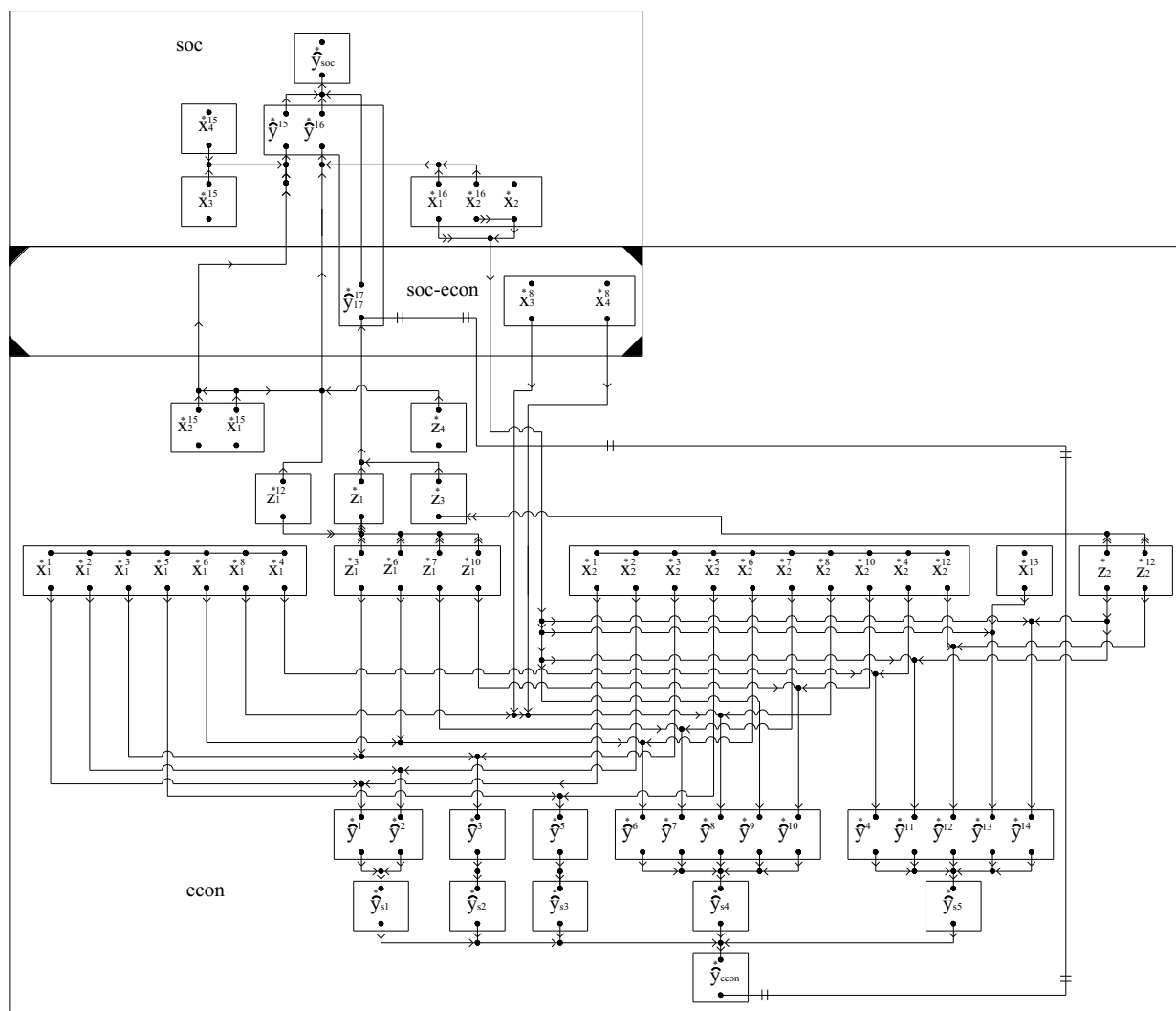
населения областей ЦФО, что идет в противовес некоторым мнениям о наличии обратной динамики в этой сфере. Соответствует положению 8, выносимому на защиту.

**В третьем параграфе третьей главы** с помощью разработанной системы индикаторов – коэффициентов гармоничности, скорректированных индексов системной сбалансированности, построенных на основе индекса системной сбалансированности, предложенного Г.Б. Клейнером, – выявлено, что экономика областей ЦФО становится все более несбалансированной. Незначительные расхождения в оценках, полученных с помощью коэффициентов гармоничности и скорректированных индексов системной сбалансированности, позволили обосновать возможность использования коэффициентов для анализа результатов функционирования ИСЭС. Результаты расчета индикаторов эффективности, показатели недостаточную эффективность использования некоторых факторов состояния и воздействия, включенных в модели связи результатов функционирования ИСЭС – областей ЦФО. В итоге это дало возможность выявить возможные причины такой неэффективности, в том числе для Тульской области. Соответствует положению 8, выносимому на защиту.

