

УДК 303.4:004.94

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ: НА ПУТИ К ТЕОРИИ СЛОЖНОСТИ И СИНЕРГЕТИКЕ

Н.Н. Лычкина (Москва)

Введение. Динамика развития и динамические модели социально-экономических систем

Развитие экономики, социально-экономическое развитие страны и ее территорий (регионов), предпринимательской сферы, разработка и реализация проектов стратегического развития, смена экономических парадигм определяют необходимость поиска конструктивных подходов к адекватному *моделированию процессов развития и самоорганизации в социально-экономических системах* на основе технологии компьютерного имитационного моделирования и принципов синергетики и современной теории сложности.

Стратегии и сценарии развития общества формируются в условиях возрастающей сложности и высокой неопределенности, приобретают характер непрерывных изменений. Расширяется пространство возможных стратегий и вариативность сценариев, обеспечивающих стремление к желаемому будущему и целевому состоянию.

Стратегия развития определяется как траектория развития объекта управления в условиях динамических и неопределенных изменений, происходящих во внешней среде. Общие постановки задач по формированию стратегии развития включают:

- анализ возможных траекторий развития и выявление тенденций;
- анализ достижимости сформулированных целей за заданное время и оценку риска недостижения целей;
- сценарный анализ и поиск эффективных сценариев развития.

Стратегия развития. Под стратегией понимается системное развитие во времени сложной социально-экономической системы (СЭС), когерентное и совместное развитие ее подсистем. Динамика такого развития требует анализа траектории движения системы из текущего состояния к конечной цели (в многофазном пространстве параметров), долговременной эволюции сложной СЭС. В задачах стратегического развития и формирования стратегии требуется динамический анализ траектории развития и оценка долгосрочных последствий принимаемых решений на основе методов сценарного анализа.

Развитие и рост – разные категории; под развитием понимается качественное изменение системы, изменение (трансформация) ее структуры, появление новых структур и свойств. Речь идет о развернутых во времени качественных трансформациях системы (очевидно, что система находится не в статичном состоянии, а в постоянном движении).

Социально-экономические системы являются сложными динамическими развивающимися системами. Сложные проблемы и изменения во всех сферах жизни общества определяют динамику происходящих социально-экономических процессов, характер структурных преобразований и трансформаций, что требует формирования нового видения и модели развития общества, дающих понимание процессам развития, которые не могут быть объяснены с помощью статичных математических моделей, опирающихся на концепции равновесия и оптимизации, традиционно применяемые в экономике и других науках об обществе.

СЭС обладают структурной и динамической сложностью, в условиях развития демонстрируют ряд специфических динамических феноменов, среди них:

- структурная сложность, сложная (иерархическая, сетевая) и неоднородная структура, структурные изменения;
- множественные причинно-следственные связи, положительные и отрицательные обратные связи, цепи обратных связей; причина и следствие разделены во времени и пространстве;
- нелинейный характер явлений, управление через обратные связи, адаптивность; множество влияющих факторов;
- динамическая сложность (задержки, нестационарные процессы, скорость процессов различна) осложняет интерпретацию системного поведения (взаимодействия); неустойчивость, колебательные процессы в системе.
- эволюция и изменение направления развития, фазовые переходы; историческая зависимость (зависимость от пути).
- развитие, многовариантность развития, ветвление траекторий;
- правила принятия решений (сценарии развития) могут изменяться во времени; конфликты между долгосрочными и краткосрочными решениями;
- неопределенность, хаотические факторы, стохастические процессы, неопределенность развития системы во времени;
- самоорганизация, динамическое поведение и новые структуры могут возникать самопроизвольно; воспроизведение внутренней организации СЭС посредством самоорганизации;
- поведенческие аспекты и взаимодействия агентов (иррациональное поведение экономических агентов, сотрудничество-конкуренция, коллективное социальное поведение).

Анализ динамики развития СЭС, исследование динамических феноменов развивающихся СЭС включает описание динамики ее внутренней структуры (когерентное развитие подсистем) и динамики внешней среды, а также процедур управления динамикой развитием на основе динамического сценарного анализа. В условиях развития существенными для моделирования становятся динамические свойства системы, изменение во времени сложной системы (СС) и ее структуры, когерентное изменение во времени ее элементов, механизмы образования новых структур, связей и свойств СС. Процесс разработки стратегических решений характеризуется динамической сложностью и требует анализа согласованного развития во времени трех траекторий: внутренняя динамика, внешняя динамика, динамика управления.

Сложность часто делает аналитические подходы вообще невозможными. Так почему же ученые и исследователи для анализа социально-экономических процессов применяют статичные модели (с опорой на концепцию о равновесии и др.), не способные предсказать экономические кризисы и долгосрочные последствия принимаемых решений в условиях изменений и динамической сложности? Может быть они просто не знают, что уже давно есть имитационные модели, динамические по своей природе, или просто не умеют их применять (в силу вычислительной сложности) в управленческой деятельности (или не доверяют им)?

Целью настоящего исследования является краткий критический и сравнительный анализ традиционных инструментов моделирования, применяемых в экономических и социальных науках с набирающими уже почти 30 лет активность подходами моделирования компьютерной экономики и социологии. А также рассмотрение конструктивных подходов к системно-динамическому (имитационному) моделированию процессов развития в социально-экономических системах с позиций теории сложности и базовых положений синергетики. Автор рассматривает общий многопарадигмальный фреймворк для моделирования развивающихся СЭС и основные

принципы построения многопарадигмальных моделей, описывающих различные страты развивающихся социально-экономических систем. Обозначены ключевые направления развития технологии системного моделирования в исследовании многоуровневых социально-экономических систем. В заключительной части обозначены ключевые, на взгляд автора, задачи и перспективы развития вычислительных методов, основанных на технологии имитационного моделирования, в приложениях к общественным и управленческим наукам, продвижения их в реальные проекты общественного развития и разработки политик.

