

Экономико-математические методы и модели Economic & mathematical methods and models

Научная статья

УДК 51-7, 001

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18610>

EDN: <https://elibrary/ZSKTMU>



КРИТИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

С.Е. Щепетова  

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
Москва, Российская Федерация

 sv.shchepetova@gmail.com

Аннотация. По мере усложнения организационных, экономических, институциональных, технических и иных условий жизнедеятельности человечества – как следствие усложнения объектов управления и требующих решения задач – развиваются теория, методология и инструментарий моделирования (в том числе математического). Однако до сих пор в их развитии не уделялось достаточного внимания вопросам создания интеграционного методологического основания для построения комплекса моделей, в совокупности позволяющих достигать эффекта модели «белого (прозрачного) ящика» исследуемых кибер-социо-экономических систем, понимать взаимосвязи их строения, свойств, процессов, результатов и условий жизнедеятельности, исследовать долгосрочные и опосредованные последствия принимаемых организационных и управлеченческих решений. Целью проводимого исследования является развитие такого методологического основания с учетом когнитивно-психологических особенностей индивидов. В статье представлены этапы системного моделирования, систематизированы возникающие на них проблемы и отражено их влияние на результаты моделирования, предложены методологические рамки построения и оценивания комплекса моделей кибер-социо-экономической системы. Основанием полученных результатов послужили общая теория систем и теория научного познания, методология моделирования, системные принципы мышления, организации и управления. Новизна предложений состоит в реализации принципа комплексирования моделей на основе трехосного каркаса системного описания объекта управления и в систематизации критических проблем моделирования в разрезе укрупненных шагов базовой методики системного исследования. Это позволяет вооружить исследователей методологическими рамками системного описания управляемых социально-экономических систем посредством комплекса моделей и обратить внимание на критические моменты, которые могут негативно повлиять на адекватность, эффективность, целесообразность, согласованность и полезность моделей комплекса. Реализация предложенного подхода к комплексному моделированию позволит повысить качество обоснования решений организационного и управляющего характера. Разработка детальных методических рекомендаций с учетом специфики различных социально-экономических систем (в зависимости от принадлежности к определенному уровню экономики, от видов и масштабов деятельности и других характеристик) должна стать продолжением исследовательских изысканий в этом направлении.

Ключевые слова: управляемые системы, социально-экономические системы, когнитивно-психологические особенности исследователя, моделирование, системное моделирование, комплексное моделирование, адекватность моделей системного комплекса, эффективность моделей системного комплекса

Благодарности: Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в

рамках государственного задания «Разработка методологии и методики системного моделирования и прогнозирования социально-экономических процессов на базе синтеза технологий эконометрического, агентно-ориентированного и когнитивно-интеллектуального моделирования» (XLFZ-2025-0162).

Для цитирования: Щепетова С.Е. (2025) Критические этапы комплексного моделирования социально-экономических систем в целях прогнозирования. *π-Economy*, 18 (6), 177–203. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18610>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18610>



CRITICAL PROBLEMS OF COMPLEX MODELING OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS FOR FORECASTING PURPOSES

S.Ye. Shchepetova 

Financial University under the Government of the Russian Federation,
Moscow, Russian Federation

 sv.shchepetova@gmail.com

Abstract. As the organizational, economic, institutional, technical and other conditions of human life become more complex, and as a consequence of the increasing complexity of management objects and problems requiring solutions, the theory, methodology and tools of modeling (including mathematical) are developing. However, until now, in their development, insufficient attention has been paid to the issues of creating an integrated methodological basis for constructing a set of models that, taken together, allow achieving the effect of a “white (transparent) box” model of the studied cyber-socio-economic systems, understanding the interrelations of their structure, properties, processes, results and conditions of life, and investigating the long-term and indirect consequences of organizational and managerial decisions. The development of such a methodological basis, taking into account the cognitive and psychological characteristics of individuals, is the goal of the research being conducted. The stages of system modeling, systematizes the problems encountered during these stages, and reflects their impact on modeling results are presented in this article. It also proposes a methodological framework for constructing and evaluating a set of cyber-socio-economic system models. The results are based on general systems theory and epistemology, modeling methodology, and systems principles of thinking, organization, and management. The novelty of the proposals lies in the implementation of the principle of model integration based on a three-axis framework for the system description of the control object and in the systematization of critical modeling problems in the context of the steps of the basic methodology of systems research. This allows to give researchers to equip themselves with a methodological framework for the systemic description of controlled socio-economic systems through a set of models and to draw attention to critical issues that may negatively affect the adequacy, effectiveness, expediency, consistency and usefulness of the models of the system complex. The implementation of the proposed approach to integrated modeling will improve the quality of substantiation of organizational and management decisions. The development of detailed methodological recommendations, taking into account the specifics of various socio-economic systems (depending on belonging to a certain level of the economy, on the types and scale of activities and other characteristics), should be a continuation of research in this direction.

Keywords: controlled systems, socio-economic systems, cognitive-psychological characteristics of the researcher, modeling, systems modeling, complex modeling, adequacy of models of the system complex, effectiveness of models of the system complex

Acknowledgements: The article was prepared based on the results of research that was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment “Development of a methodology and techniques for system modeling and forecasting of socio-economic processes based on the synthesis of econometric, agent-based and cognitive-intellectual modeling technologies” (XLFZ-2025-0162).



Citation: Shchepetova S.Ye. (2025) Critical problems of complex modeling of socio-economic systems for forecasting purposes. π -Economy, 18 (6), 177–203. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18610>

Введение

Актуальность исследования

Современная теория и практика моделирования социально-экономических систем (СЭС) обширна как в части используемых методов и строящихся моделей, так и в части их назначения и областей применения [1–3]. Объектами моделирования выступают предприятия (осуществляющие производственную деятельность, выполняющие работы и/или оказывающие услуги, занимающиеся торгово-посредническими операциями, логистикой, перевозками и т.д.), территориальные образования (регионы, городские поселения, муниципальные образования и т.п.), общественные организации и иные объединения людей, представленные в современном экономическом ландшафте. Что объединяет эти объекты моделирования? Все они представляют собой СЭС разной степени сложности, однако обладающие: общесистемными свойствами; свойствами, характерными для систем социально-экономической сферы; свойствами, характерными для систем со сходными атрибутами (например, вид и масштаб деятельности, культурный код и организационная структура, форма собственности и стиль управления); свойствами, отражающими специфику конкретной организационной сущности. Как системы они обладают эмерджентными свойствами (по определению не сводимыми к свойствам составляющих их элементов), которые теряются из вида при узком и/или статичном фокусе исследования.

СЭС представляют собой самый сложный на сегодняшний день класс систем с точки зрения их моделирования. Многие существенные аспекты их организации, управления, функционирования и развития, которые важно учесть при моделировании, имеют качественный характер, трудно определимы, измеримы и формализуемы, зависят от индивидуального и группового поведения и, как следствие, порождают так называемые слабоструктурируемые задачи.

Качественный прогноз в широком понимании как научно-обоснованное предвидение будущего (процесс и его результат) выступает основной, хотя и не всегда явной целью всякого моделирования. Однако обеспечение качественного и аргументированного прогноза динамики СЭС на основе понимания генезиса их эмерджентных свойств с учетом взаимовлияния различных факторов, к тому же в динамично изменяющихся условиях, представляет собой все еще не до конца теоретически, методологически и инструментально проработанную задачу, несмотря на значительный научный задел по вопросам моделирования. Очевидно, что наличие огромного числа узкопрофильных моделей без теоретико-методологического инструментария их системного согласования приводит к эклектичным и часто противоречивым представлениям о СЭС, а значит, к рассогласованию практических усилий и мер.

Очевидно, что распространение выводов, вытекающих из моделирования конкретных организационных сущностей, на СЭС как род систем нужно еще доказывать, верифицировать и валидировать¹. Выводы, полученные применительно к СЭС как таковым, будут правомерны и для отдельных их представителей. В этом контексте научный и практический интерес представляют методологические вопросы моделирования строения, функционирования и развития сложных систем для повышения адекватности, предсказательности и согласованности разрабатываемых моделей, а также отражения влияния на процесс и результаты моделирования специфики СЭС.

Литературный обзор

Моделирование возникло и развивается в человеческом сообществе как инструмент научно-практической деятельности для совершенствования когнитивных, коммуникативных, социально-экономических и иных процессов во всех их разновидностях с использованием

¹ Тем не менее это очевидное утверждение часто остается за кадром интерпретаций результатов моделирования.



внешних средств визуализации. Под термином «моделирование» понимаются и процессы построения моделей систем разных типов, и процессы изучения систем на основе моделей². Поэтому на сегодняшний день предложены различные виды и подходы к построению моделей, обоснованы разнообразные методы моделирования (в том числе математического), разработано обширное множество моделей для самых разнообразных научно-практических задач.

Вопросам моделирования посвящены многочисленные публикации. Если описывать укрупненно, то можно выделить несколько основных направлений построения моделей. Охарактеризуем некоторые из них.

Наиболее популярны и описаны в публикациях эконометрические модели³ [4, 5]. Ветвь построения эконометрических моделей связана с исследованиями зависимостей различных факторов, выявлением (при наличии) трендов в наблюдаемых массивах данных и прогнозированием точечных и интервальных значений интересующего исследователя показателя. Работы в этом направлении связаны с обоснованием спецификаций эконометрических моделей (математических описаний взаимосвязей факторов в исследуемой предметной сфере) [6, 7], с разработкой тестов для оценки адекватности и эффективности эконометрических моделей [8–10], с разработкой методов и приемов обеспечения наилучшего соответствия модельных значений имеющимся эмпирическим данным и повышения точности прогноза [11–14]. Отдельные работы посвящены аналогичным вопросам применительно к системам одновременно решаемых эконометрических уравнений [15].

Однако в основной своей массе работы, содержащие эконометрические модели, посвящены задачам исследования конкретных аспектов СЭС, оставляя за пределами фокуса внимания многоаспектные системные взаимосвязи во времени и в пространстве, тем более контурные. Между тем сколь угодно точная аппроксимация эмпирических данных при построении эконометрической модели не гарантирует точность и корректность прогноза. Так, хорошо известен факт, что использование полиномов в таких моделях позволяет точно описать любое множество заданных точек, но не пригодно для расчета прогнозных значений. Сомнительные выводы и прогнозы могут быть сделаны и в случае так называемых ложных корреляций. Поэтому в целом за построением эконометрической модели, констатирующей наличие корреляционной зависимости факторов с определенной теснотой связи, должен следовать этап моделирования, объясняющий природу и генезис этой зависимости на основе глубинного понимания строения, функционирования и развития изучаемой системы.

Следующими по популярности идут имитационные модели⁴: модели системной динамики [16], дискретно-событийные модели [17], агентно-ориентированные модели [18]. Ветвь построения имитационных моделей направлена на организацию и проведение научных экспериментов, позволяющих исследовать различные сценарии «если – то» [19–21]. Построение имитационных моделей выбирается как альтернатива поиску сложных аналитических зависимостей факторов, объясняющих поведение СЭС⁵ [22, 23]. Поведение сложных систем описывается через взаимодействие составных частей системы, наложение различных событий или взаимовлияние отдельных аспектов ее деятельности. Симулируется поведение СЭС в компьютерных программах, позволяющих одновременно вычислять сотни уравнений. Требуемая стохастическая составляющая привносится в модельные эксперименты с использованием метода Монте-Карло. При

² Лопатников Л.И. (1996) Экономико-математический словарь, М.: АВФ.