**В четвертом параграфе третьей главы** построена системная эконометрическая модель двухуровневой ИСЭС, отражающая взаимосвязи между результатами и факторами функционирования ее элементов и подсистем в виде совокупности эконометрических моделей и моделей межуровневых связей, отличающаяся от аналогичных региональных моделей набором результативных и факторных признаков; спецификациями моделей связи между их элементами и подсистемами, что дает возможность моделировать развитие ИСЭС как в целом, так и ее частей. Модель можно применить для областей других округов, но на базе их собственных статистических данных с измененными (рассчитанными по новым данным) числовыми значениями параметров производственных функций. Визуализация уровня модели представлена на рисунке 3.

Модели состояния и функционирования, входящие в состав двухуровневой модели ИСЭС, могут быть использованы для решения следующих задач:

1) Построение норматива с заданной степенью точности. В этом случае модель строится по данным для совокупности элементов, подчиненных одному и тому же элементу более высокого уровня. Например, по данным для областей ЦФО. Такие модели можно использовать для грубого прогноза результатов функционирования рассматриваемых областей.



soc – социальная подсистема;

econ – экономическая подсистема;

soc-econ – пересечение социальной и экономической подсистем;

<>> – направление зависимости факторов;

<>>> – показывает, что данный показатель входит в состав показателя, с которым он связан (например, расходы консолидированного бюджета являются составляющей общих расходов);

<|> – характеризует, что данный показатель является производным от связанного с ним индикатора (например, инвестиции в основной капитал с учетом инфляции и вычисленные по паритету покупательной способности).

Источник: составлено автором по материалам Жуков, Р.А. Социо-эколого-экономические системы: теория и практика: монография / Р.А. Жуков. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 186 с. – 500 экз. – DOI 10.12737/monography\_5b7516626665a8.43347695. – ISBN 978-5-16-014366-8.

Рисунок 3 – Модель состояния и функционирования регионов ЦФО

2) Осуществление прогноза результата функционирования области. В этом случае модель строится только по данным для выбранного региона.

3) Поиск факторов состояния и воздействия, при которых результаты функционирования объекта исследования достигали бы нормативных значений.

Полученные результаты могут служить основой для дальнейшей разработки рекомендаций органам управления уровней «округ» и «субъект федерации» с целью формирования обоснованных управленческих решений, направленных на обеспечение устойчивого, сбалансированного развития областей ЦФО и ЦФО в целом. Соответствует положению 8, выносимому на защиту.

**В четвертой главе** рассмотрены вопросы, связанные с разработкой и практической реализацией многоуровневого оптимизационного подхода к управлению развитием иерархических социально-экономических систем с использованием методов оптимизации и принятия решений.

**В первом параграфе четвертой главы** предложены концептуальный подход и принципы управления ИСЭС, которые позволили объединить основные положения теории управления технико-экономическими системами и теории менеджмента и сформировать теоретическую основу исследования. Соответствует положению 4, выносимому на защиту.

**Во втором параграфе четвертой главы** предложен многоуровневый оптимизационный подход, который дал возможность связать воедино этапы анализа данных и синтеза решений и в дальнейшем использовать его для поиска факторов, позволяющих улучшить целевые индикаторы развития ИСЭС. Основными этапами подхода являются:

1) Формализованное описание ИСЭС.

2) Идентификация результатов функционирования ИСЭС на каждом из уровней иерархии, а также факторов состояния и воздействия (управляющих факторов), характеризующих конкретные условия деятельности объекта исследования, что дает возможность изучать и моделировать состояние и функционирование элементов, подсистем ИСЭС и ИСЭС в целом через их признаковые описания.

3) Построение моделей связи между результативными признаками элементов, подсистем, уровней ИСЭС и условиями, по которым определяются нормативные (ожидаемые) значения, являющиеся целью функционирования ИСЭС.

4) Оценка частных и интегральных показателей результативности, эффективности и гармоничности функционирования ИСЭС, однотипных для каждого из иерархических уровней.

5) Отбор результативных признаков, не соответствующих нормативным значениям, которые выступают в качестве критериев удовлетворительного функционирования элементов и подсистем ИСЭС.