1. Исследование социально-экономических систем с позиций теории сложности

Фрагментарность, не системность и статичность моделей, применяемых в традиционной экономике и социологии, ограничивают возможности их использования в качестве базы для реальных управленческих решений, особенно в стратегическом управлении и долгосрочном стратегическом планировании.

Математический аппарат, традиционно применяемый в экономических и социальных исследованиях, не позволяет адекватно воспроизводить рассмотренные выше динамические феномены в развивающихся социально-экономических системах. Экономическая наука исторически приняла более простой подход, в большей мере тяготеющий к математическому анализу, модели имеют ограничивающую аксиоматику в отношении описания неравновесных процессов (доминирует концепция экономического равновесия), микро-оснований и поведения экономических агентов на микро-уровне. Исследователи отмечают фрагментарность (разрыв между макро- и микро-уровневыми описаниями) и статичность моделей в экономической теории и социологии.

Доминирует концепция рационального агента (и оптимизация) и агрегированный подход к описанию экономических агентов, отсутствие в описании экономических процессов индивидуального поведения экономических агентов и их взаимодействия.

Современные направления экономической теории (неоинституционализм, эволюционная теория, поведенческая экономика и др.) анализируют эндогенные факторы развития экономической системы, неравновесные процессы, постулируют, что явления экономической жизни зависят от модели поведения экономических агентов, рассматривают институциональные структуры как спонтанную самоорганизацию агентов. Концепция ограниченной рациональности, развитие поведенческой экономики и экономической социологии требуют разработки методов включения их гипотез в модели социально-экономических процессов. В работах по экономике сложности отмечается [1, 2]: *«Рассматривать экономику, или сферы экономики, с точки зрения сложности означает задаваться вопросами о том, как экономика эволюционно развивается, а это означает детальное исследование того, как поведение индивидуальных агентов совместно формирует некий результат и как последний, в свою очередь, может изменить в итоге поведение агентов»*. Хотя мейнстримная экономическая теория справедливо настаивает на микроосновах мезо- и макроуровневых явлений, в целом ей не хватает обратной связи между этими уровнями и научного формализма и инструментов для описания. Для этого необходимо моделировать основные структурные, институциональные и поведенческие характеристики сложной экономической системы, как экономическая система развивается во времени на основе взаимодействия агентов.

Системные концепции, рассматривающие экономические и социальные системы, опираются на описание экономических и социальных систем как многоуровневых, многокомпонентных, состоящих из большого числа элементов, пытаясь описать сложный состав, структуру, а также разнообразие элементов, взаимодействующих в

таких системах. Однако им не хватает должной формализации и применения компьютерных моделей, открывающих динамические перспективы ученым, изучающим закономерности в развитии общества, и практикам, пытающимся оценить последствия принимаемых ими решений и обосновать разрабатываемые политики и программы в долгосрочной перспективе.

Оформляются отдельные системные концепции в экономике [3] и других общественных науках: социологии и «неравновесных» социальных науках, а также разработка политик в государственном и региональном управлении [4], менеджменте [5], эколого-экономических дисциплинах (концепция устойчивого развития), форсайт-исследованиях будущего [6], приходит понимание, что социально-экономические системы являются неравновесными, сложными адаптивными системами.

Концепция ограниченной рациональности, опора на ментальные модели агентов, принимающих решения, сетевые формы взаимодействия агентов и другие факторы, определяющие поведенческие и коммуникативные аспекты при реалистичном описании поведения человека, не могут быть адекватно воспроизведены на основе концепции гиперрационального агента и методов оптимизации, предположения об агрегированном и однородном агенте.

Деятельность и социальные структуры в социологии. В социальных науках об обществе исследуется поведение и взаимодействие людей. Понятие социальной структуры (социоконфигурации) связывается с динамикой и строится как производное от социального действия и взаимодействия. Социологи пытаются понять закономерности в поведении общественной системы, но их методы и инструменты имеют ограниченные возможности. Критика структурно-функционального подхода, присутствующего в фундаментальных работах социологов, теории социальных действий Парсона за слабое отражение характера развития общественной системы и возможности описания динамики развития социальной системы присутствует и в социологических науках. Возникающее на микроуровне социальное и экономическое поведение может приводить к глобальным изменениям общественной системы. Традиционный аналитический инструментарий социологических исследований выявляет поверхностные проявления в социуме, не позволяя выявить системные закономерности, а также множественные феномены возникновения (образования социоконфигураций за счет спонтанной самоорганизации индивидов), проявляющиеся в развитии общества.

Сегодня социология активно принимает принципы сложности благодаря растущему вниманию к сложным адаптивным системам, рассматривая человеческие общества как чрезвычайно сложные, зависящие от предшествующего развития, далёкие от равновесия и самоорганизующиеся системы. Так, социология, в силу своего предмета исследования, продвинулась более всего в применении агентно-ориентированного имитационного моделирования (ABMS), чему свидетельствует анализ научных работ в этой области. Генеративная социальная наука [7] демонстрирует исследование феноменов возникающего поведения и генерируемых компьютерной моделью макро-структур на основе детального описания поведения агентов и их взаимодействия (микро-спецификаций), дающих понимание и объяснение происходящих социальных процессов и того, как макроскопические закономерности возникают с течением времени из взаимодействия автономных и гетерогенных агентов (эмерджентный характер социальной динамики), в целом ряде приложений: возникновение сотрудничества и коллективное поведение, эволюция, обучение, нормы, рынки, институциональный дизайн и социальные сети и многих других [8].

Формирующаяся концепция агентности (Agency) в некоторых общественных дисциплинах пытается дать объяснение социально-экономическим системам как результату деятельности человеческих субъектов, встроенных в социальные группы (как

правило, сетевые сообщества) и структуры, деятельность которых координируется нормами (правилами) и институтами, исследует роль Акторов в трансформационных переходах [9].