³ Айвазян С.А. (2001) Основы эконометрики, М.: ЮНИТИ-ДАНА; Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс, учебник, М.: Дело; Носко В.П. (2011) Эконометрика, 1: Эконометрика, учебник, М.: Издательский дом «Дело»; Вербик М. (2008) Путеводитель по современной эконометрике, М.: Научная книга; Ивантер В.В., Буданов И.А., Сутягин В.С. (2007) Прикладное прогнозирование национальной экономики, М.: Экономист.

⁴ Алиев Т.И. (2009) Основы моделирования дискретных систем, учебное пособие, СПб.: СПбГУ ИТМО; Боев В.Д., Кирик Д.И., Сыпченко Р.П. (2011) Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования, СПб.: ВАС; Коровин Д.И. (2022) Компьютерное моделирование экономических систем, учебное пособие, М.: КноРус.

⁵ Иванус А.И. (2020) Системные аспекты методов имитационного моделирования, М.: Прометей.



построении агентно-ориентированных моделей [24–28] изучается еще и влияние правил поведения активных элементов системы (в зависимости от состояния или наступления определенных событий) на ее динамику и системные эффекты. Для СЭС – и правила «выбора». С моделями компьютерной симуляции сейчас срастается и ветвь построения равновесных моделей [29–31], направленных на установление и визуализацию результатов взаимодействия разнонаправленных сил и тенденций, управление стохастическими равновесными процессами.

Построение имитационных моделей трудно представить без использования «системного языка», поэтому требуется разработка стандарта модельного описания [32–34]. Кроме того, имитация многообразных СЭС разных уровней, масштабов и видов деятельности должна обслуживать не только частные научно-практические интересы. Ведь наибольший интерес представляют выявление и объяснение генезиса общих законов функционирования и развития СЭС, а также упорядоченное описание общих и частных результатов имитационного моделирования, а для этого важно обеспечить непротиворечивость и согласованность всех компьютерных симуляций СЭС на основе системного шаблона.

Ветвь построения моделей машинного обучения и нейронных сетей⁶ [35–39] направлена на компьютерную имитацию когнитивных процессов мозга человека в части обучения на больших массивах данных, установления связей между факторами, а также прогнозирования и выполнения иных псевдокогнитивных функций на основе прогноза. Отношение специалистов к возможностям и рискам развития этого направления моделирования неоднозначное и требует серьезного доказательного обсуждения. В этой связи методологическое переосмысление данного направления на фундаменте системной парадигмы также представляет научный интерес.

Все большую востребованность приобретает ветвь построения когнитивных моделей⁷ [40–45]. По сути, построение моделей для выявления семантического ядра и семантического тезауруса как хранилища смыслов [46–48] должно предварять любые научные исследования. Эта ветвь связана с построением моделей для выявления смыслов и формирования новых знаний как на уровне отдельного индивида, так и на уровнях отдельных групп или сообщества в целом. Представляется, что развитие методов когнитивного моделирования в перспективе позволит человечеству преодолеть коммуникационные барьеры, обусловленные различиями в мировоззрении и в соотносимых с терминами и словами смыслах.

Наиболее зрелыми ветвями методологии моделирования являются классические модели исследования операций⁸. Построение оптимизационных моделей [49–52] направлено на обоснование наилучшего выбора в рамках определенной системы предпочтений из множества допустимых альтернатив с учетом ограничений. Построение игровых моделей⁹ [53–56] направлено на выбор оптимальных стратегий в условиях неопределенности или риска, а также при условии влияния на результат выбора других акторов. До сих пор продолжают развиваться модели календарно-сетевого планирования и методы оптимизации на графах¹⁰ [57–59]. Они призваны помочь в обосновании лучшего способа организации деятельности, в согласовании процессов, в координации деятельности их участников, в распределении ресурсов.

Несмотря на то, что перечень моделей и методов моделирования можно продолжать и детализировать, ограничимся приведенными примерами разветвления методологии моделирования. Отметим, что, несмотря на ее бурное за последнее столетие развитие, на рост многообразия возможностей модельно-инструментальной поддержки различных областей деятельности

⁶ Николенко С., Кадурин А., Архангельская Е. (2018) *Глубокое обучение*. СПб.: Питер; Платонов А.В. (2025) *Машинное обучение*, учебное пособие для вузов, М.: Юрайт.

⁷ Канеман Д. (2004). Контуры ограниченной рациональности: возможность интуитивных суждений и выбора. *Эковест*, 4 (4), 540–592; Баксанский О.Е. (2024) *Моделирование в науке: Когнитивные модели и интеллект*, М.: Ленанд.

⁸ Кремер Н.Ш., Путко Б.А., Тришин И.М., Фридман М.Н. (2024) *Исследование операций в экономике* (под ред. Н.Ш. Кремера), учебник для вузов, М.: Юрайт, 2024.

⁹ Лабскер Л.Г., Ященко Н.А. (2020) *Теория игр в экономике, финансах и бизнесе*, М.: КноРус.

¹⁰ Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. (2001) *Теория графов в управлении организационными системами*, М.: Синтег.

человека и на несомненные достижения в решении отдельных задач, формирование качественного прогноза в виде научно-обоснованного и согласованного на всех уровнях и во всех ракурсах предвидения будущего СЭС и отдельных индивидов пока остается не решенной задачей [60]. Более того, наблюдаются признаки усугубления проблемы предвидения и объяснения будущего как на уровне отдельного человека, так и на уровнях организаций, стран и человеческой цивилизации в целом. С одной стороны, недостаточно исследовано влияние когнитивно-психологических особенностей субъекта моделирования на процесс и результаты моделирования, недостаточно полно и систематически описаны критические этапы моделирования СЭС и связанные с ними проблемы, не создано системообразующего каркаса для объединения модельных исследований. С другой стороны, развитие методов и инструментария компьютерного моделирования способствует бурному развитию научно-технического прогресса. Изменяя все более и быстрее условия своего существования, человек подрывает саму основу процесса познания и предвидения, которые базируются на существовании законов и закономерностей строения, функционирования и развития исследуемых систем, на сохранении (по крайней мере на период прогнозирования) трендов и обуславливающих их факторов и условий, на воспроизводимости условий жизнедеятельности и результатов модельных экспериментов, на увязывании знаний и опыта в целостно-согласованную структурированную картину.

Цель исследования

Цель исследования – разработка теоретико-методологического основания формирования согласованного на всех уровнях и во всех ракурсах модельного описания строения и поведения СЭС для аргументированного предвидения будущего.

Задачами поставлено:

- 1) формирование контуров комплексирования моделей как подхода к моделированию сложных систем в сравнении с подходом детализации/ усложнения моделей;
- 2) этапизация и обоснование теоретико-методологических оснований построения комплекса моделей СЭС;
- 3) структуризации критических проблем комплексного моделирования СЭС.

Методы и материалы

Исследование базируется на основных положениях теории систем и прикладного системного анализа в социально-экономической сфере¹¹ [61–68]. Они проецируются на методологию моделирования сложных систем. В фокус исследования поставлен «наблюдатель» (ключевое понятие при моделировании систем). Обоснование выбора пути комплексирования моделей при изучении сложных систем (вместо усложнения и детализации строящихся моделей) и выявление его особенностей выводятся логическими рассуждениями, соотносящими ограниченность когнитивных возможностей человека и целесообразность сохранения за человеком для развития человеческого рода функций познания, творчества и выбора. Этапы моделирования СЭС соотносятся с процессом познания, рассматриваемом на уровне индивида. При формировании оснований построения комплекса моделей СЭС учитываются идеи описания системы в пространственно-временных координатах [69], тетрадного представления взаимодействия подсистем [70], контурного межуровневого и межвременного взаимовлияния системы и личности [71]. Проблемы моделирования упорядочиваются в разрезе шагов базовой методики системного анализа¹².

¹¹ Кучкаров З.А. (2006) *Методы концептуального анализа и синтеза в теоретическом исследовании и проектировании социально-экономических систем, 2: Альбом концептуальных систем*, М.: Концепт.

¹² Дробьбыцкий И.Н. (2007) *Системный анализ в экономике*, М.: Финансы и статистика.



Результаты и обсуждение

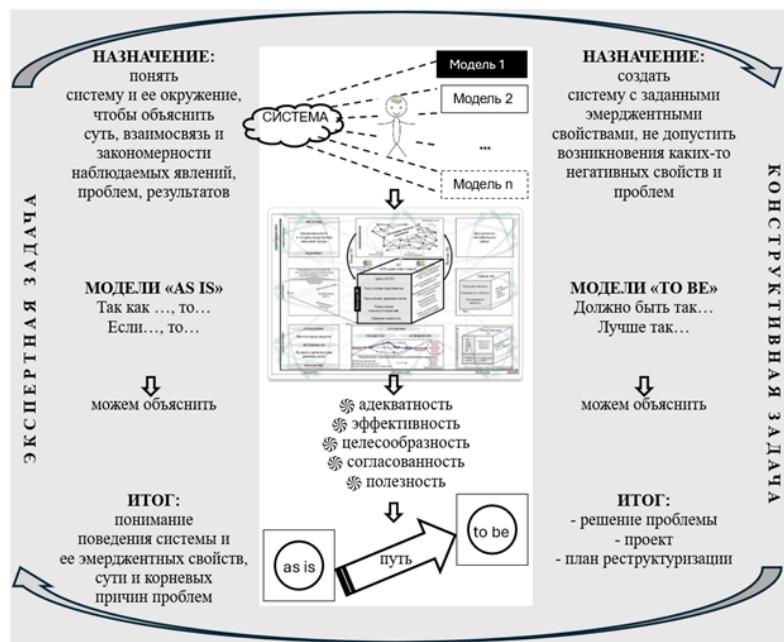
Подходы к моделированию СЭС: усложнение vs комплексирование моделей

Моделирование является неотъемлемой составляющей жизнедеятельности каждого человека, даже если он не занимается моделированием осознанно. Мозг человека отражает все, что он воспринимает через органы чувств, а также результаты когнитивной деятельности в виде упрощенных умозрительных конструкций, содержащих субъективно существенные признаки, характеристики и свойства познаваемого (что важно: не все и не объективно выделенные). Это происходит вследствие ограниченных возможностей человека по осознанному восприятию и хранению больших объемов информации, по осознанному выявлению в больших массивах информации структур, трендов и контуров взаимосвязей, по осознанному извлечению смыслов и формированию знаний на основе неполных, неточных, разнородных и часто противоречивых характеристик объектов, проектов, процессов, сред и явлений. В процессе жизни человека изменяются как само ментальное пространство, так и применяемые для его формирования подходы, методы и инструменты. Все эти процессы направлены на выявление законов и закономерностей нашего мира, на улучшение ясности понимания контуров причинно-следственных связей и сетей взаимовлияния (а значит, влияющих на результаты деятельности системы факторов и условий), на обоснование выбора и поведения, на повышение качества прогноза (его точности, целесообразности и других характеристик).