В качестве критерия можно выбрать условия, как показано в формуле (19)

$$\begin{aligned} y_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t) &\in \hat{y}_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t) \pm \delta_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t), \\ y_{v_p, s_q}^0(t) &\in \hat{y}_{v_p, s_q}^0(t) \pm \delta_{v_p, s_q}^0(t), \\ H_{Ap}(t) &\in \hat{H}_{Ap}(t) - \delta_{Ap}(t), \end{aligned} \quad (19)$$

где  $\delta_{v_p, s_q}^{(p-1)}(t)$ ,  $\delta_{v_p, s_q}^0(t)$  и  $\delta_{Ap}(t)$  – соответствующие нормализованные (унифицированные, приведенные к шкале от 0 до 1) после процедуры стандартизации (включает центрирование и нормирование величин) допустимые отклонения.

б) Оптимизация факторных признаков подразумевает поиск таких значений, при которых рассматриваемые результативные признаки, характеризующие функционирование элементов, подсистем, уровней и ИСЭС в целом достигали бы (находились в допустимых пределах) своих нормативов, то есть цели функционирования были бы достигнуты. В зависимости от целей управления можно сформулировать несколько типов задач в двух вариантах.

В первом варианте находятся значения факторов состояния и воздействия, подстановка которых в модели ПФ дает соответствие фактических и нормативных значений результатов функционирования ИСЭС. Интерпретировать решение такой задачи можно следующим образом.

1) На какую величину наблюдается недоиспользование (перерасход) факторов в элементе, подсистеме ИСЭС.

2) На какую величину требуется улучшить (интенсифицировать) использование факторов состояния и повысить эффективность (рационализировать) реализации факторов воздействия, чтобы норматив для элемента (подсистемы) ИСЭС был бы достигнут. Такой вариант может быть использован в случае, если выбран интенсивный путь развития ИСЭС.

Во втором варианте фактическое значение результативного признака элемента, подсистемы ИСЭС представляется в виде эконометрического уравнения, построенного по данным только для этого элемента, подсистемы. То есть, показатель результативности

и другие индикаторы включают модели двух типов. Для построения моделей первого типа используются данные только для выделенного элемента, подсистемы; для моделей второго типа – данные для совокупности элементов, подсистем, подчиненных одному и тому же элементу, подсистеме более высокого уровня иерархии.

Анализ вариантов целевых установок управления позволил сформулировать набор оптимизационных задач, которые отличаются видом целевой функции и системой ограничений.

Общая задача оптимизации для первого варианта может быть представлена в виде соотношения (20)

$$F_{v_p}(t_0) = \frac{\mu_{H_{Ap}} \cdot H_{Ap} + \mu \cdot (y_{v_p, s_q}^0(t_0) - \hat{y}_{v_p, s_q}^0(t_0)) + \sum_{i=1}^I \mu_i \cdot (y_{v_p, s_q}^{0i}(t_0) - \hat{y}_{v_p, s_q}^{0i}(t_0))}{1 + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \omega_{i,j} \cdot |\Delta x_{p,i,v_p, s_q, j}^0(t_0)| + \sum_{i=1}^I \sum_{u=1}^U \eta_{i,u} \cdot |\Delta z_{p,i,v_p, s_q, u}^0(t_0)|} \rightarrow \max, \quad (20)$$

где  $\mu_{H_{Ap}}$ ,  $\mu$ ,  $\mu_i$ ,  $\omega_{i,j}$ ,  $\eta_{i,u}$  – веса коэффициента гармоничности, интегрального, частных показателей результативности, факторов состояния и воздействия соответственно и системой ограничений, как показано в формуле (21)

$$\begin{aligned} & g_l(x_{v_p, s_q, j}^{*(p-1)}(t_0) + \Delta x_{v_p, s_q, j}^{*(p-1)}(t_0), z_{v_p, s_q, u1}^{*(p-1)}(t_0) + \Delta z_{v_p, s_q, u1}^{*(p-1)}(t_0), \\ & z_{v_p, s_q, u2}^{*(p-1)}(t_0) + \Delta z_{v_p, s_q, u2}^{*(p-1)}(t_0)) = 0. \end{aligned} \quad (21)$$

Оптимизация осуществляется по факторам  $\Delta x_{p,i,v_p, s_q, j}^0(t_0)$  и  $\Delta z_{p,i,v_p, s_q, u}^0(t_0)$ .

Весовые коэффициенты могут быть получены непосредственно при решении оптимизационной задачи по разработанному алгоритму, основанному на сочетании метода анализа среды функционирования и метода Лагранжа. Это снимает проблему придания значений весовым коэффициентам экспертным методом.