Урбанистика: города рассматриваются как развивающиеся системы (разрастающиеся и разрушающиеся в различных пространственных и временных масштабах, находящиеся в состоянии дисбаланса) с сильной изменчивостью городских форм и функций [10].

Политические науки делают сегодня акцент на изменение доминирующих подходов к управлению и регулированию и изменению традиционной политики «сверху вниз» (решения, принимаемые политиками, воздействие на институты) на «снизу вверх» (деятельность человеческих субъектов, эндогенно реагирующих на политические решения и оказывающих влияние на общественные процессы и формирование институциональных структур и социальных норм) [5].

Как правило, в описании и анализе социально-экономических процессов (а фокус делается именно на процессы) выделяют несколько аналитических уровней: на нишевом или микро-уровне традиционно рассматривается поведение агентов, которое также меняется со временем; на мезоуровне – системные структуры; и макроуровне – вся социально-экономическая система.

Смена парадигм в общественных науках требует изменения методов и инструментов динамического анализа, опирающегося на принципы системности и поворота к вычислительным методам имитационного моделирования социально-экономических процессов.

2. Компьютерная экономика и социология – сияющий путь к вершинам

Поиск адекватных модельных конструкций, описывающих процессы развития и самоорганизации в социально-экономических исследованиях, опирается на трансдисциплинарные исследования в области экономики, социологии, современные направления системологии: теории сложности и синергетики, а также современные методы и технологии имитационного моделирования, составляющие основу современных научных направлений компьютерной экономики (*Computational Economics*), компьютерной социологии (*Computational Sociology*) & агент-ориентированная вычислительная экономика (социология) [11,12], пытающихся описать сложное поведение агентов, динамическое представление поведения агентов и продемонстрировать как общее макро-поведение системы вытекает из реалистичных микро-структур и моделирования процесса принятия решений. Становление методов компьютерной экономики и социологии включало ряд этапов и волн (и процесс развития не закончен), а именно:

- исследование макро-экономических процессов и формирование принципов адаптации и эволюции макро-экономических систем на основе методов системной динамики [13];

- «переход от факторов к акторам» [8], становление агентской парадигмы, позволяющей строить модели Человека;

- развитие микро-оснований глобальных моделей и создание искусственных сообществ, населяющий микро-миры [14];

- развитие многоагентных модельных технологий (с приходом понимания, что агенты сами являются довольно сложными системами, адаптивными и интеллектуальными, что требует модельного описания сложных поведенческих паттернов для агентов принятия решений).

Очевидно, что объяснения явлений, возникающих на мезо- или макроуровне, должны основываться на микроуровневых основах и правилах поведения агентов и их взаимодействии. Поведение Акторов оказывает влияние на социально-экономические

процессы, социальные структуры и институты, возникающие и протекающие на мезо- и макро-уровнях общественной системы. Однако описание динамических феноменов самоорганизации, динамическая реконфигурация структур, взаимосвязь макро-мезо-микро-уровневых представлений еще не достигнута, и соответствующие феномены недостаточно исследованы с помощью имитационных моделей, существующие модели все еще фрагментарны. Мост междисциплинарных исследований в экономических и социальных науках еще шаткий и отсутствуют адекватные модельные конструкции.

Разворот в сторону компьютерных методов в экономических исследованиях позволяет перейти от традиционной экономики к системному исследованию экономики с позиций теории сложности, выстроить междисциплинарные исследования, мост между экономическими и другими общественными науками (социологией, демографией, государственным и региональным управлением, урбанистикой, организационными науками и др.). Поворот как с точки зрения смены экономических парадигм, так и применяемых методов исследования, и их аналитических преимуществ, сведен автором в табл. 1.

Таблица 1. Теоретико-методологический базис изучения и моделирования динамических свойств социально-экономических систем

	Традиционная экономика	Экономика сложности (complexity economy)
Экономические парадигмы	Неоклассическая экономика	Неоинституционализм. Эволюционная теория. Поведенческая экономика. Экономическая социология. Когнитивные науки
Теоретико-методологический базис	Теория экономического равновесия	Теория сложности. Экономическая динамика. Социодинамика. Агент-ориентированная вычислительная экономика (социология)
Описание макро-мезо-микро уровней	Разрыв между макро и микро-уровневыми описаниями	Взаимосвязь макро и микро-уровня. Появление в описании мезо-уровня. Закономерности формируются из индивидуального поведения, и наоборот, индивиды реагируют на паттерны макроуровня. Рекурсивный цикл
Микро-экономика	Агрегированные однородные агенты.	Разнородные (гетерогенные) активные агенты
Как агенты принимают решения	Принцип рациональности. Концепция рациональных ожиданий	Ограниченная рациональность (ментальные модели). Адаптация агентов. Стратегии агентов (Акторов)
Взаимодействие агентов	Не рассматривается	Субъектно-ориентированные среды. Системная парадигма. Синергетика
Системология	Теория систем. Кибернетика (адаптивные системы)	Неравновесная динамика. Развитие. Эволюция. Самоорганизация. Саморазвивающиеся системы. Структурные изменения и трансформации (эндогенное влияние). Динамическая реконфигурация структур.
Феномены и паттерны	Равновесие. Влияние экзогенных факторов	