В настоящее время в связи с кратным увеличением вычислительных мощностей многие исследователи и разработчики программ все меньше и меньше задумываются об эффективности разрабатываемых моделей и алгоритмов, включая в них все больше переменных и параметров, отражая все больше зависимостей между различными факторами, приближая их по сложности состава и структуры к исследуемым системам. Однако этот путь порождает целый спектр негативных последствий и ловушек для развития самого человека, помимо того, что все больше и больше ресурсов планеты расходуется на расширение вычислительных мощностей и технологических сетей, а не на жизнедеятельность социума. Так, например, становятся чрезвычайно сложными и трудозатратными процессы верификации и валидации моделей, а значит, увеличивается вероятность пропуска ошибок в их спецификациях. Все более сложными становятся и процессы интерпретации результатов моделирования, извлечения новых знаний об объекте исследования. Усложнение разрабатываемых моделей и неспособность пользователей таких моделей разобраться в их допущениях, ограничениях, областях применимости, наконец, в содержании приводят к тому, что человек вынужден безосновательно доверять результатам использования таких моделей. Идя по этому пути, человек рано или поздно станет придатком к вычислительным мощностям, если останется существовать как вид.

Альтернативой является принципиально иной подход, при котором разум человека выступает верификатором и валидатором каждого шага построения моделей сложных СЭС, их соединения, интеграции в согласованный комплекс, позволяющий именно «в голове» человека (хотя и с использованием внешних средств визуализации) соединить все существенные признаки исследуемого феномена и обобщить их в целостную картину. Такой подход далее будем называть комплексным моделированием (рис. 1).

Его назначение – объединить в единый комплекс различные виды моделей, отражающих строение, функционирование и развитие СЭС. В этом комплексе должны быть согласованы интересующие исследователя ракурсы СЭС, уровни детализации, характеристики и т.д. Комплекс должен позволять прогнозировать динамику и оптимизировать все аспекты жизнедеятельности СЭС, учитывая все *существенные* внутренние и внешние взаимосвязи и взаимообусловленности, но опираясь при этом на посильные для критического восприятия модельные описания. Комплексное моделирование, как показано на рис. 1, должно способствовать сочетанию возможностей представления как отдельных аспектов СЭС, так и ее как целого, обладающего



Источник: составлено автором

Рис. 1. Комплексирование как альтернатива усложнению моделей в контексте методологии системных исследований

Fig. 1. Complexing as an alternative to model complication in the context of systems research methodology

эмерджентными свойствами, – другими словами, формировать в цикле решения экспертных и конструктивных задач собранные для заданных целей исследования модельные конструкции, словно детали для конструктора ЛЕГО.

Очевидно, что необходимость построения комплекса моделей обусловлена в первую очередь ограниченностью мозга человека и когнитивных процессов познания себя и окружающего мира. Поэтому критически важны такие способности человека, как умение строить комплексные модели, реализуя принципы системных исследований, критически анализировать все возникающие на этом пути ситуации и «развилки», осознанно организовывать и проводить модельные эксперименты или строить модели, разумно и по возможности объективно интерпретировать и использовать результаты такого моделирования в своей жизнедеятельности. Эти способности будут способствовать расширению горизонта понимания человеком системных связей во времени и в пространстве, углублению, уточнению и детализации знаний об объекте исследования, согласованию отдельных аспектов мировоззрения человека (его картины мира), аккумуляции знаний именно в его голове, а значит, развитию его мозга и организма в целом. Поэтому комплексное моделирование поможет повышать разумность и духовность конкретных индивидов, а при росте числа людей, обладающих такими способностями, идти по пути гармоничного развития человека и технологий. Таким образом, выбор между усложнением и комплексированием моделей – принципиально важный момент для дальнейшего развития методологии моделирования.

Комплексирование как альтернатива усложнению моделей сложных СЭС, что показано на рис. 1, предполагает отражение в каждой отдельной модели комплекса ограниченного числа существенных с точки зрения решаемой задачи свойств (признаков) объекта моделирования для достижения адекватности и эффективности конкретной модели (локальной адекватности) и системное согласование составляющих этих моделей по определенным методологическим правилам («связывание моделей в единое целое») для достижения адекватности и эффективности всего комплекса (системной адекватности). При этом при решении задач экспертного типа объектом моделирования выступают реальные системы, а задач конструкторского типа – системы,



создаваемые воображением человека. Модельный комплекс должен связывать модели “as is”, “to be” и модели перехода от состояния “as is” к состоянию “to be”.

Как известно, модель считается адекватной, если на ее основе можно сделать правильные выводы относительно объекта изучения. Для обеспечения адекватности модели она должна учитывать все существенные с точки зрения решаемой задачи свойства объекта. Модель эффективна, если она обладает точностью, необходимой и достаточной для целей исследования.

Модельный комплекс СЭС будем считать адекватным, если он позволяет корректно объяснить генезис проявляемых эмерджентных свойств системы и ее поведение во внешней среде на основе понимания тетрадных структур системы и среды хозяйствования в виде взаимообусловленных сущностей объектного, средового, процессного и проектного типов. Модельный комплекс СЭС будем считать эффективным, если отраженная в нем информация необходима и достаточна для достижения цели моделирования, веской аргументации и корректной интерпретации полученных результатов. Построение комплекса моделей с учетом иерархии систем, с одной стороны, и тетрадных структур «объект», «среда», «процесс», «проект», с другой, представляется при этом первым необходимым условием обеспечения его адекватности. Ибо мир представляет собой систему систем, при этом системы всех четырех типов обладают эмерджентными свойствами. Учитывая, что эти системы взаимообусловлены, их эмерджентные свойства взаимозависимы и системы находятся в постоянном взаимодействии, еще одним необходимым условием обеспечения адекватности модельного комплекса СЭС является отражение их контурного межуровневого, межвременного и пространственно-временного взаимовлияния. Обратим внимание что, не все эмерджентные свойства проявляются одновременно, они становятся наблюдаемыми в результате взаимовлияния подсистем тетрадной структуры во времени и в пространстве. Так, наблюдать определенные эмерджентные свойства объектных систем (например, гибкость) можно только при их взаимодействии с внешней средой с определенными характеристиками и при наступлении определенных обстоятельств (например, при ускорении изменений условий хозяйствования и увеличении различий потребительских требований). Аналогичные доводы можно привести и для подсистем других типов.

В дополнение к таким хорошо известным характеристикам моделей, как адекватность и эффективность, предлагается ввести дополнительные характеристики: целесообразность, системную согласованность и полезность модельного комплекса и его отдельных моделей. Необходимость введения таких характеристик следует из современных теоретико-методологических оснований исследования и моделирования СЭС.

Характеристика целесообразности связана с вкладом модели в формирование целостного видения СЭС. Ее необходимость обусловлена тем, что любой человек независимо от возраста, пола, образования, социально статуса и других характеристик является заложником уже сформированных ментальных моделей. Они привносят субъективность в интерпретацию ситуации “as is” и в постановку задачи “to be”. Ошибочная формулировка проблемы ведет к ошибочной цели и, как следствие, к ошибочному пути развития. Поэтому не любая модель должна увязываться в комплекс.

Характеристика системной согласованности связана с оценкой внутренней непротиворечивости моделей и их полноты с точки зрения системного видения. Ее необходимость обусловлена потребностью понимания допущений, ограничений и областей применимости построенных моделей, а также масштаба и существа решенных или не полностью решенных с помощью этих моделей задач.

Характеристика полезности модельного комплекса связана с приращением знания о СЭС благодаря этому модельному комплексу. Ее необходимость обусловлена потребностью понимания характера полученных результатов (в градации от общесистемных к конкретным прикладным) и корректного переноса знаний и моделей между областями исследований.

Метрологические аспекты оценки этих характеристик – предмет отдельного научного исследования.

Этапы и критические проблемы комплексного моделирования

Этапизация процесса и систематизация проблем моделирования СЭС могут быть осуществлены различными способами. Аргументируем наведение фокуса внимания в предлагаемом подходе на человека с его индивидуальными сознанием/подсознанием, ментальным пространством и интересами (далее называемого, по традициям системного подхода, наблюдателем) [72, 73].

Во-первых, именно человек, познавая себя и окружающий мир, вынужден опираться на модели, которые формируются в его голове благодаря врожденным механизмам высшей нервной деятельности или которые он осознанно создает и использует для формирования целостной картины мира, понимания своего места и роли в этом мире, управления своей жизнью и создаваемыми им системами. Его восприятие, оценка, осмысление и интерпретация происходящего, выбор вариантов действий зависят от чувственно-эмоционально-ментального опыта и сформированного внутреннего мира¹³, которые привносят неизбежную субъективность и искажения реальности в процессы моделирования.

Во-вторых, СЭС как объекты моделирования включают составными частями отдельных индивидов и сформированные из них по территориальным, профессиональным и иным признакам различные организации, сообщества, объединения и т.п. Поведение СЭС и поведение человека тесно связаны, хотя эти связи сложны, неочевидны и неоднозначны. Сделать качественный прогноз динамики СЭС без учета взаимовлияния системы и личности очень сложно, если не сказать невозможно.

В-третьих, построение моделей сложных систем, особенно социально-экономических (или, точнее для современного этапа развития, социо-техно-кибер-экономических), сопряжено с целым рядом проблем различной природы. Среди них весомое место занимают проблемы отражения гносеологических аспектов процессов самоорганизации СЭС [74] и обеспечения доказательности модельных построений [75].

В идеале критические проблемы комплексного моделирования СЭС нужно идентифицировать, структурировать и систематизировать, сформировав полный перечень, а в последующем и нивелировать. Под критическими проблемами в данном контексте считаются те моменты комплексного моделирования СЭС, которые играют решающее значение для обеспечения целесообразности, адекватности, эффективности, системной согласованности и полезности моделей комплекса, но при этом не имеют строго выверенной четкой алгоритмической основы реализации, а значит, подвержены ошибкам. Многие из них обусловлены особенностями и ограничениями когнитивных процессов наблюдателя.

Этапизация процесса комплексного моделирования СЭС с точки зрения процесса познания отдельного человека позволяет сформировать основания конфигурирования проблемного поля. Для визуализации этапов и проблем комплексного моделирования используем образы «дерева» и «регулярного парка», создаваемого из деревьев с определенной целью.

Дерево критических проблем комплексного моделирования на индивидуальном уровне (рис. 2) разрастается ветвями вверх и корнями вниз для отражения с позиции отдельного индивида проблем, связанных, соответственно, с методами, процедурами и инструментарием построения моделей, с одной стороны, а также с основаниями формализованных описаний и интерпретациями результатов моделирования, с другой. Процесс исследования сложных систем сопровождается построением комплекса моделей, которые последовательно расширяют и углубляют представления о системе. Начинается процесс с построения модели черного ящика, содержащей информацию о существенных характеристиках системы как целого и ее

¹³ Щепетова С.Е. (2008) Экономика качества, или как здравый смысл, человечность и стремление к совершенству преображают компанию. *Менеджмент качества*, 1, 46–58; Щепетова С.Е. (2004, 2007) *Менеджмент и экономика качества: от естественного к формальному, от формального к естественному*, М.: URSS.