Второй вариант постановки задачи оптимизации заключается в том, что фактические значения результатов функционирования элементов и подсистем ИСЭС представляются по формуле (22)

$$y_{v_p, s_q}^{0(p-1)}(t_0) = [\tilde{y}_{v_p, s_q}^{*(p-1)}(t_0) + \varepsilon_{v_p, s_q}^{*(p-1)}(t_0)]^0, \quad (22)$$

где  $\tilde{y}_{v_p, s_q}^{*(p-1)}(t_0)$  – стандартизованное значение, вычисленное с использованием функции

$\tilde{y}_{v_p, s_q}^{*(p-1)}$ , построенной по данным только для  $v_p$ -того элемента;

$\varepsilon_{v_p, s_q}^{*(p-1)}(t_0)$  – остаток – значение случайной величины соответствующего эконометрического уравнения; «0» – унифицированные (приведенные к шкале от 0 до 1) величины.

Это дает возможность учесть в модели изменение нормативных значений при изменении факторов в рамках решения оптимизационных задач. Соответствует положениям 4 и 5, выносимым на защиту.

**В третьем параграфе четвертой главы** разработана модель управления развитием двухуровневой ИСЭС, визуализированная в виде кибернетической и процессной моделей. В основе модели управления лежит принцип обратной связи (управление по отклонениям). В контур управления включены: а) процедура вычисления нормативных значений результатов функционирования объекта управления по системной эконометрической модели ИСЭС; б) процедура решения задачи оптимизации, соответствующей целям управления; в) процедура адаптации модели ИСЭС к изменениям условий функционирования и возможным управляющим воздействиям. Соответствует положению 4, выносимому на защиту.

**В четвертом параграфе четвертой главы** для областей ЦФО и округа в целом посредством решения частных и общей задач оптимизации получены требуемые изменения факторных признаков, которые приведут к улучшению целевых индикаторов результатов функционирования ИСЭС.

В качестве базовых методов оптимизации использовались метод «interior-point», реализованный в программной среде Matlab, а также метод для решения задач первого типа без ограничений, представленный для обобщенного индикатора формулой (23)

$$y_k = \left[ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n r_{ij} \cdot C_{ip} \cdot C_{jq} \cdot \frac{x_{kp}}{K_{kp}} \cdot \frac{x_{kq}}{K_{kq}} \right]^{1/2}, \quad (23)$$

где  $y_k$ ,  $\hat{y}_k$  – фактическое и нормативные значения интегрального результативного признака;

$r_{ij}$  – парный коэффициент корреляции Пирсона, между  $i$  и  $j$  результативным признаком;

$C_{ip}$ ,  $C_{jq}$ ,  $K_{kp}$ ,  $K_{kq}$  – параметры  $i$  и  $j$  моделей (ПФ) и соответствующие мультипликаторы (акселераторы), характеризующие потери при использовании  $x_{kp}$



и  $x_{kq}$  – значений  $p$  и  $q$  факторов для подсистемы  $k$ , для  $m$  результативных и  $n$  факторных признаков.

На каждом шаге оптимизации последовательно определяется значение одного из мультипликаторов  $K_{ks}$ , при условии, что все остальные мультипликаторы равны единице. Номер мультипликатора  $s$  определяется по формуле (24)

$$s = \min_s \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{p=1}^n r_{ij} [C_{ip} \cdot C_{js} + C_{jp} \cdot C_{is}] \cdot \frac{x_{kp}}{K_{kp}} \cdot x_{ks}. \quad (24)$$

На основании проведенной оптимизации сделано несколько общих выводов.

1) В некоторых случаях не удастся полностью сбалансировать функционирование ИСЭС (например, Раздел А (по ОКВЭД 1) для Московской области).

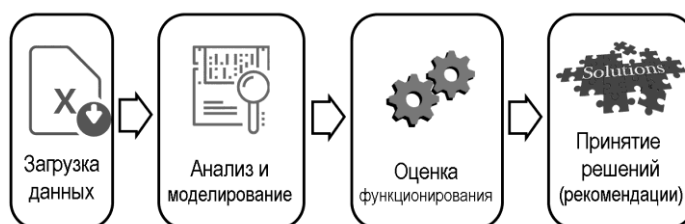
2) При сильных расхождениях между фактическими и нормативными значениями результативных признаков для выделенных элементов при оптимизации изменения факторов смещаются к границам соответствующей системы ограничений.

3) Необходима итерационная процедура оптимизации в течение нескольких циклов управления по отклонениям.