	Традиционная экономика	Экономика сложности (complexity economy)
	Статика. Отрицательные обратные связи.	Динамика внутренней структуры и среды. Положительные и отрицательные обратные связи, циклическая причинность. Разнотемперальные процессы. Нелинейность. Неопределенность и хаос. Самоорганизация. Возникающее поведение. Бифуркация (альтернативные траектории развития). Зависимость от траектории пути
Модели/вычислительные методы	Математические методы. Эконометрика	Нелинейная динамика. Алгоритмические (имитационные S&M) модели (ABMS, SD). Гибридные подходы
	Закономерности известны априорно	Закономерности выявляются
	Моно-модели. Фрагментарность и не системность	Компьютерное моделирование. Иерархия компьютерных моделей. Комплексы моделей
Методы исследований	Расчетный	Компьютерный эксперимент (разведка). Эмпирические исследования. Проверка гипотез. Выявляются новые закономерности и знания
Антропность	Игнорирование социальных аспектов в экономических исследованиях. Ограниченность инструментов исследования в социальных науках	Человеко-размерные саморазвивающиеся социально-экономические системы
	Противоречие между человеком «экономическим» и «социологическим»	Конвергентность экономических и социальных наук
Междисциплинарность	Труднодостижима. Отсутствие согласованности между моделями	Междисциплинарные исследования. Семантическая согласованность моделей
Управление сложностью и развитием	Отрыв проблематики управления от проблематики развития	Динамические сценарии развития. Управление развитием. Стратегии развития
Инфраструктура информационно-аналитической деятельности	Системы поддержки принятия решений	«Фабрики мысли» и интеллектуальные центры. Конвергенция технологий

Теоретико-методологический базис моделирования развития в социально-экономических системах образуют теория сложности, базовые положения синергетики.

Современная «теория сложности», провозглашенная группой ученых из института Санта-Фе (SFI) [15], является, по сути, попыткой проведения междисциплинарных исследований на стыке целого спектра наук о системах (системологии), включая а) синергетику; б) экономические и социальные науки (поиск аналогий с естественными системами); в) прикладные вычислительные методы, прежде всего агентно-

ориентированного имитационного моделирования, дополняемого методами анализа больших данных и искусственного интеллекта.

Опора на синергетику при построении компьютерных моделей социально-экономических систем позволяет исследовать процессы эволюции, способности сложной социальной системы к самоорганизации и развитию, выявлять специфические динамические феномены в развивающихся сложных системах, такие как самоорганизующиеся и динамически реконфигурируемые структуры, причем процесс формирования новых структур происходит спонтанно за счет связующих решений агентов на микро-уровне и развернут во времени. Новое понимание времени и динамики самоорганизующихся систем связано с анализом чередующихся как равновесных, так и неустойчивых состояний, анализом отрицательных и положительных обратных связей, ролью случайных факторов в неравновесных процессах, изменением среды в ходе эволюции под воздействием изменений на микро-уровне, возможностью анализа разнотемперальных процессов, многовариантности траекторий развития.

Изменяются подходы к управлению развитием [16] через эксперимент и сценарное исследование, при этом необходимо учитывать возможности системы к саморазвитию, разворачивать управленческие сценарии во времени, находить время и точки приложения управленческих решений в согласовании с внутренними возможностями и текущими состояниями системы.

При традиционном математическом моделировании сложно достигнуть семантической согласованности и единства между многоликими модельными представлениями разных стратов и описаний сложной системы. Синергетика же предлагает иерархический подход к построению взаимосвязанных моделей. Нет недостатка в философских обобщениях по применению синергетики в экономике и социологии [17], однако конструктивных модельных подходов, базирующихся на принципах синергетики, предложено крайне недостаточно и с применением нелинейной динамики [18,19], также обладающей ограничивающей аксиоматикой для описания социально-экономических процессов. Современное компьютерное имитационное моделирование открывает такие возможности [20-22].

3. Парадигмы имитационного моделирования, применяемые в описании социально-экономических процессов

Наиболее яркие парадигмы имитационного моделирования, нашедшие применение в социально-экономических исследованиях, это системная динамика (SD) и агентно-ориентированное имитационное моделирование (ABMS). Они демонстрируют различные описательные возможности для воспроизведения динамических феноменов в социально-экономических системах. Сравнительный анализ парадигм имитационного моделирования представлен в табл. 2.

Системная динамика (SD) базируется на концепции потоковой стратификации СС и дает понимание, что определяющее значение в описании динамики системы имеет ее структура, представленная в виде взаимодействующих потоков и взаимодействия множественных контуров обратной связи в ее структуре. Метод предложен американским ученым Дж. Форрестером [20]. Системная динамика подходит для описания эволюции системы (движение в фазовом пространстве), дает стратегическое представление о поведении системы, отражает медленные процессы и непрерывное время, позволяет проводить качественный анализ и наблюдение долговременной траектории развития системы в целом. SD позволяет рассматривать ко-эволюцию и когерентное (совместное) развитие множества подсистем, адаптацию глобальной системы, зависимость от исторического пути, т.е. хорошо воспроизводятся многие динамические феномены, характерные для макро-уровня сложной социальной системы.

Когнитивный анализ, экспертиза служат основой для построения моделей этого класса, что предполагает знание экспертов о закономерностях на системном уровне, модели строятся сверху вниз. Применяется выразительный язык системно-поточковых диаграмм, что полезно для взаимодействия экспертов в условиях междисциплинарных проектов. Создание и параметризация моделей осуществляется в условиях массовой экспертизы, с применением эвристик, методов когнитивной аналитики и анализа данных. Однако SD демонстрирует агрегированный подход, ограничена в описании поведенческих аспектов разнородных агентов, механизмы самоорганизации и трансформирующихся структур и некоторые другие динамические и поведенческие аспекты, характерные для микро-и мезо-уровня сложной системы, слабо реализуются с помощью SD [23].