Источник: составлено автором

Рис. 2. Дерево проблем комплексного моделирования на уровне индивида

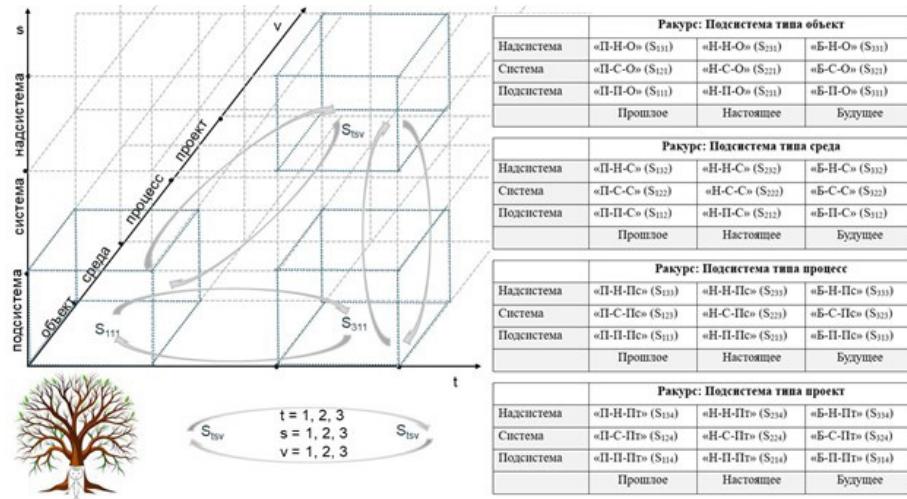
Fig. 2. Problem tree of complex modeling at the individual level

взаимодействий с внешней средой. Далее строятся: модели состава и структуры системы для отражения существенной информации о строении системы; кибернетические модели для отражения существенных аспектов управления; модели процессов и проектов в виде выполняемых параллельно или последовательно действий для отражения процессов функционирования и развития системы; модели, в которых отражается контурное взаимовлияние различных факторов; модели, позволяющие обосновывать оптимальный выбор из множества альтернатив, улучшать деятельность и т.д. Ширину ствола можно образно соотнести с масштабом комплекса связанных наблюдателем в единое согласованное целое моделей, характеризующих различные аспекты СЭС и ее окружения.

На рис. 2 проблемы, сопряженные с процессом мысленного движения от модели черного ящика к модели прозрачного ящика, укрупнены и представлены следующими группами (типами):

- проблемы восприятия, измерения и оценивания СЭС как объекта моделирования (I) (связаны с процессами сбора и обработки информации об объекте моделирования и его окружении);
- проблемы описания проблематики исследовательского запроса, идентификации и конфигурирования предметной области моделирования (II) (связаны с процессами упорядочения, согласования, систематизации и ранжирования информации об объекте моделирования и его окружении);
- проблемы обоснования постановки задачи (III) (связаны с интеллектуальной обработкой информации, целеполаганием, выдвижением гипотез и способов их проверки);
- проблемы формализованного описания состояния, функционирования и динамики СЭС, включая морфологические, грамматические, синтаксические и иные неточности и ошибки спецификаций моделей комплекса (IV) (связаны с процессами уменьшения объемов информации об объекте и его окружении при условии обеспечения целесообразности, адекватности и эффективности модельных описаний);
- проблемы исследования СЭС на моделях и интерпретации результатов моделирования (V) (связаны с получением новых согласованных знаний об объекте моделирования и его окружении, увеличивающих масштабность и детальность целостного восприятия мира).

Такая структуризация проблем позволяет проследить их информационный след при исследовании отдельного объекта изучения и его окружения.



Источник: составлено автором

Рис. 3. Концепция formalизации проблем комплексного моделирования на основе трехосного пространства

Fig. 3. Concept of formalization of problems of complex modeling based on three-axis space

Для увязывания отдельных моделей в согласованный системный комплекс (образно для создания «регулярного парка»), позволяющий сформировать исследователю целостное представление о строении и динамике СЭС, требуется определенное упорядочение информации. С учетом вышесказанного комплекс моделей должен представлять собой набор связанных проекций реальности на модельное пространство. Его следует создавать на основе предлагаемого модифицированного каркаса системного видения, который образуется метками «прошлое», «настоящее», «будущее» на временной оси, метками «надсистема», «система», «подсистема» на пространственной оси, метками «объект», «среда», «проект», «процесс» на оси тетрадного представления систем в виде подсистем объектного, проектного, процессного и средового типов (рис. 3). При этом масштабирование и детализацию меток на осях модельного пространства следует производить с учетом решаемой задачи (минимальная размерность приводит при комбинации данных меток к 36 сущностям, которые далее будем именовать аббревиатурой меток по временной, пространственной и видовой осям (например, Н-С-О, что будет обозначать составляющую «настоящее» – «система» – «объект») или в формулах S_{tsv} через сочетание индексов t , s , v , где t принимает значения 1 – прошлое, 2 – настоящее, 3 – будущее, s принимает значения 1 – подсистема, 2 – система, 3 – надсистема, v принимает значения 1 – объект, 2 – среда, 3 – процесс, 4 – проект¹⁴.

Все эти сущности и контурные связи между ними следует выявить и описать при проведении системного исследования. Набор модельных проекций СЭС, образуемых различными комбинациями вышеприведенных меток, в совокупности с теми, что отражают контурные связи между полученными ракурсами, позволит сформировать искомое целостное представление СЭС и понимание взаимообусловленности различных аспектов их строения, свойств, состояний, схем функционирования и развития. Благодаря этому мировоззрение и поведение индивида станут более системными, разумными, рачительными и ответственными. Этому будут способствовать расширение горизонтов понимания человеком исследуемой проблематики, детализация

¹⁴ «П-П-О» (S₁₁₁), «П-П-С» (S₁₁₂), «П-П-Пс» (S₁₁₃), «П-П-Пт» (S₁₁₄), «П-С-О» (S₁₂₁), «П-С-С» (S₁₂₂), «П-С-Пс» (S₁₂₃), «П-С-Пт» (S₁₂₄), «П-Н-О» (S₁₃₁), «П-Н-С» (S₁₃₂), «П-Н-Пс» (S₁₃₃), «П-Н-Пт» (S₁₃₄), «Н-П-О» (S₂₁₁), «Н-П-С» (S₂₁₂), «Н-П-Пс» (S₂₁₃), «Н-П-Пт» (S₂₁₄), «Н-С-О» (S₂₂₁), «Н-С-С» (S₂₂₂), «Н-С-Пс» (S₂₂₃), «Н-С-Пт» (S₂₂₄), «Н-Н-О» (S₂₃₁), «Н-Н-С» (S₂₃₂), «Н-Н-Пс» (S₂₃₃), «Н-Н-Пт» (S₂₃₄), «Б-П-О» (S₃₁₁), «Б-П-С» (S₃₁₂), «Б-П-Пс» (S₃₁₃), «Б-П-Пт» (S₃₁₄), «Б-С-О» (S₃₂₁), «Б-С-С» (S₃₂₂), «Б-С-Пс» (S₃₂₃), «Б-С-Пт» (S₃₂₄), «Б-Н-О» (S₃₃₁), «Б-Н-С» (S₃₃₂), «Б-Н-Пс» (S₃₃₃), «Б-Н-Пт» (S₃₃₄).



системной картины, но главное, осознание выявленного обобщенного знания о связях ментальных моделей человека, его поведения, системных архетипов, структур и паттернов систем вкупе с более глубоким пониманием сути происходящего и корневых причин проблем.

Структуризация критических проблем комплексного моделирования СЭС

Для обеспечения полноты структурного описания критических проблем моделирования их логично соотнести с шагами базовой методики системного анализа и воспользоваться классическими моделями системного упорядочения. Учитывая вышесказанное, проблематику построения комплексных моделей будем разворачивать, используя предложенные образы, по корням, стволам и ветвям «деревьев», увязывая их в рамках структуры «регулярного парка», как показано на рис. 2 и 3. Обратимся также для выявления проблем к базовой методике прикладного системного анализа.

Проблемы встречаются на всех шагах базовой методики, поэтому соотнесем проблемы комплексного моделирования с логически последовательными шагами базовой методики, с одной стороны, и с ранее предложенными пятью группами I–V проблем, представленных в ракурсе информационного сопровождения этих логических шагов. Это позволит сформулировать критические проблемы комплексного моделирования сложных СЭС в привязке к логическим составляющим системных исследований и непрерывной познавательной деятельности человека. На рис. 4 показаны укрупненные основные шаги, отражающие логику исследования, и вспомогательные действия, создающие информационную основу для проведения анализа.

Последствия существования проблем и возможных ошибок моделирования представим в разрезе влияния на:

- адекватность моделей (1);
- эффективность моделей (2);
- целесообразность моделей (3);
- согласованность моделей (4);
- полезность моделей и корректность интерпретаций результатов моделирования (5).

Отметим, что формирование целостного индивидуального понимания СЭС базируется на субъективных суждениях и субъективном опыте индивида, которые, в свою очередь, зависят от позиции индивида по отношению к изучаемой СЭС. Требуется отражение в моделях существенных аспектов СЭС с позиций всех ключевых акторов (различных стейкхолдеров). Из этого следует, что выявления и изучения критических проблем комплексного моделирования

Изучение теоретического и эмпирического материала по проблематике исследования	Сбор, обработка и анализ данных	Организация экспериментов, проведение опросов и наблюдений	Шаг 1. Формулировка проблемы	Обработка и анализ результатов моделирования
			Шаг 2. Формирование проблематики	
			Шаг 3. Конфигурирование проблематики и моделирование СЭС “as is”	
			Шаг 4. Постановка задачи	
			Шаг 5. Определение целей	
			Шаг 6. Определение и выбор критерии	
			Шаг 7. Формирование множества допустимых альтернатив	
			Шаг 8. Спецификация модели “to be”	
			Шаг 9. Синтез решения	
			Шаг 10. Интерпретация результатов моделирования и реализация решения	
Интерпретация результатов моделирования и соотнесение с ранее имеющимися представлениями			Формирование согласованного системного знания	

Источник: составлено автором

Рис. 4. Базовая методика прикладного системного анализа как контекст выявления проблем комплексного моделирования

Fig. 4. Basic methodology of applied systems analysis as a context for identifying problems of complex modeling



с позиции отдельного индивида недостаточно. Для нивелирования в моделях субъективности индивидуальных представлений требуется выработать формализованную основу для формирования проблематики исследования и конфигурирования проблемной ситуации, которая будет использоваться при сопоставлении индивидуальных ракурсов (образно при сопоставлении и сравнении многочисленных деревьев).

Кроме того, поскольку моделирование выступает важной составляющей профессиональной деятельности многих специалистов, рассматривающих СЭС под специфическим углом зрения, возникает также необходимость формирования согласованного системного научного знания. Для этого требуется сопоставление и согласование моделей, отражающих СЭС в разнообразных фокусах. В этом контексте возникает еще ряд проблем, требующих систематизации и разрешения на последующих этапах научных исследований по данной теме.

Структурное описание проблематики комплексного моделирования сделаем в контексте выше представленных рассуждений в табличном виде (табл. 1).

В табл. 1 используются обозначения S_{tsv} в случае, если ошибки связаны со всеми блоками, и S с конкретными значениями индексов t , s , v , если они относятся к конкретному блоку или подмножеству блоков (например, ошибочное видение цели решения проблемы на шаге 1 или пропуск значимой альтернативы или значимого ограничения на шаге 7 влияют на срез блоков, описывающих будущее, — S_{3sv} ; при этом страдают согласованность и полезность модельных описаний на всех уровнях). Ошибки, относящиеся к контурным связям между блоками, показаны символично: $S_{tsv} \leftrightarrow S_{tsv}$. Для уточнения уровня возникновения ошибки соответствующий блок ставится на первое место. Например, ошибки визуализации контурных связей при индивидуальном предвидении и контурного влияния истории социально-экономического развития возникают в одном контуре, но в первом случае в результате мышления и выбора человека, зависящих от сформированных убеждений, доступных отдельному индивиду данных, применяемых им методов и инструментов интеллектуальной обработки информации, а во втором случае в результате институциональных рамок и паттернов, предопределляемых выстраиваемой структурой системы (другими словами, в первом случае движение идет от периода в прошлом, когда ментальные модели формировались у конкретного человека (блок S_{11v}) к периоду в будущем, когда суммарные действия людей, обусловленные этими моделями, в свою очередь, обусловили определенные тренды и закономерности в развитии СЭС в целом и ее надсистемы (блок S_{33v}); во втором случае движение идет от будущего надсистемы, которое люди пытаются предсказать, чтобы подстроить свою жизнь под новые условия (блок S_{33v}) к тому, как переосмысливается опыт на индивидуальном уровне (блок S_{11v})).