Полученные результаты позволили сформировать пятилетний план необходимых изменений факторных признаков, который может выступать в качестве рекомендации для региональных и федеральных органов управления в части разработки программ социально-экономического развития регионов, в том числе: подпрограмма кадрового обеспечения основных отраслей и секторов народного хозяйства; подпрограмма обновления основных производственных фондов предприятий – резидентов; подпрограмма поддержки инвестиционной деятельности предприятий, а также в части корректировки некоторых статей расходов консолидированных бюджетов субъектов Российской Федерации. Ограничения на возможные ежегодные изменения факторных признаков были установлены исходя из их среднегодовых цепных приростов за период 2008–2018 гг. для каждой из областей ЦФО. Для социальной подсистемы в рамках построенной модели оптимизация не требуется, за исключением Ивановской области (по индексу долголетия значение 0,977), по скорректированному индексу образования Брянской (0,990), Костромской (0,913) и Тамбовской (0,968) областей (хотя значения достаточно близки к единице). При решении соответствующих задач были предложены меры, направленные на улучшение целевых показателей. Соответствует положению 9, выносимому на защиту.

**Пятая глава** посвящена разработке программного комплекса поддержки принятия решений «ЭФРА», реализующего методологию оценки результатов функционирования ИСЭС и принятия решений (первый вариант решения задачи оптимизации), предложенных в рамках диссертационного исследования. Соответствует положению 6, выносимому на защиту.

**В первом параграфе пятой главы** представлено концептуальное описание работы программы, сочетающей в себе этапы анализа и синтеза решений, инфомодель которой представлена на рисунке 4.



Источник: составлено автором.

Рисунок 4 – Инфомодель функционирования программного комплекса «ЭФРА»

**Во втором параграфе пятой главы** представлены: схема работы, алгоритмы анализа данных и принятия решений программного комплекса «ЭФРА», в том числе с генерацией экспертных заключений, что нехарактерно для программных сред подобного типа на региональном уровне.

**В третьем параграфе пятой главы** отражены интерфейсы программных модулей и особенности их реализации, что подтверждает возможность работы с «ЭФРА» без наличия специальных навыков в области обработки и анализа данных у пользователей. «ЭФРА» может быть применен для решения разного типа задач, в том числе: эконометрического моделирования; оценки связей; разработки прогнозов; оптимизационных задач. Практическое применение «ЭФРА» как на региональном, так и муниципальном уровнях может быть связано с решением следующих задач: проведение комплексной оценки ресурсного потенциала территорий и анализа их социально-экономического развития; разработка индикаторов оценки и анализ результатов функционирования территорий; построение прогнозов социально-экономического развития; проведение аудита и разработка экспертных рекомендаций для формирования обоснованных управленческих решений. «ЭФРА» может быть использован в процессе обучения в рамках дисциплин, предусматривающих

применение информационных технологий, проведение анализа данных или осуществление экономико-математического моделирования.

### III Заключение

Предложенные в исследовании методологические подходы и методы представляют собой инструментарий для анализа функционирования иерархических социально-экономических систем и принятия согласованных и обоснованных управленческих решений на различных уровнях иерархии для элементов и подсистем ИСЭС в рамках рассмотренных классификаций. Их использование позволяет улучшать состояние и функционирование ИСЭС, повышать эффективность управления, направленное на обеспечение устойчивого, сбалансированного развития ИСЭС. Получены следующие результаты:

1) Показано, что современные подходы к анализу и управлению ИСЭС должны сочетать в себе методы экономико-математического моделирования с классическими методами теории менеджмента, теории систем и системного анализа и применения инструментальных средств поддержки принятия решений. Без использования математического аппарата проведение обоснованного анализа и реализация эффективного управления системами практически неосуществимы.

2) Предложенное формализованное описание иерархической социально-экономической системы позволило однозначно идентифицировать элемент ИСЭС, его принадлежность к определенному классу и уровню, а также его подчиненность элементу более высокого уровня. Это, в свою очередь, дает возможность построить модель состояния и функционирования ИСЭС через ее признаковые описания с внутриуровневыми и межуровневыми связями между элементами и подсистемами ИСЭС.

3) На базе разработанной методологии конструирования частных и интегральных показателей представлена система индикаторов оценки результатов, эффективности и гармоничности (сбалансированности) функционирования ИСЭС, которая позволяет проводить комплексный анализ иерархической социально-экономической системы, ее подсистем и элементов.