Таблица 2. Сравнение возможностей парадигм имитационного моделирования в описании динамических феноменов в социально-экономических системах

Парадигма имитационного моделирования	Системная динамика (Systems Dynamics)	Агентно-ориентированное имитационное моделирование
Содержание парадигмы и способ структуризации	Концепция потоковой стратификации (взаимодействие потоков различной природы) и взаимодействие контуров обратной связи	Идентификация поведения и взаимодействия агентов (микроспецификация)
Структура	Динамика системы определяется ее структурой. Структура не изменяется	Формируется. Появление новообразованных структур. Динамическая реконфигурация структур
Адаптивность	Адаптивные свойства системы. Эволюция как движение системы в фазовом пространстве	Адаптивные агенты (изменяющие свое поведение, обучающиеся)
Принципы построения моделей	Сверху вниз. Агрегированно. Глобально. Структуризация проблемы	Снизу вверх. Детализация. Локально. Глобальные закономерности не известны
Техника построения компьютерных моделей	Диаграммы. Причинно-следственный анализ (ДПСС). Поточковые диаграммы	Объектно-ориентированное программирование
Анализ	Качественный и количественный анализ траектории развития (эволюции). Когнитивный анализ.	Ментальные модели. Изучение новых феноменов

Агентно-ориентированное имитационное моделирование (ABMS) [24] демонстрирует сложное поведение активных Агентов принятия решений, дает понимание, что структура Системы формируется в результате децентрализованных решений Агентов с течением времени. Активными элементами экономической и социальной системы являются люди, отдельные лица, организации. Поведение агентов как в его индивидуальных, так и в коллективных проявлениях имеет существенное значение при изучении социально-экономических процессов. Агенты (экономические агенты, элементы социума, организации) имеют возможные уровни представлений: а) индивидуальное поведение, множество типов экономического поведения и социального действия; б) групповая динамика, социальное взаимодействие.

Сами Агенты тоже достаточно сложная система. Экономический агент может иметь определенную рациональность, если он действует на рынке, но он никогда не обладает полной информацией. Он конкурирует или сотрудничает, меняет свое поведение под влиянием изменений в институциональной среде и стратегий,

реализуемых другими участниками. Действия агентов на рынке предопределены личным интересом и индивидуальным поведением, институциональным влиянием, отношениями, которые складываются между агентом и средой. Есть ряд наук, прежде всего, организационное поведение, когнитивная психология, доказывающих, что индивиды иррациональны, что они обладают менталитетом, эмоциональностью; их действия направляются их собственными правилами, реализацией их личных ментальных моделей. Важным стимулом развития этого направления стала замена экономической парадигмы о рациональном поведении экономических агентов и ограниченности поддерживающего ее математического аппарата концепцией ограниченной рациональности лиц, принимающих решения, начиная с фундаментальных работ Герберта Саймона, развитие идей обучающей организации, поиск методов описания обучающихся на основе опыта интеллектуальных экономических и социальных агентов. Характеристики агента меняются со временем. Он накапливает опыт и знания, обогащает свои ментальные модели, на основе которых принимает решения.

Агентно-ориентированные модели описывают сложную групповую экономическую динамику: сетевые формы организации, сотрудничество и оркестровку, согласование совместных решений, конкуренцию, стратегии сотрудничества и др. Агентно-ориентированные модели в социологии позволяют изучать социальные паттерны на основе социального взаимодействия между гетерогенными агентами, встроенными в социальные структуры. Человек в обществе является не только экономическим агентом, максимизирующим функцию полезности, но и личностью, обладающей свободой выбора и реализующей способы индивидуального поведения. У разных людей есть множество потенциальных типов поведения. Вектор их активности в определенной степени характеризуется «пассионарностью», которая неодинакова в разных социальных группах. Состав социальных групп изменчив. Он формируется под влиянием общих социально-экономических тенденций, происходящих в обществе. Общественные науки изучают феномены возникновения социального и человеческого капитала, которые формируются в процессе социального взаимодействия и общественного воспроизводства. В результате сетевого взаимодействия создаются группы, формируются институты и социальные структуры. Поэтому на микроуровне СЭС мы принимаем во внимание решения и действия индивидов, мотивы и нормы поведения которых являются характеристиками тех или иных социальных групп, формы их взаимодействия, образование различных социоконфигураций.

Известное противоречие в описаниях между «человеком экономическим» и «человеком социальным» при таком моделировании удастся преодолеть, создавая человеко-размерные саморазвивающиеся среды, разворачивая платформу для широких междисциплинарных исследований в области социальных, экономических и организационных наук. Спецификация агентов сегодня может быть выполнена на основе достижений социальных и организационных наук, а также психологии и когнитивных наук, анализа эмпирических данных с применением технологий анализа больших данных. Сложились уже *фреймворки (архитектуры социальных агентов)* [25], описывающие поведение человека в агентно-ориентированных моделях, учитывающие и описывающие такие факторы, определяющие поведение людей и то, как они принимают решения: познание (когнитивные агенты), эмоции, личность, социальные отношения (включение в сложные социальные структуры) и нормы, что позволяет создавать реалистичные модели Акторов (Людей) с правдоподобным поведением (настоящий искусственный интеллект!).

Именно на микроуровне запускаются процессы самоорганизации. Социальное поведение, формирующееся на микроуровне, может приводить к глобальным

изменениям общественной системы. Это позволяет наблюдать и изучать закономерности, динамику, характерные для Системы в целом. Агентная модель позволяет исследовать индивидуальное поведение различных групп агентов, специфику их приспособления к изменяющейся среде, влияние процессов самоорганизации на эволюцию и развитие социально-экономической системы в целом. Таким образом, ABMS предоставляет выразительные возможности в описании поведения гетерогенных активных агентов и их взаимодействия на микро-уровне, самоорганизации, динамически реконфигурируемых (новообразованных) и изменяемых структур и др. динамических феноменов СС. Модели строятся «снизу вверх», свойства глобальной системы проявляются через компьютерный эксперимент, и априорно при создании модели не задаются. Без ABMS вряд ли было бы возможно воспроизведение большинства рассмотренных выше динамических феноменов развития и самоорганизации в социально-экономических системах, характерных для микро-уровня СС: многочисленность и разнородность агентов, сложные поведенческие паттерны и их взаимодействия, адаптивное изменение свойств самих агентов, самоорганизация и модификация структур в результате взаимодействия агентов.

Экспериментальная природа имитационного моделирования создает поле для эмпирического исследования на компьютерной модели и расширяет возможности для познания и выявления новых паттернов и закономерностей в поведении СС. Динамический компьютерный сценарный анализ, разворачиваемый на обобщенной имитационной модели СЭС, выступает как инструмент поиска эффективных стратегий управления развитием.