Табл. 1 отражает критические проблемы в виде их проекций на связанные с ними ошибки и позволяет сформировать их перечень: в разрезе видов I–V; в разрезе шагов базовой методики системного анализа; в разрезе влияния на конкретные блоки системного видения; в разрезе влияния на ключевые характеристики моделей и модельного комплекса (адекватность, эффективность, целесообразность, согласованность и полезность/корректность). Очевидно, что ошибки, приводящие к неадекватности модельных описаний и их использованию при обосновании решений организующего или управляющего характера наиболее серьезные.

Заключение

1. Важным условием повышения качества прогнозирования и обоснованности принимаемых решений являются выбор комплексирования моделей как пути дальнейшего развития методологии моделирования СЭС и участие человека в качестве верификатора и валидатора каждого шага комплексирования. Если человек не сохранит за собой эти функции, то по мере усложнения объектов моделирования и разрабатываемых моделей он будет вынужден доверять результатам моделирования без их критического осмысливания. С учетом существования целого

Таблица 1. Проблемы моделирования в разрезе шагов базовой методики прикладного системного анализа СЭС
Table 1. Modeling problems in relation to the steps of the basic methodology of applied systems analysis of SES

Проблемы в разрезе шагов базовой методики прикладного системного анализа	Тип	Негативное влияние на					
		(1)А	(2)Э	(3)Ц	(4)С	(5)П	
Шаг 1. Формулировка проблемы							
<ul style="list-style-type: none"> – Зависимость первичной формулировки проблемы от ментальных моделей индивида, его субъективного восприятия и субъективной оценки текущей ситуации – Смещение фокуса исследования – Отсутствие значимой информации – Размытое и быкое понятийное пространство – Исаженная интерпретация ситуации. Ложное предположение о причинах проблемы – Недекватные ментальные модели (в том числе ментальные ловушки), искающие реальность при формализации – Ошибочная формулировка цели решения проблемы – Ошибочные аксиоматические постулаты и допущения исследования – Иллюзия согласия/несогласия вследствие семантических различий в связке «термин» – «смысл» – Фокус с позиции краткосрочного периода – Фокус с позиции локальной зоны системы 							
Шаг 2. Формирование проблематики							
<ul style="list-style-type: none"> – Пропуск значимой заинтересованной стороны и информации, характеризующей систему и ее окружение в этом ракурсе – Отсутствие или невозможность получения требуемой информации о системе и ее окружении – Ошибки в обработке, интерпретации и согласовании данных и сведений о системе и ее окружении – Ошибки в выявлении значимых факторов поведения заинтересованных сторон – Ошибочная оценка влияния заинтересованных сторон 							
Шаг 3. Конфигурирование проблематики и моделирование СЭС «as is»							
<ul style="list-style-type: none"> – Неправильное определение и отражение в модели существенных и несущественных сведений о системе и ее окружении – Включение в информационный базис исследования «<i>«построенных»</i> мозгом информационных блоков – Неправильный выбор методов моделирования – Неправильный выбор переменных, параметров и вида их зависимости в модели – Игнорирование методик и условий формирования эмпирической базы моделирования (значений параметров и экспериментальных переменных) 							

Продолжение Таблицы 1

	Тип	(1)А	(2)Э	(3)И	(4)С	(5)П	Негативное влияние на
Проблемы в разрезе шагов базовой методики прикладного системного анализа							
– Ошибки спецификации модели черного ящика системы как среды	III	S_{1s2}	S_{1s2}	S_{1s2}	S_{1s2}	S_{1s2}	
– Ошибки спецификации модели черного ящика системы как процесса	III	S_{1s3}	S_{1s3}	S_{1s3}	S_{1s3}	S_{1s3}	
– Ошибки спецификации модели черного ящика системы как проекта	III	S_{1s4}	S_{1s4}	S_{1s4}	S_{1s4}	S_{1s4}	
– Ошибки спецификации моделей состава и структуры системы как среды	III	S_{1s2}	S_{1s2}	S_{1s2}	S_{1s2}	S_{1s2}	
– Ошибки спецификации моделей состава и структуры системы как процесса	III	S_{1s3}	S_{1s3}	S_{1s3}	S_{1s3}	S_{1s3}	
– Ошибки спецификации моделей состава и структуры системы как проекта	III	S_{1s4}	S_{1s4}	S_{1s4}	S_{1s4}	S_{1s4}	
– Ошибки спецификации моделей функционирования и динамики системы	III	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	
– Ошибки спецификации кибернетической модели системы	III	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	
– Ошибки спецификации контурных системных диаграмм	III	$S_{1sv} \leftrightarrow S_{1sv}$					
– при визуализации контурных связей на уровне системы	III	$S_{12v} \leftrightarrow S_{32v}$					
– при визуализации контурных связей на уровне надсистемы	III	$S_{13v} \leftrightarrow S_{33v}$					
– при визуализации контурных связей на уровне элементов системы	III	$S_{11v} \leftrightarrow S_{11v}$					
– ошибки визуализации контурных связей системной иерархии в прошлом	III	$S_{11v} \leftrightarrow S_{13v}$					
– ошибки визуализации контурных связей системной иерархии в настоящем	III	$S_{21v} \leftrightarrow S_{23v}$					
– ошибки визуализации контурных связей системной иерархии в будущем	III	$S_{31v} \leftrightarrow S_{33v}$					
– ошибки визуализации контурных связей при индивидуальном предвидении	III	$S_{11v} \leftrightarrow S_{33v}$					
– ошибки визуализации контурного влияния истории социально-экономического развития	III	$S_{33v} \leftrightarrow S_{11v}$					
– Разрозненность и противоречивость моделей	III			S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	
– Ошибочные принципы и ракурсы комплексирования моделей	III	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	
– Несоответствие реальной ситуации и ее упорядоченного представления	IV	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	
– Не корректная интерпретация результатов моделирования	V			S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	
– Искаженное понимание системы “as is”	V			S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	
Шаг 4. Постановка задачи							
– Ошибочное понимание сути проблемы, требующей решения, и ее корневой причины	I	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	
– Непонимание, игнорирование или искажение связи личностных и системных архетипов, личностных и системных партнеров, их взаимообусловленности через структуру системы	I	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	
– Ошибочное техническое задание на изменение системы для решения проблемы	II	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	
– Ошибочное упорядочение и ранжирование влияния факторов	III	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	S_{1sv}	

Продолжение Таблицы 1

Проблемы в разрезе шагов базовой методики прикладного системного анализа	Тип	Негативное влияние на				
		(1)А	(2)Э	(3)Ц	(4)С	(5)П
Ошибочная постановка требующей решения задачи при построении моделей “to be”	V	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
Шаг 5. Определение целей						
– Отсутствие семантических моделей понятий и использование размытых и неточных слов	I	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Формулировки проблемы и ее корневых причин ошибочны или неточны	I	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Формулировка цели как антиподы проблемы не учитывает всех значимых системных связей в пространстве и во времени	II	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– При формулировке цели не учитываются или недекватно учитываются требования-критерии SMART (Specific – Конкретная, Measurable – измеримая, Achievable – достижимая, Time-bound – ограниченная по времени)	III	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Некорректное понимание факторов, влияющих на достижение целей	IV	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Ошибочное понимание связи ожидаемых целевых результатов и системных последствий во времени и пространстве	V	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
Шаг 6. Определение и выбор критерии						
– Ошибочный выбор метрического пространства для формализации целевых показателей	I	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Ошибочный выбор целевого показателя и необоснованные с системных позиций требования к его уровню	II	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Неточное или ошибочное понимание связей показателей, формирующих целевую свертку	III	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Неточное или ошибочное формализованное описание связей показателей, формирующих целевую свертку	IV	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Ошибочное или искаженное понимание влияния целевого показателя на системные эффекты и свойства	V	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
Шаг 7. Формирование множества допустимых альтернатив						
– Противоречивые, неполные или невяко сформулированные допущения исследования	I	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Искаженное восприятие вариантов достижения целей и ограничивающих условий	I	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Пропуск значимой альтернативы или значимого ограничения	II	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Включение в модель не существующих альтернатив или более жестких, чем требуется, ограничений	III	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Искажение множества допустимых альтернатив вследствие ошибок идентификации или отражения в спецификации модели	IV	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Ошибочная интерпретация влияния альтернатив и ограничений на достижение целей, феномен смещения целей и функций	V	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
Шаг 8. Спецификация модели “to be”						
– Неполные, неточные или противоречивые аналитические рамки построения системных моделей для отражения строения, функционирования и развития СЭС в будущем	I	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Недекватные допущения формализации	II	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}

Окончание Таблицы 1

Проблемы в разрезе шагов базовой методики прикладного системного анализа	Тип	Негативное влияние на				
		(1)А	(2)Э	(3)Ц	(4)С	(5)П
– Межуровневая и внутриуровневая несогласованность моделей	III	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Ошибки при переходе от верbalного к математическому представлению моделей	IV	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}
– Пропуск или ошибочная интерпретация контурных системных взаимосвязей на основе модельного комплекса	V	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}	S_{ISV}

Шаг 9. Синтез решения

- Желание простого и быстрого способа достижения целей системы
- Опора на индивидуальное субъективное восприятие проблемной ситуации
- Краткосрочные решения локального характера
- Неправильное обоснование контекста ситуации принятия решения (отсутствие системного видения), как следствие неправильный выбор целевого направления, критерии оценки и метрического пространства поведения системы
- Отсутствие согласованного комплекса адекватных верифицированных моделей “to be”, отражающих состояния, свойства, структуру и поведение системы
- Постоянные необоснованные изменения структуры системы без понимания природы ее вариабельности

Шаг 10. Интерпретация результатов моделирования и реализация решения

- Выводы, которые не следуют из полученных модельных результатов
- Игнорирование общесистемных свойств
- Распространение частных свойств на все системы
- Ошибки упорядочения, систематизации, ранжирования и обобщения новых знаний
- Искаажения при верbalном описании и интерпретации результатов моделирования
- Проблемы согласования и распространения нового научного знания, отсутствие аргументации или контрагументации согласованности
- Искаажения при проектировании новых знаний на практическую деятельность

* S – понимание индивидом системы и ее динамики



спектра критических проблем моделирования, приводящих к разного рода ошибкам с соответствующими последствиями, путь приближения модели по сложности к самому объекту моделирования весьма опасен и сродни использованию в деятельности человека некалиброванных или дефектных инструментов измерения.

2. Назначение комплексного моделирования – представить в посильном для критического восприятия человеком виде множество моделей, отражающих строение, функционирование и развитие СЭС, объединенных по определенным принципам и правилам в единый комплекс. Повышение качества прогнозирования динамики и оптимизации всех аспектов жизнедеятельности СЭС может быть обеспечено посредством учета и согласования всех существенных ракурсов предметной сферы, уровней детализации, структурных взаимосвязей и взаимообусловленностей (как внутренних, так и внешних), свойств, характеристик и т.д. на основе предложенного трехосного каркаса системного описания объекта управления (ось времени – прошлое, настоящее, будущее; ось пространства – элементы и подсистемы, система, надсистема; ось типов систем – объект, среда, процесс, проект). Такой подход развивает методологию моделирования сложных СЭС в части нивелирования разрозненности и кусочности представлений менеджеров и позволяет разрешить противоречие между точностью и сложностью модельного описания.