4) Построенная системная двухуровневая модель состояния и функционирования ИСЭС (области ЦФО – уровень «субъект федерации») и ЦФО в целом (уровень «округ»),

в состав которой вошли производственные функции линейного и степенного мультипликативного типа, выбор которых был осуществлен на базе разработанного алгоритма, позволила определить нормативные значения результатов функционирования ИСЭС, ее подсистем и элементов в рамках секторальной и пространственно-временной классификаций. Разработан метод оценки параметров агрегированных производственных функций, характеризующих результаты функционирования подсистем ИСЭС. Параметры могут быть найдены благодаря использованию плотности вероятности агрегированных случайных величин, входящих в состав эконометрических уравнений функционирования ИСЭС. Для двумерного случая получено аналитическое выражение для соответствующей плотности вероятности случайной величины.

5) На базе построенной модели проведена оценка результатов функционирования областей ЦФО и округа в целом за 2007–2018 гг. с помощью системы универсальных индикаторов, которая показала для ряда областей несоответствие фактических и нормативных (ожидаемых) результатов. Причины такого несоответствия связаны с особенностями использования факторов, включенных в модель ИСЭС. Достижение заданных результатов может быть обеспечено посредством совместного повышения эффективности использования этих факторов (интенсивное развитие) и изменения значений этих факторов (экстенсивное развитие), в том числе основных производственных фондов, численности занятых, расходов консолидированного бюджета, инвестиций и других.

6) Разработан многоуровневый оптимизационный подход к управлению иерархическими социально-экономическими системами, включающий в себя решение оптимизационных задач, соответствующих целям развития ИСЭС, ее подсистем и элементов, а также обеспечивающих согласованность целей управляющих центров. Предложена модель управления ИСЭС, визуализированная в виде кибернетической и процессной моделей.

7) Решение общей задачи оптимизации для регионов ЦФО позволило сделать вывод о том, что при сохранении текущей тенденции изменения факторов, включенных в модель состояния и функционирования ИСЭС, обеспечить сбалансированность экономики и вывести экономику на магистраль устойчивого развития возможно только частично, для отдельных регионов и некоторых видов экономической деятельности. Однако и в этом случае можно обеспечить положительные изменения в экономике регионов в рамках разработанного пятилетнего плана, который может лечь в основу

региональных программ социально-экономического развития. Резкие изменения факторов состояния и воздействия ИСЭС, значения которых получены в рамках построенной модели, могут обеспечить заданные результаты функционирования ИСЭС, но в то же время могут привести к потере ее устойчивости.

Дальнейшее развитие предложенных методологии, методик, моделей ИСЭС и управления ими, методов оценки и оптимизации функционирования ИСЭС представляется следующим. В части построения моделей состояния и функционирования ИСЭС представляется возможным расширить набор факторов, а также сформировать модели связи более сложной функциональной формы между факторами, относящимися к различным элементам и подсистемам. Это позволит уточнить разработанную модель ИСЭС, но в то же время потребует развития и расширения функциональности разработанного программного комплекса «ЭФРА», в том числе совершенствования интеллектуализации анализа данных и принятия решений за счет автоматизации выбора моделей для расчета нормативов, построения системы ограничений на основе анализа трендов при решении оптимизационных задач, а также автоматизации выбора соответствующих задачам алгоритмов.

Постепенная интеграция экономико-математических методов с классическими методами менеджмента с применением современных информационных технологий позволит улучшить и согласовать принимаемые решения на различных уровнях управления. Это приведет к структурным изменениям как общей системы управления, так и существующих бизнес-процессов, что сейчас хорошо видно на фоне бурно развивающейся цифровой экономики. Происходящие изменения потребуют трансформации и системы образования, которая должна обеспечить экономику страны специалистами в соответствии с ее потребностями. Подготовка региональных аналитиков – специалистов в области моделирования и принятий решений – позволит решить проблему использования математического аппарата в практике деятельности органов управления. Региональные аналитики будут являться тем связующим элементом, который обеспечит интеграцию методов математики, экономики, менеджмента, целью которой является обеспечение устойчивого развития субъектов Российской Федерации и повышение качества жизни населения.

**IV Список работ, опубликованных по теме диссертации***Монографии:*

1. Жуков, Р.А. Теоретические и методологические основы повышения эффективности функционирования систем государственного управления использованием земель сельскохозяйственного назначения в России : монография / С.Д. Журавлев, Р.А. Жуков, В.Д. Киселев. – Тула : Тульский филиал РАНХиГС, 2011. – 212 с. – 300 экз. – ISBN 978-5-88422-471-1.
2. Жуков, Р.А. Социо-эколого-экономические системы: теория и практика : монография / Р.А. Жуков. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 186 с. – 500 экз. – ISBN 978-5-16-014366-8.