Любая социально-экономическая система является многоуровневой. Программная природа имитационных моделей позволяет создавать комплексы моделей для различных стратов и описаний СС, обеспечивая информационное и семантическое единство моделей комплекса.

4. Общий многопарадигмальный фреймворк имитационного моделирования развивающихся социально-экономических систем на основе принципов стратификации

Стратификация структурных слоев моделируемой СЭС и интерпретация взаимодействия между ними. В социально-экономической системе макро-уровень и микро-уровень развиваются совместно. Это обеспечивает лучшее понимание всего фазового портрета развития. Совместное поведение агентов влияет на эволюцию экономик и динамику социальной структуры. Изменяющиеся среды определяют поведение и взаимодействие агентов. Различные слои СЭС характеризуются разной степенью организованности и характером динамических процессов, протекающих в различных стратах СЭС.

Макро-уровень обобщенной модели СЭС описывает состояние, базовую структуру и развитие (эволюцию) СЭС, коэволюцию различных подсистем СЭС (население, демография, экономика, экология, социальная сфера и др). В основном это медленные процессы. На микро-уровне воспроизводится поведение разнородных социально-экономических агентов и их взаимодействие (в социуме и экономической жизни), индивидуальные стратегии Акторов, целеустремленных и активных агентов принятия решений. Поведение агентов осуществляется на основе их ментальных моделей. Обычно здесь дискретное время, события и быстрые процессы. Динамика микро-уровневого слоя демонстрирует изменение числа агентов, их свойств и правил принятия решений, обучение и адаптацию агентов с течением времени под воздействием поведения других агентов и изменяемой среды, в которой существуют активные агенты принятия решений. Возможно выделение мезо-уровня, на котором демонстрируется, как образуются социальные структуры, институты, организационные формы в результате

взаимодействия Акторов. Именно здесь проявляется важный феномен эмерджентности: самоорганизация и динамическая реконфигурация структур, образование новых структур и конфигураций. Это важный динамический феномен, когда процесс образования новых структур разворачивается во времени, а не фиксируется структура.

Получается рекурсивный цикл: циклическая взаимосвязь процессов, протекающих на микро и макро-уровнях. Подходы, базирующиеся на стратификации при построении модельного комплекса социально-экономической системы, дополняются контурной взаимозависимостью между уровнями, описанием восходящих и нисходящих взаимодействий между уровнями. Нисходящее взаимодействие демонстрирует как Агенты меняют свое поведение в зависимости от состояния среды. Восходящее – как поведение Агентов, системные качества социума (коллективные организационные формы), вновь образуемые структуры влияют на эволюцию системы в целом. Это позволяет преодолеть фрагментарность в описании социально-экономической системы, выстроить мост между макро- и микро-уровнями – все меняется во времени.

Рассмотренные подходы к стратификации обобщенной динамической модели процессов развития в социально-экономических системах реализуются на основе принципов композитного сочетания методов системной динамики (SD) и агентно-ориентированного имитационного моделирования (ABMS), многопарадигмального подхода к построению комплекса имитационных моделей СЭС. Компенсационное сочетание различных парадигм имитационного моделирования предоставляет большие возможности для объединения представлений микро и макро-уровня на основе единого модельного фреймворка. Макро-уровень и процессы эволюции СЭС воспроизводятся посредством SD, микро-уровневые поведенческие феномены и взаимодействие агентов посредством ABMS. Интерпретация взаимодействий социально-экономических конфигураций основана на анализе причинно-следственных связей и динамических проявлений взаимопроникновения явлений, происходящих в разных стратах социально-экономической системы [22, 26].

Предложенные автором подходы к построению мультипарадигмальных модельных комплексов применялись для моделей социальной сферы [27], региональных (территориальных) систем, коллаборативных ЦП [28] и поддерживают широкие междисциплинарные исследования в экономике и социологии, управлении организационными системами.

5. Развитие технологии системного моделирования в проектах стратегического развития

Основные направления развития технологий системного моделирования, обеспечивающие их применение в проектах стратегического развития:

- принципы построения многопарадигмальных моделей и модельных комплексов;
- стратификация и методы формирования стратифицированного описания проблемы и системы (как технология концептуализации);
- онтологическое моделирование как инструментарий формирования информационного взаимодействия и семантической согласованности моделей многомодельного комплекса;
- формализация и информационно-аналитическая поддержка процедур стратегического планирования (в проектах стратегического развития);
- динамический компьютерный сценарный анализ: развитие методологии и инструментария сценарного подхода;

- построение моделей баланса интересов (сценарный подход и экспертиза, средства экспериментирования);
- формирование референтных моделей социально-экономических систем (востребовано для управления социально-экономическим развитием регионов и городов).

Принципы построения многомодельных комплексов с применением многопарадигмальных имитационных моделей СЭС базируются на подходах к стратификации. Дизайн многомодельного комплекса СЭС реализуется на основе системных принципов и подходов к стратификации на основе единого модельного фрейма с развитыми информационными и имплицитными связями между моделями различных слоев и онтологических уровней, с применением многопарадигмальной среды имитационного моделирования. Центральной задачей является формирование унифицированной технологии системной сборки модельных слоев и формирование онтологически полной модели предметной области. Концептуальное представление и масштабируемая природа обобщенной имитационной модели СЭС требует выделения множества подмоделей, описаний структур, динамических представлений строительных блоков. Концептуализация и структуризация имитационных моделей осуществляется на основе стратифицированного описания проблемы и системы. Стратификация и методы формирования стратифицированного описания проблемы и системы (как технология концептуализации) обеспечивают возможность создания на основе стратифицированного описания масштабных и взаимосвязанных моделей, объединенных в единый модельный комплекс с сохранением имплицитных взаимосвязей между моделями модельного комплекса на разных стратах и уровнях обобщения (агрегации). Стратификация является общим принципом системного моделирования [29] и отображает структурированные знания о системе, выступает необходимым инструментом для построения комплекса имитационных моделей сложной СЭС, формирования логики образования феномена системы и поддержки имплицитных связей между различными моделями, составляющими модельный комплекс. Стратифицированное описание моделируемой СЭС выступает средством обсуждения и обобщения системной проблемы, согласования различных взглядов на проблему, поддерживает разнородные способы представления (нотации) концептуальных схем. В работах автора предложены подходы к стратификации многомодельного комплекса, которые включают различные формы представления концептуальных описаний сложной СЭС: когнитивное, потоковое, структурно-функциональное, информационное и другие полезные визуальные графические техники [30]. Это упрощает построение имитационной модели на этапе концептуализации, поддерживает процедуры проведения экспертизы и взаимодействия различных экспертов предметной области по проблеме и стекхолдеров в проекте.