3. При моделировании СЭС, относящихся к наиболее сложным системам ввиду существенной зависимости их организации, функционирования и развития от слабоструктурируемых факторов и условий, имеет место множество проблем, обусловленных когнитивно-психологическими особенностями индивидов, их выбора и поведения. Те моменты моделирования, которые играют решающее значение для обеспечения целесообразности, адекватности, эффективности, системной согласованности и полезности разрабатываемых моделей, но при этом не имеют строго выверенной четкой алгоритмической основы реализации, а значит, подвержены ошибкам, являются критически важными, потому что допущенные ошибки чаще всего не осознаются и последующая деятельность базируется на искаженных представлениях. Опора представленного в статье структурного описания критических проблем моделирования на шаги базовой методики системного исследования и на классические модели системного упорядочения позволяет сформировать всестороннее понимание проблем комплексного моделирования сложных систем.

В заключение отметим, что, несмотря на многообразие возможностей модельно-инструментальной поддержки различных областей деятельности человека, до сих пор существует проблема прогнозирования, учитывающего многоаспектные системные взаимосвязи исследуемых объектов, проектов, процессов, сред и явлений, формирующих социально-экономическую действительность. Следование базовой методике прикладного системного анализа и корректное прохождение проблемных зон всех ее этапов позволяют нивелировать субъективность индивидуального восприятия, способствуют формированию совместного понимания исследуемых систем и продвижению этого понимания от модели черного ящика, констатирующей внешние признаки форм, свойств и поведения исследуемого, к, в идеале, модели прозрачного ящика, объясняющей их генезис на основе строения системы и протекающих процессов.

Направления дальнейших исследований

Как отмечалось, для качественного прогноза требуется учитывать многоаспектные системные взаимосвязи исследуемых объектов, проектов, процессов, сред и явлений, формирующих социально-экономическую действительность в их взаимовлиянии в динамике. В этом контексте в последующем требуются конкретизация и формализация всех взаимосвязей, представленных в табличном виде структурированного перечня проблем. Кроме того, целесообразно переосмыслить и обобщить современное состояние теории и практики эконометрического, агент-ориентированного, равновесного и когнитивно-интеллектуального моделирования для



выявления возможностей их интеграции для построения комплексных моделей СЭС в интервалах прогнозирования их динамики. Требуют развития также и подходы к анализу и обеспечению согласованности и системности модельного комплекса.

Проведенная структуризация проблем комплексного моделирования СЭС позволила выявить, что ошибки не ограничиваются хорошо известными ошибками проверки статистических гипотез. С учетом универсальности характера выявленных ошибок по отношению к разным предметным сферам представляют интерес идентификация, упорядочение и типизация ошибок моделирования. Это целесообразно осуществить в дальнейшем на основе представленного в статье структурированного описания критических проблем комплексного моделирования.

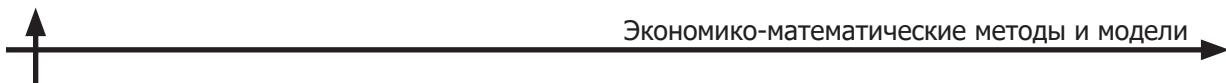
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Клейнер Г.Б. (2016) *Экономика. Моделирование. Математика: Избранные труды*, М.: ЦЭМИ РАН.
2. Волкова В.Н. (2023) *Истоки и перспективы наук о системах*, М.: КУРС.
3. Stroh D.P. (2015) *Systems Thinking for Social Change. A Practical Guide to Solving Complex Problems, Avoiding Unintended Consequences, and Achieving Lasting Result*, White River Junction, VT: Chelsea Green Publishing.
4. Бабешко Л.О., Орлова И.В. (2020) *Инструментарий современного эконометрического моделирования*, научная монография, М.: Центркatalog.
5. Wooldridge J.M. (2009) *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*, Cambridge, MA, London: The MIT Press.
6. Бабешко Л.О. (2023) Эконометрические инструменты выбора формы модели. *Современная математика и концепции инновационного математического образования*, 10 (1), 293–303. DOI: https://doi.org/10.54965/24129895_2023_10_1_293
7. Diebold F.X., Ghysels E., Mykland P., Zhang L. (2019) Big data in dynamic predictive econometric modeling. *Journal of Econometrics*, 212 (1), 1–3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2019.04.017>
8. Breusch T.S. (1978) Testing for Autocorrelation in Dynamic Linear Models. *Australian Economic Papers*, 17 (31), 334–355. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8454.1978.tb00635.x>
9. Pesaran H., Weeks M. (2001) Nonnested Hypothesis Testing: An Overview. In: *A Companion to Theoretical Econometrics* (ed. B.H. Baltagi), Oxford: Wiley-Blackwell, 279–309. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470996249.ch14>
10. Бабешко Л.О. (2023) Формальные тесты выбора спецификации модели. *Мягкие измерения и вычисления*, 72 (11), 15–23. DOI: <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2023.11.002>
11. Бабешко Л.О. (2025) Метод корректировки неоднородности панельных данных в моделях сложных экономических систем. *Экономическая наука современной России*, 28 (3), 26–36. DOI: [https://doi.org/10.33293/1609-1442-2025-28\(3\)-26-36](https://doi.org/10.33293/1609-1442-2025-28(3)-26-36)
12. Anani L., Asiedu L., Katsekpor J. (2017) Comparison of Imputation Methods for Missing Values in Longitudinal Data Under Missing Completely at Random (MCAR) mechanism. *African Journal of Applied Statistics*, 4 (1), 241–258. DOI: <https://doi.org/10.16929/ajas/241.213>
13. Enders C., Du H., Keller B. (2019) A model-based imputation procedure for multilevel regression models with random coefficients, interaction effects, and nonlinear terms. *Psychological Methods*, 25 (1), 88–112. DOI: <https://doi.org/10.1037/met0000228>
14. Daberdaku S., Tavazzi E., Di Camillo B. (2020) A Combined Interpolation and Weighted K-Nearest Neighbours Approach for the Imputation of Longitudinal ICU Laboratory Data. *Journal of Healthcare Informatics Research*, 4, 174–188. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41666-020-00069-1>
15. Бывшев В.А., Богомолов А.И., Костюнин В.И. (2007) Массовая оценка стоимостных показателей объектов недвижимости: от модели к системе. *Вестник Финансовой академии*, 3 (43), 14–24.
16. Форрестер Дж. (1978) *Мировая динамика*, М.: Наука.
17. Monks T., Robinson S., Kotiadis K. (2014) Learning from discrete-event simulation: Exploring the high involvement hypothesis. *European Journal of Operational Research*, 235 (1), 195–205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.003>



18. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. (2009) Новый инструментарий в общественных науках – агент-ориентированные модели: общее описание и конкретные примеры. *Экономика и управление*, 12 (50), 13–25.
19. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. (2016) Агент-ориентированные модели как инструмент апробации управленческих решений. *Управленческое консультирование*, 12 (96), 16–25.
20. Акопов А.С., Бекларян А.Л. (2023) Оптимизация стратегий поведения в имитационной модели многоагентной социально-экономической системы. *Экономика и математические методы*, 59 (3), 117–131. DOI: <https://doi.org/10.31857/S042473880027006-5>
21. Phung T.P., Nguyen L.M.H., Pham H.T. (2025) Simulation-Optimization Framework for Designing Resilient Supply Chain Systems. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 14 (10) 105–111. DOI: <https://dx.doi.org/10.21275/SR25928121542>
22. Sterman J. (2000) *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*, Boston: Irwin/McGraw-Hill.
23. Айгумов А.А., Пшенокова И.А. (2024) Обзор методов моделирования сложных социально-экономических систем на основе агентного подхода. *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*, 5 (26), 64–72. DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2024-26-5-64-72>
24. Bonabeau E. (2002) Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *PNAS*, 99 (3), 7280–7287. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.082080899>
25. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Васенин В.А., Борисов В.А., Роганов В.А. (2016) Агент-ориентированные модели: мировой опыт и технические возможности реализации на суперкомпьютерах. *Вестник Российской академии наук*, 86 (3), 252–262. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0869587316030075>
26. Jackson J., Rand D., Lewis K., Norton M., Gray K. (2016) Agent-Based Modeling: A Guide for Social Psychologists. *Social Psychological and Personality Science*, 8 (4), 387–395. DOI: <https://doi.org/10.1177/1948550617691100>
27. Гулин К.А., Дианов С.В., Алферьев Д.А., Дианов Д.С. (2024) Методология агентного моделирования развития территориальных систем лесозаготовительного производства. *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*, 17 (6), 184–203. DOI: <https://doi.org/10.15838/esc.2024.6.96.10>
28. An L., Grimm V., Sullivan A., Turner II B.L., Malleson N., Heppenstall A., Vincenot Ch., Robinson D., Ye X., Liu J., Lindkvist E., Tang W. (2021) Challenges, tasks, and opportunities in modeling agent-based complex systems. *Ecological Modelling*, 457, art. no. 109685. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2021.109685>
29. Лихтенштейн В.Е., Росс Г.В. (2015) *Равновесные случайные процессы: теория, практика, инфобизнес*, М.: Финансы и статистика.
30. Зверева О.М., Берг Д.Б. (2013) Агент-ориентированная модель коммуникаций экономической системы в условиях межотраслевого баланса Леонтьева. *Информатика, телекоммуникации и управление*, 6 (186), 77–86.
31. Королев В.С. (2014) Вопросы устойчивости положений равновесия. *Естественные и математические науки в современном мире*, 24, 13–20.
32. Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg I.J., Appleton G., Axton M., Baak A., Blomberg N., Boiten J.-W., da Silva Santos L.B., Bourne P.E. et al. (2016) The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3, art. no. 160018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>
33. Monks T., Currie C.S.M., Onggo B.S., Robinson S., Kunc M., Taylor S.J.E. (2019) Strengthening the reporting of empirical simulation studies: Introducing the STRESS guidelines. *Journal of Simulation*, 13 (1), 55–67. DOI: <https://doi.org/10.1080/17477778.2018.1442155>
34. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Россонская Е.А., Дорошенко Т.А., Самсонова Н.А. (2023) Проблемы стандартизации описания агент-ориентированных моделей и возможные пути их решения. *Вестник Российской академии наук*, 93 (4), 362–372. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869587323040059>
35. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. (2015) Deep learning. *Nature*, 521, 436–444. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14539>
36. Kavak H., Padilla J.J., Lynch C.J., Diallo S.Y. (2018) Big data, agents, and machine learning: towards a data-driven agent-based modeling approach. In: *ANSS '18: Proceedings of the Annual Simulation Symposium*, art. no. 12. DOI: <https://doi.org/10.22360/springsim.2018.anss.021>