*Публикации в рецензируемых научных изданиях,  
определенных ВАК при Минобрнауки России:*

3. Жуков, Р.А. Математическая модель оценки эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения / С.Д. Журавлев, Р.А. Жуков // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. – 2011. – № 3 (27). – С. 9-24. – ISSN 1999-2645.
4. Жуков, Р.А. Применение фундаментального подхода к управлению социально-экономическим развитием территорий / Р.А. Жуков // Научное обозрение. – 2014. – № 4. – С. 272-274. – ISSN 1815-4972.
5. Жуков, Р.А. Проблемы оценки результативности использования земель сельскохозяйственного назначения / Р.А. Жуков // Экономика сельского хозяйства России. – 2014. – № 3. – С. 44-49. – ISSN 2070-0288.
6. Жуков, Р.А. Внедрение программных экономико-математических комплексов в практику деятельности органов государственного управления / Р.А. Жуков // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 9-3. – С. 555-559. – ISSN 1812-7339.
7. Жуков, Р.А. Оценки гармоничного развития территорий / Р.А. Жуков, Е.В. Манохин, Е.А. Назырова, М.В. Васина // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2016. – № 1-1. – С. 327-335. – ISSN 2071-6184.

8. Жуков, Р.А. Особенности управления социо-эколого-экономическими системами в регионах ЦФО / Р.А. Жуков, Е.В. Манохин, С.В. Городничев // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2016. – № 2-1. – С. 333-340. – ISSN 2071-6184.

9. Жуков, Р.А. Оценка эффективности сельскохозяйственного производства на примере Тульской области / Р.А. Жуков // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2016. – № 3-1. – С. 235-240. – ISSN 2071-6184.

10. Жуков, Р.А. Некоторые аспекты гармоничного развития регионов ЦФО / Р.А. Жуков, Г.В. Кузнецов, Е.В. Манохин, С.В. Городничев // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2016. – № 3-1. – С. 319-328. – ISSN 2071-6184.

11. Жуков, Р.А. Оценка объема платных услуг населению как составляющей экономики регионов на основе экономико-математического моделирования / Р.А. Жуков // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. – 2017. – № 2. Том 19. – С. 58-68. – ISSN 1998-992X.

12. Жуков, Р.А. Некоторые аспекты оценки качества жизни и управления в социо-эколого-экономических системах: регионы Центрального федерального округа / Р.А. Жуков // Региональная экономика: теория и практика. – 2017. – № 7 (442). Том 15. – С. 1261-1275. – ISSN 2073-1477.

13. Жуков, Р.А. К вопросу об оценке индекса человеческого развития (индекса развития человеческого потенциала) в регионах Центрального федерального округа Российской Федерации / Р.А. Жуков, Е.В. Манохин, Е.Б. Мясникова // Муниципальная академия. – 2017. – № 3. – С. 102-111. – ISSN 2304-831X.

14. Жуков, Р.А. Влияние инноваций, труда и капитала на объем валового регионального продукта как индикатора устойчивого развития: регионы Центрального федерального округа и Тульская область / Р.А. Жуков, В.А. Поляков, М.В. Васина // Научные исследования и разработки. Экономика. – 2018. – № 5. Том 6. – С. 4–9. – ISSN 2587-9111.

15. Жуков, Р.А. Формирование системы взглядов на процесс управления устойчивым развитием региона / Р.А. Жуков, В.А. Поляков, М.В. Васина, Д.В. Соболева // Научные исследования и разработки. Экономика. – 2018. – № 6. Том 6. – С. 48-53. – ISSN 2587-9111.

16. Жуков, Р.А. Некоторые задачи оптимизации управления социо-эколого-экономическими системами / Р.А. Жуков // Чебышевский сборник. – 2019. – № 1 (69). Том 20. – С. 370-388. – ISSN 2226-8383. (*Scopus Q3*)

17. Жуков, Р.А. Оценка эффективности функционирования социально-экономических систем на основе производственных функций: новый подход / Р.А. Жуков // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3. Экономика. – 2019. – № 3. Том 21. – С. 71-82. – ISSN 2713-1599.

18. Жуков, Р.А. Оценка эффективности функционирования иерархических социально-экономических систем / Р.А. Жуков // Мягкие измерения и вычисления. – 2019. – № 12. Том. 25. – С. 56-64. – ISSN 2618-9976.

19. Жуков, Р.А. Сравнительный анализ использования информационно-коммуникационных технологий в регионах центрального федерального округа как фактора развития цифровой экономики / С.В. Прокопчина, А.Б. Бабаев, Р.А. Жуков [и др.] // Мягкие измерения и вычисления. – 2020. – № 3. Том 28. – С. 71-80. – ISSN 618-9976.