Перспективы развития этого направления автор связывает с совершенствованием технологии системного моделирования с помощью *онтологического моделирования*, обеспечивающего семантическое единство и информационное взаимодействие различных по природе концептуальных и программных моделей, образующих многомодельный комплекс, а также развитием методов и инструментов *динамического компьютерного сценарного анализа* на основе обобщенной имитационной модели СЭС.

Инфраструктура информационно-аналитической деятельности. Конвергенция цифровых технологий. К сожалению, современное состояние ситуационных и информационно-аналитических центров не позволяет решать стратегические задачи такого масштаба и сложности. Как правило, они ограничиваются мониторингом социально-экономических процессов и контролем ключевых показателей, сбором и анализом ретроспективной информации для оценки текущей ситуации, обеспечивают

информационную поддержку оперативных задач и анализа текущих ситуаций. Им не хватает аналитических возможностей для системного и стратегического моделирования сложных социально-экономических систем на базе *стратегических (когнитивных) центров* в части проведения групповых экспертно-аналитических работ на основе современных инструментов динамического компьютерного сценарного анализа социально-экономических процессов в целях формирования эффективных сценариев развития. Сложность политических и экономических проблем, растущее влияние гражданского общества на процесс принятия ответственных государственных решений, развитие профессионально-экспертных сообществ, экспертно-аналитических центров, конвергентный подход к управлению и принятию управленческих решений, необходимость создания интерактивных моделей «согласования и баланса интересов», использование визуально-аналитических технологий, методов привлечения экспертов к анализу моделей и принятию управленческих решений – всё это обуславливает необходимость объединения экспертно-аналитической деятельности на основе перспективных информационно-аналитических технологий анализа структурированной и слабоструктурированной информации, интеллектуализации систем поддержки принятия стратегических решений СППСР (управление моделями и знаниями, применение образно-когнитивных моделей) и процедур сценарного анализа с использованием имитационных моделей социально-экономических систем.

Развитие компьютерных технологий анализа данных и управления знаниями, методов искусственного интеллекта, когнитивной аналитики, технологий имитационного моделирования и онтологического моделирования открывает новые перспективы в моделировании сложных социально-экономических процессов и решении слабоструктурированных задач стратегического планирования. Это принципиально новый класс интеллектуальных информационных систем, когнитивная составляющая которых опирается на массивную экспертизу, сетевые экспертные технологии, аналитику больших данных и имитационное моделирование.

Общая архитектура таких аналитических или когнитивных центров (рис. 1), обеспечивающая информационно-аналитическую поддержку задач стратегического управления, включает различные компоненты (управление данными, знаниями, управление моделями и сценариями) инфраструктуры процедур принятия решений; ядром является имитационная модель, интегрированная с визуальными и математическими моделями, онтологиями, системами и панелями мониторинга, сетевой экспертизой и др. Имитационная модель СЭС выступает в качестве центрального и стержневого элемента процедуры принятия стратегических решений в СППСР наряду с системой мониторинга, анализом данных, методами генерации сценариев, эмпирическими процедурами сценарного исследования и анализа. Стратегическая управленческая аналитика на основе СППСР в органах государственной власти строится в виде процедур и ландшафта для проведения динамического компьютерного сценарного анализа на основе обобщенной имитационной модели объекта управления, дополненной методами генерации возможных сценариев развития СЭС, экспертного анализа последствий сценариев, методами и моделями согласования интересов участников процесса социального проектирования.



Рис. 1. Инфраструктура информационно-аналитической деятельности

Результаты анализа структурированной и неструктурированной информации по выявлению закономерностей между различными факторами могут быть применены в стратегическом анализе, а также могут лечь в основу анализа проблем построения и параметризации имитационной модели системы (гипотез, зависимостей). Разработанные имитационные модели СЭС опираются на обоснованные эконометрические оценки при идентификации социально-экономических процессов и спецификации поведения социально-экономических агентов. Аналитический мониторинг, социологические исследования и ситуационный анализ формируют информационную базу для описания текущего состояния системно-динамической модели, параметризации и спецификации ее элементов (процессов, агентов).

Значительный объем информации (и знаний) в процессе построения модели и модельного исследования поступает от экспертов: представления о предметной области, слабоформализованная информация об объекте управления, возможных сценариях развития, особенностях поведения объекта, футурологические представления эксперта о возможном будущем поведении объекта и возможных изменениях внешней среды.

Процесс принятия решений в сложных управленческих ситуациях требует вовлечения лиц, принимающих решения, в процесс выработки управленческих решений на всех этапах (от анализа текущей ситуации до генерации сценариев и анализа результатов модельных и сценарных исследований). Процедуры экспертной ревизии и экспертный когнитивный анализ используются для стратификации, онтологического моделирования социально-экономических систем, концептуализации и оценки адекватности разрабатываемой имитационной модели, генерации возможных сценариев развития, реализуемых на имитационных моделях, и построения моделей «баланса интересов» всех заинтересованных лиц (бизнес, общество, государство).