37. Zheng Y., Xu Z., Xiao A. (2023) Deep learning in economics: a systematic and critical review. *Artificial Intelligence Review*, 56, 9497–9539. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10272-8>
38. Tiwaskar S., Thite S., Mamoon R. (2025) A Comparative Analysis of Machine Learning Imputation Techniques for MAR Missingness. *Advances in Nonlinear Variational Inequalities*, 28 (3s), 46–57. DOI: <https://doi.org/10.52783/anvi.v28.2848>
39. Бахтизин А.Р. (2025) Технологии ИИ для моделирования социально-экономических систем. В книге: *Исследования по цифровой экономике* (под ред. М.И. Лугачева, А.А. Курдина), коллективная монография, М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 48–62.
40. Eden C. (1994) Cognitive mapping and problem structuring for System Dynamics model building. *System Dynamics Review*, 10 (2–3), 257–276. DOI: <https://doi.org/10.1002/sdr.4260100212>
41. Nicolini D. (1999) Comparing Methods for Mapping Organizational Cognition. *Organization Studies*, 20 (5), 833–860. DOI: <https://doi.org/10.1177/0170840699205006>
42. Кубрякова Е.С. (2001) О когнитивной лингвистике и семантике термина «когнитивный». *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Лингвистика и межкультурная коммуникация*, 1, 4–10.
43. Tegarden D.P., Sheetz S.D. (2003) Group cognitive mapping: a methodology and system for capturing and evaluating managerial and organizational cognition. *Omega*, 31 (2), 113–125. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(03\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(03)00018-5)
44. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И. (2006) Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями). *Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2006)*, 41–54.
45. Збришак С.Г. (2017) Системно-когнитивный подход к организации совместной деятельности группы заинтересованных сторон. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 3 (6) 155–158.
46. Иванус А.И. (2020) Об искусственном генерировании новых знаний. *Системный анализ в экономике – 2020*, 168–171. DOI: <https://doi.org/10.33278/SAE-2020.book1.168-171>
47. Голубев С.С., Губин А.М., Иванус А.И., Романенко Н.Ю., Щербаков А.Г. (2023) Проблемы создания семантического тезауруса как хранилища смыслов. *Инновации и инвестиции*, 12, 326–329.
48. Артюхов В.В. (2021) *Общая теория систем: Самоорганизация, устойчивость, разнообразие, кризисы*, монография, М.: Ленанд.
49. Leontief W., Strout A. (1963) Multiregional Input-Output Analysis. In: *Structural Interdependence and Economic Development* (ed. T. Barna), London: Palgrave Macmillan. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-349-81634-7_8
50. Канторович Л.В. (1939) *Математические методы организации и планирования производства*, Л.: ЛГУ.
51. Вентцель Е.С. (1963) *Математические методы исследования операций*, М.: Воениздат.
52. Чечnev В.Б. (2024) Анализ и классификация многокритериальных методов принятия решений. *Онтология проектирования*, 14 (4), 607–624. DOI: <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2024-14-4-607-624>
53. Петросян Л.А., Зенкевич Н.А. (2002) Теория игр и социально-экономическое поведение. *Экономическая школа. Аналитическое приложение*, 1 (1), 119–131.
54. Nisan N., Roughgarden T., Tardos E., Vazirani V.V. (2007) *Algorithmic Game Theory*, New York: Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511800481>
55. Лабскер Л.Г. (2024) *Принцип оптимальности Вальда–Сэвиджа в теории игр с природой*, монография, М.: КноРус.
56. Васильев В.А. (2023) Вектор Шепли однородных кооперативных игр. *Журнал вычислительной математики и математической физики*, 63 (3), 474–490. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0044466923030122>
57. Басакер Р., Саати Т. (1974) *Конечные графы и сети*, М.: Наука.
58. Решке Х., Шелле Х. (1994) *Мир управления проектами*, М.: Аланс.
59. Hu Z.-g. (2011) A new progress in the theory of PERT. In: *IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 15–20. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIEEM.2011.6035095>
60. Ивантер В.В., Суворов А.В., Сутягин В.С. (2015) Основные задачи и принципы социально-экономического прогнозирования. *Управление*, 3 (1), 8–17. DOI: <https://doi.org/10.12737/8785>



61. Богданов А.А. (1989) *Текнология: Всеобщая организационная наука*, М.: Экономика.
62. Von Bertalanffy L. (1962) General System Theory – A Critical Review. *General Systems*, 7, 1–20.
63. Садовский В.Н. (1974) *Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ*, М.: Наука.
64. Уемов А.И. (1978) *Системный подход и общая теория систем*, М.: Мысль.
65. Kornai J. (1998) *The System Paradigm*, Ann Arbor, MI: The Davidson Institute.
66. Helbing D. (2010) Pluralistic Modeling of Complex System. *arXiv:1007.2818*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1007.2818>
67. Щепетова С.Е. (2016) Принципы системной оптимизации в социально-экономической сфере. *Системный анализ в экономике – 2016*, 31–42.
68. Гараедаги Дж. (2010) *Системное мышление: Как управлять хаосом и сложными процессами. Платформа для моделирования архитектуры бизнеса*, М.: Гревцов Букс.
69. Альтшуллер Г.С. (2008) *Найти идею: Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач*, М.: Альпина Паблишер.
70. Клейнер Г.Б. (2006) Системная структура экономики и экономическая политика. *Проблемы теории и практики управления*, 5, 8–21.
71. Клейнер Г.Б., Щепетова С.Е., Дрогобыцкий И.Н., Прокопчина С.В., Кружилов С.И., Моисеев Н., Рыбачук М.А., Рытиков С.А., Шмерлинг Д.С., Григориади Э.М., Ильин Р.А., Исаева А.А., Сирота Е.Н., Щербаков Г.А. (2021) *Системные основы инновационной экономики в цифровом мире* (под ред. Г.Б. Клейнера, С.Е. Щепетовой), монография, М.: Научный мир.
72. Менегетти А. (2014) *Система и личность*, М.: Онтопсихология.
73. Щепетова С.Е. (2014) Личностные и системные архетипы как модельный фундамент объяснения социально-экономических явлений. *Системная экономика, экономическая кибернетика, мягкие измерения*, 91–95.
74. Куссий М.Ю. (2022) *Гносеологические аспекты процессов самоорганизации в социально-экономических системах с позиций экономико-математического моделирования*, монография, М.: ИНФРА-М. DOI: https://doi.org/10.12737/monography_5d0c698e03c0c8.56932496
75. Клейнер Г.Б. (2023) Доказательное моделирование как перспективный инструмент научного исследования социально-экономических процессов. *Экономика и управление: проблемы, решения*, 2 (6), 5–16. DOI: <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.06.02.001>

REFERENCES

1. Kleiner G.B. (2016) *Ekonomika. Modelirovanie. Matematika: Izbrannye trudy [Economics. Modeling. Mathematics: Selected Works]*, Moscow: TSEMI RAN.
2. Volkova V.N. (2023) *Istoki i perspektivy nauk o sistemakh [Origins and Prospects of Systems Science]*, Moscow: KURS.
3. Stroh D.P. (2015) *Systems Thinking for Social Change. A Practical Guide to Solving Complex Problems, Avoiding Unintended Consequences, and Achieving Lasting Result*, White River Junction, VT: Chelsea Green Publishing.
4. Babeshko L.O., Orlova I.V. (2020) *Instrumentarii sovremennoego ekonometricheskogo modelirovaniia [Tools for modern econometric modeling]*, monograph, Moscow: Tsentrkatalog.
5. Wooldridge J.M. (2009) *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*, Cambridge, MA, London: The MIT Press.
6. Babeshko L.O. (2023) Ekonomicheskie instrumenty vybora formy modeli [Econometric tools for choosing the model form]. *Sovremennaia matematika i kontseptsii innovatsionnogo matematicheskogo obrazovaniia [Modern Mathematics and Concepts of Innovative Mathematical Education]*, 10 (1), 293–303. DOI: https://doi.org/10.54965/24129895_2023_10_1_293
7. Diebold F.X., Ghysels E., Mykland P., Zhang L. (2019) Big data in dynamic predictive econometric modeling. *Journal of Econometrics*, 212 (1), 1–3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2019.04.017>
8. Breusch T.S. (1978) Testing for Autocorrelation in Dynamic Linear Models. *Australian Economic Papers*, 17 (31), 334–355. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8454.1978.tb00635.x>

9. Pesaran H., Weeks M. (2001) Nonnested Hypothesis Testing: An Overview. In: *A Companion to Theoretical Econometrics* (ed. B.H. Baltagi), Oxford: Wiley-Blackwell, 279–309. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470996249.ch14>
10. Babeshko L.O. (2023) Formal tests for choosing a model specification. *Soft Measurement and Computing*, 72 (11), 15–23. DOI: <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2023.11.002>
11. Babeshko L.O. (2025) Method for Correcting Panel Data Heterogeneity in the Models of Complex Economic Systems. *Economics of Contemporary Russia*, 28 (3), 26–36. DOI: [https://doi.org/10.33293/1609-1442-2025-28\(3\)-26-36](https://doi.org/10.33293/1609-1442-2025-28(3)-26-36)
12. Anani L., Asiedu L., Katsekpor J. (2017) Comparison of Imputation Methods for Missing Values in Longitudinal Data Under Missing Completely at Random (MCAR) mechanism. *African Journal of Applied Statistics*, 4 (1), 241–258. DOI: <https://doi.org/10.16929/ajas/241.213>
13. Enders C., Du H., Keller B. (2019) A model-based imputation procedure for multilevel regression models with random coefficients, interaction effects, and nonlinear terms. *Psychological Methods*, 25 (1), 88–112. DOI: <https://doi.org/10.1037/met0000228>
14. Daberdaku S., Tavazzi E., Di Camillo B. (2020) A Combined Interpolation and Weighted K-Nearest Neighbours Approach for the Imputation of Longitudinal ICU Laboratory Data. *Journal of Healthcare Informatics Research*, 4, 174–188. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41666-020-00069-1>
15. Byvshev V.A., Bogomolov A.I., Kostyunin V.I. (2007) Mass evaluation of property cost parameters. *Vestnik Finansovoi akademii [Bulletin of the Financial Academy]*, 3 (43), 14–24.
16. Forrester J.W. (1971) *World Dynamics*, Encino, California: Pegasus Communications.
17. Monks T., Robinson S., Kotiadis K. (2014) Learning from discrete-event simulation: Exploring the high involvement hypothesis. *European Journal of Operational Research*, 235 (1), 195–205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.10.003>
18. Makarov V.L., Bakhtizin A.R. (2009) New instruments in social sciences – agent-oriented models: general description and specific examples. *Economics and Management*, 12 (50), 13–25.
19. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D. (2016) Agent-Based Models as a Means of Testing of Management Solutions. *Administrative Consulting*, 12 (96), 16–25.
20. Akopov A., Beklaryan A. (2023) Optimization of behaviour strategies within the simulation model of a multi-agent socio-economic system. *Economics and Mathematical Methods*, 59 (3), 117–131. DOI: <https://doi.org/10.31857/S042473880027006-5>
21. Phung T.P., Nguyen L.M.H., Pham H.T. (2025) Simulation-Optimization Framework for Designing Resilient Supply Chain Systems. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 14 (10) 105–111. DOI: <https://dx.doi.org/10.21275/SR25928121542>
22. Sterman J. (2000) *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*, Boston: Irwin/McGraw-Hill.
23. Aigumov A.A., Pshenokova I.A. (2024) Overview of methods for modeling complex socio-economic systems based on an agent approach. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 5 (26), 64–72. DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2024-26-5-64-72>
24. Bonabeau E. (2002) Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *PNAS*, 99 (3), 7280–7287. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.082080899>
25. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Vasenin V.A., Borisov V.A., Roganov V.A. (2016) Supercomputer technologies in social sciences: agent-oriented demographic models. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 86 (3), 248–257. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1019331616030047>
26. Jackson J., Rand D., Lewis K., Norton M., Gray K. (2016) Agent-Based Modeling: A Guide for Social Psychologists. *Social Psychological and Personality Science*, 8 (4), 387–395. DOI: <https://doi.org/10.1177/1948550617691100>
27. Gulin K.A., Dianov S.V., Alfer'ev D.A., Dianov D.S. (2024) Agent-based modeling methodology for the development of territorial logging systems. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 17 (6), 184–203. DOI: <https://doi.org/10.15838/esc.2024.6.96.10>
28. An L., Grimm V., Sullivan A., Turner II B.L., Malleson N., Heppenstall A., Vincenot Ch., Robinson D., Ye X., Liu J., Lindkvist E., Tang W. (2021) Challenges, tasks, and opportunities in modeling agent-based complex systems. *Ecological Modelling*, 457, art. no. 109685. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2021.109685>
29. Liechtenstein V.E., Ross G.V. (2015) *Equilibrium stochastic processes: theory, practice, infobusiness*, Moscow: Finansy i statistika.