20. Жуков, Р.А. Management efficiency assessment of the regional economy in the Central federal district and Tula region = Оценка эффективности управления региональной экономикой в Центральном федеральном округе и Тульской области / Р.А. Жуков, Е.В. Манохин, Е.Б. Мясникова // Мягкие измерения и вычисления. – 2020. – № 5. Том 30. – С. 5-20. – ISSN 618-9976.

21. Жуков, Р.А. Многоуровневый оптимизационный подход к управлению развитием иерархических социально-экономических систем / Р.А. Жуков // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3. Экономика. – 2020. – № 3. Том 22. – С. 17-29. – ISSN 2713-1599.

22. Жуков, Р.А. Подход к оценке функционирования иерархических социально-экономических систем и принятия решений на базе программного комплекса «ЭФРА» / Р.А. Жуков // Бизнес-информатика. – 2020. – № 3. Том 14. – С. 82-95. – ISSN 1998-0663. (*RSCI*)

23. Жуков, Р.А. Оценка сбалансированности функционирования иерархических социально-экономических систем / Р.А. Жуков // Journal of Applied Economic Research – Вестник Уральского федерального университета. – 2021. – № 1. Том 20. – С. 84-109. – ISSN 2712-7435. (*RSCI*)

24. Жуков, Р.А. Метод оценки результатов функционирования иерархических социально-экономических систем на основе агрегированной производственной функции



/ Р.А. Жуков // Экономика и математические методы. – 2021. – № 3. Том 57. – С. 17-31.  
– ISSN 0424-7388. (RSCI)

*Публикации в других научных изданиях:*

25. Жуков, Р.А. Economic Assessment of the Development Level of the Central Federal District Regions of the Russian Federation: Econometric Approach = Экономическая оценка уровня развития регионов Центрального федерального округа Российской Федерации: эконометрический подход / R.A. Zhukov // Statistika: Statistics and Economy Journal. – 2018. – № 1. Volume 98. – P. 53-68. – ISSN 0322-788X. (Scopus Q3)

26. Жуков, Р.А. Model of Socio-Ecological and Economic System : the Central Federal District Regions of the Russian Federation = Модель социо-эколого-экономической системы : регионы Центрального федерального округа Российской Федерации / R.A. Zhukov // Statistika: Statistics and Economy Journal. – 2018. – № 3. Volume 98. – P. 237-261. – ISSN 0322-788X. (Scopus Q3)

27. Жуков, Р.А. Скорректированный индекс человеческого развития и его применение для управления устойчивым развитием регионов Центрального федерального округа на примере Тульской области / Р.А. Жуков, С.Д. Журавлев, Д.В. Соболева // Региональная экономика: теория и практика. – 2018. – № 10 (442). Том 16. – С. 1958-1975. – ISSN 2073-1477.

28. Жуков, Р.А. Некоторые аспекты оценки оборота предприятий как составляющей экономики регионов / Р.А. Жуков, Г.В. Кузнецов, Е.В. Манохин // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2018. – № 1-1. – С. 14-24. – ISSN 2071-6184.

29. Жуков, Р.А. Некоторые аспекты экономической оценки устойчивого развития регионов Центрального федерального округа и Тульской области / Р.А. Жуков, В.А. Поляков, М.В. Васина // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2018. – № 3-1. – С. 3-11. – ISSN 2071-6184.

30. Жуков, Р.А. Оптимальное управление как фактор устойчивого развития промышленных социально-экономических систем / Р.А. Жуков, В.А. Поляков, М.В. Васина [и др.] // Самоуправление. – 2018. – № S1. – С. 64-66. – ISSN 2221-8173.

31. Жуков, Р. Comparative Analysis of Results of Assessing the Central Federal District's Regions' Economic Development by Using Linear and Non-linear Models = Сравнительный анализ результатов оценки экономического развития регионов Центрального федерального округа с использованием линейных и нелинейных моделей / R. Zhukov, G. Kuznetsov, S. Gorodnichev [et al.] // Statistika: Statistics and Economy Journal. – 2019. – № 3. Volume 99. – P. 272-286. – ISSN 0322-788X. (*Scopus Q3*)
32. Жуков, Р.А. К вопросу об устойчивом развитии горнопромышленных регионов / Р.А. Жуков, Н.П. Иватанова, М.В. Васина, Г.В. Кузнецов // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2019. – № 1. – С. 344-360. – ISSN 2218-5194.
33. Жуков, Р.А. Одноуровневое управление социально-экономическими системами на основе производственной функции / Р.А. Жуков // Актуальные проблемы экономики и права. – 2019. – № 2. Том 13. – С. 1162-1173. – ISSN 1993-047X.