30. Zvereva O.M., Berg D.B. (2013) Economic system agent-based communication model based on Leontyev's intersectoral balance. *St. Petersburg Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunication and Control Systems*, 6 (186), 77–86.
31. Korolev V. (2014) Stability solution of the equilibrium point. *Estestvennye i matematicheskie nauki v sovremenном мире [Natural and mathematical sciences in the modern world]*, 24, 13–20.
32. Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg I.J., Appleton G., Axton M., Baak A., Blomberg N., Boiten J.-W., da Silva Santos L.B., Bourne P.E. et al. (2016) The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3, art. no. 160018. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>
33. Monks T., Currie C.S.M., Onggo B.S., Robinson S., Kunc M., Taylor S.J.E. (2019) Strengthening the reporting of empirical simulation studies: Introducing the STRESS guidelines. *Journal of Simulation*, 13 (1), 55–67. DOI: <https://doi.org/10.1080/17477778.2018.1442155>
34. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Rossoshanskaya E.A., Doroshenko T.A., Samsonova N.A. (2023) Problems of standardizing agent-based model description and possible ways to solve them. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 93 (4), 362–372. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869587323040059>
35. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. (2015) Deep learning. *Nature*, 521, 436–444. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14539>
36. Kavak H., Padilla J.J., Lynch C.J., Diallo S.Y. (2018) Big data, agents, and machine learning: towards a data-driven agent-based modeling approach. In: *ANSS '18: Proceedings of the Annual Simulation Symposium*, art. no. 12. DOI: <https://doi.org/10.22360/springsim.2018.anss.021>
37. Zheng Y., Xu Z., Xiao A. (2023) Deep learning in economics: a systematic and critical review. *Artificial Intelligence Review*, 56, 9497–9539. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10272-8>
38. Tiwaskar S., Thite S., Mamoon R. (2025) A Comparative Analysis of Machine Learning Imputation Techniques for MAR Missingness. *Advances in Nonlinear Variational Inequalities*, 28 (3s), 46–57. DOI: <https://doi.org/10.52783/anvi.v28.2848>
39. Bakhtizin A.R. (2025) Tekhnologii II dlia modelirovaniia sotsial'no-ekonomiceskikh system [AI Technologies for Modeling Socioeconomic Systems]. In: *Issledovaniia po tsifrovoi ekonomike [Research in the Digital Economy]* (eds. M.I. Lugacheva, A.A. Kurdina), monograph, Moscow: MGU im. Lomonosova, 48–62.
40. Eden C. (1994) Cognitive mapping and problem structuring for System Dynamics model building. *System Dynamics Review*, 10 (2–3), 257–276. DOI: <https://doi.org/10.1002/sdr.4260100212>
41. Nicolini D. (1999) Comparing Methods for Mapping Organizational Cognition. *Organization Studies*, 20 (5), 833–860. DOI: <https://doi.org/10.1177/0170840699205006>
42. Kubriakova E.S. (2001) O kognitivnoi lingvistike i semantike termina «kognitivnyi» [On cognitive linguistics and the semantics of the term “cognitive”]. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Linguistics and intercultural communication*, 1, 4–10.
43. Tegarden D.P., Sheetz S.D. (2003) Group cognitive mapping: a methodology and system for capturing and evaluating managerial and organizational cognition. *Omega*, 31 (2), 113–125. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0305-0483\(03\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0483(03)00018-5)
44. Avdeeva Z.K., Kovriga S.V., Makarenko D.I. (2006) Kognitivnoe modelirovaniye dlia reshenii zadach upravleniia slabostrukturirovannymi sistemami (situatsiiami) [Cognitive modeling for solving problems of managing weakly structured systems (situations)]. *Kognitivnyi analiz i upravlenie razvitiem situatsii [Cognitive analysis and management of situational developments]* (CASC'2006), 41–54.
45. Zbrishchak S.G. (2017) System-cognitive approach to cooperative activities of the group of stakeholders. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 3 (6) 155–158.
46. Ivanus A.I. (2020) About Artificial Generation of New Knowledge. *Sistemnyi analiz v ekonomike – 2020 [Systems Analysis in Economics – 2020]*, 168–171. DOI: <https://doi.org/10.33278/SAE-2020.book1.168-171>
47. Golubev S.S., Gubin A.M., Ivanus A.I., Romanenko N.IU., SHCHerbakov A.G. (2023) Problemy sozdaniia semanticheskogo tezaurusa kak khranilishcha smyslov [The Challenges of Creating a Semantic Thesaurus as a Repository of Meanings]. *Innovatsii i investitsii [Innovations and Investments]*, 12, 326–329.
48. Artukhov V.V. (2021) *Obshchaya teoriya sistem: Samoorganizatsiya, ustoychivost', raznoobrazie, krizisy [General Systems Theory: Self-organization, Stability, Diversity, Crises]*, monograph, Moscow: Lenand.
49. Leontief W., Strout A. (1963) Multiregional Input-Output Analysis. In: *Structural Interdependence and Economic Development* (ed. T. Barna), London: Palgrave Macmillan. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-349-81634-7_8

50. Kantorovich L.V. (1939) *Mathematical Methods of Organizing and Planning Production*, Lenigrad: LGU.
51. Ventsel' E.S. (1963) *Matematicheskie metody issledovaniia operatsii* [Mathematical methods of operations research], Moscow: Voenizdat.
52. Chechnev V.B. (2024) Analysis and classification of the multi-criteria decision-making methods. *Ontology of Designing*, 14 (4), 607–624. DOI: <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2024-14-4-607-624>
53. Petrosyan L.A., Zenkevich N.A. (2002) Game theory, social and economic behaviour. *Ekonomicheskaya shkola. Analiticheskoe prilozhenie* [Economics school. Analytical application], 1 (1), 119–131.
54. Nisan N., Roughgarden T., Tardos E., Vazirani V.V. (2007) *Algorithmic Game Theory*, New York: Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511800481>
55. Labsker L.G. (2024) *Printsip optimal'nosti Val'da–Sevidzha v teorii igr s prirodoi* [The Wald–Savage optimality principle in game theory with nature], monograph, Moscow: KnoRus.
56. Vasil'ev V.A. (2023) Shapley Value of Homogeneous Cooperative Games. *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 63 (3), 474–490. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0044466923030122>
57. Busacker R.G., Saaty T.L. (1965) *Finite Graphs and Networks*, NY: McGraw-Hill.
58. Reschke H., Schelle H. (1990) *Dimension of Project Management*, Berlin: Springer-Verlag.
59. Hu Z.-g. (2011) A new progress in the theory of PERT. In: *IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 15–20. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIEEM.2011.6035095>
60. Suvorov A., Ivantyer V., Sutyagin V. (2015) The main objectives and principles of socio-economic forecasting. *Administration*, 3 (1), 8–17. DOI: <https://doi.org/10.12737/8785>
61. Bogdanov A.A. (1989) *TektoLOGIja: Vseobshchaia organizatsionnaia nauka* [Tectology: General Organizational Science], Moscow: Ekonomika.
62. Von Bertalanffy L. (1962) General System Theory – A Critical Review. *General Systems*, 7, 1–20.
63. Sadovskii V.N. (1974) *Osnovaniia obshchei teorii sistem. Logiko-metodologicheskii analiz* [Foundations of General Systems Theory. Logical and Methodological Analysis], Moscow: Nauka.
64. Uemov A.I. (1978) *Sistemnyi podkhod i obshchaia teoriia sistem* [Sistemnyi podkhod i obshchaia teoriia sistem], Moscow: Mysl'.
65. Kornai J. (1998) *The System Paradigm*, Ann Arbor, MI: The Davidson Institute.
66. Helbing D. (2010) Pluralistic Modeling of Complex System. *arXiv:1007.2818*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1007.2818>
67. Shchepetova S.E. (2016) *Printsipy sistemnoi optimizatsii v sotsial'no-ekonomiceskoi sfere* [Principles of System Optimization in the Socioeconomic Sphere]. *Sistemnyi analiz v ekonomike – 2016* [Systems Analysis in Economics – 2016], 31–42.
68. Charajedaghi J. (2006) *System Thinking. Managing Chaos and Complexity*, Burlington, MA: Elsevier INC.
69. Al'tshuller G.S. (2008) *Naiti ideiu: Vvedenie v TRIZ – teoriu reshenii izobretatel'skikh zadach* [Find an Idea: An Introduction to TRIZ – The Theory of Inventive Problem Solving], Moscow: Al'pina Publisher.
70. Kleiner G. (2006) Systemic structure of economy and economic policy. *Problemy teorii i praktiki upravleniia* [Problems of management theory and practice], 5, 8–21.
71. Kleiner G.B., Shchepetova S.E., Drogobyskii I.N., Prokopchina S.V., Kruzhilov S.I., Moiseev N., Rybachuk M.A., Rytikov S.A., SHmerling D.S., Grigoriadi E.M., Il'in R.A., Isaeva A.A., Sirota E.N., Shcherbakov G.A. (2021) *Sistemnye osnovy innovatsionnoi ekonomiki v tsifrovom mire* [Systemic foundations of an innovative economy in the digital world] (eds. G.B. Kleinera, S.E. SHCHepetovoi), monograph, Moscow: Nauchnyi mir.
72. Meneghetti A. (2007) *Sistema e personalità*, Roma: Psicologica.
73. Shchepetova S.E. (2014) Lichnostnye i sistemnye arkhetypy kak model'nyi fundament ob"iasneniiia sotsial'no-ekonomiceskikh iavlenii [Personality and system archetypes as a model foundation for explaining socio-economic phenomena]. *Sistemnaia ekonomika, ekonomiceskaiia kibernetika, miagkie izmereniia* [System economics, economic cybernetics, soft dimensions], 91–95.
74. Kussy M.Yu. (2022) *Epistemological aspects of self-organization processes in socio-economic systems from the standpoint of economic and mathematical modeling*, monograph, Mosco: INFRA-M. DOI: https://doi.org/10.12737/monography_5d0c698e03c0c8.56932496
75. Kleiner G.B. (2023) Evidence-based modeling as a perspective tool for scientific research of socio-economic processes. *Economics and Management: Problems, Solutions*, 2 (6), 5–16. DOI: <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2023.06.02.001>



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

ЩЕПЕТОВА Светлана Евгеньевна

E-mail: sv.shchepetova@gmail.com

Svetlana Ye. SHCHEPETOVA

E-mail: sv.shchepetova@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1545-7383>

Поступила: 07.11.2025; Одобрена: 10.12.2025; Принята: 10.12.2025.

Submitted: 07.11.2025; Approved: 10.12.2025; Accepted: 10.12.2025.