Текущие задачи и перспективы развития и применения методов имитационного моделирования в науках об обществе и управлении и их продвижение в реальные проекты общественного развития (вместо заключения)

Чтобы развиваться, надо изменяться и двигаться к целям, для этого необходимо:

- проведение широких междисциплинарных научных исследований в области развитие и создание прикладных вычислительных методов и моделей анализа динамики сложных СЭС систем;

- содействие созданию и поддержка научных центров, применяющих вычислительные методы в социальных исследованиях. Обнадеживающий опыт демонстрирует ЦЭМИ, реализующий ряд проектов в экономических исследованиях под руководством Бахтизина А.Р и академика Макарова В.Л. [21];

- организация широкого междисциплинарного взаимодействия ученых, исследователей и лиц, принимающих решений в государственном и государственном управлении, и просто граждан, продвижение базовых идей в общество. Необходим общественный резонанс. Дж. Форрестер писал: *«Я оставляю вам задачу уйти с плато и начать подниматься в горы, что маячат впереди. Мы должны быть в состоянии донести адекватное понимание поведения сложных систем в общество»* [31];

- перестроить образование: введение дисциплин по имитационному моделированию (а не только системный анализ) в экономические и иные специальности (социология, менеджмент, государственное и муниципальное управление, урбанистика). Интересный образовательный и просветительский проект реализуется в ЦЭМИ [32]. Автор имеет опыт преподавания не только ИТ-м, но и менеджерам, логистам, социологам для государственного и муниципального управления. В свое время инициировала введение этой дисциплины в стандарты по направлению подготовки «Бизнес-информатика», но наблюдается деградация и здесь, все реже встречается дисциплина «имитационное моделирование» в образовательных программах университетов. Нужны не отдельные инициативы и подвижники, а целенаправленные усилия по продвижению обучения имитационному моделированию в науки об обществе и экономику;

- практика обоснования ответственных программ и проектов государственного и местного управления с применением имитационной экспертизы, разработка стандартов по имитационным моделям (промышленных систем и по отраслям);

- совершенствование технологии системного моделирования (имитационного) и методов сценарного анализа для создания современных ландшафтов ситуационных и когнитивных (информационно-аналитических) центров на всех уровнях государственного управления, развитие технологии цифровых двойников и других платформ, продвижения в практику методов и инструментов стратегического планирования, где ядром должны выступать имитационные модели, позволяющие заниматься сценарным планирование и обоснованием ответственных государственных и отраслевых решений.

Литература

1. **Arthur W. B.** (2015). Complexity and the economy. Oxford: Oxford University Press.
2. Arthur, W.B. Foundations of complexity economics. Nat Rev Phys 3, 136-145 (2021). <https://doi.org/10.1038/s42254-020-00273-3>.
3. **Клейнер Г.Б.** (2021). Системная экономика: шаги развития. М.: Издательский дом «Научная библиотека». 746 с.
4. **Rosewell, B.** (2017). Complexity science and the art of policy making. In J. Johnson, P. Ormerod, B. Rosewell, A. Nowak, & Y. C. Zhang (Eds.), Non-equilibrium social science and policy. Switzerland: Springer. P. 159178.

5. **McKelvey, B.** (1999). Complexity theory in organization science: Seizing the promise or becoming a fad?, *Emergence*, 1(1): 3-32.
6. **Hejazi A.** (2025) Addressing the limitations of the futures cone: Introducing the adaptive futures mesh. *Foresight and STI Governance*, 19(2). P. 6-18. <https://doi.org/10.17323/fstig.2025.24819>.
7. **Epstein, J.M.**, 2007, *Generative Social Science: studies in agent-based computational modeling*, Princeton, NJ: Princeton University Press.
8. **Macy, M., Willer, R.** (2002). From factors to actors: computational sociology and agent-based modelling. *American Review of Sociology*, 28. P. 143-166. doi:10.1146/anurev.soc.28.110601.14111.
9. **Fischer L.B., Newig J.** (2016) Importance of actors and agency in sustainability transitions: A systematic exploration of the literature. *Sustainability*, 8(5), 476. <https://doi.org/10.3390/su8050476>
10. **Batty, M.** Building a science of cities. *J. Cities* (2011). doi:10.1016/j.cities.2011.11.008.
11. **Tesfatsion, L., Judd, K. L.** (editors) (2006). *Handbook of Computational Economics, Volume 2: Agent-Based Computational Economics*. Handbooks in economics series, North-Holland.
12. **Squazzoni, F.** (2012). *Agent-Based Computational Sociology*. John Wiley & Sons, Ltd. DOI:10.1002/9781119954200.
13. **Cavana, Robert Y., Dangerfield, Brian C., Pavlov, Oleg V., Radzicki, Michael J., and Wheat, I. David** (editors) (2021). *Feedback economics: economic modeling with system dynamics*. Springer: Cham, Switzerland. 593 p. doi.org/10.1007/978-3-030-67190-7.
14. **Epstein J.M., Axtell R.** *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up* (1996) Washington, DC: Brookings Institution Press, 234 p.
15. *Foundational Papers in Complexity Science/ Ed. David C. Krakauer/ Vol 1-4.* Santa Fe Institute <https://www.sfi.press.org/books/foundational-papers-in-complexity-science>.
16. **Кныазева Н.** (2020). Strategies of Dynamic Complexity Management. *Foresight and STI Governance*, v. 14, 4. P. 34-45.
17. **Евстигнеев Р.Н., Евстигнеева Л.П.** (2010). *Экономика как синергетическая система*. М.: Ленанд. 272 с.
18. **Занг В.Б.** (1999) *Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории / Под редакцией В.В. Лебедева и В.Н. Разжевайкина*. М.: Мир. 325 с.
19. **Вайдлих В.** *Социодинамика: системный подход к математическому моделированию в социальных науках: Пер с англ. Под ред. Ю.С. Попкова, А.Е. Семечкина*. М.: Едиториал УРСС, 2005. 480 с.
20. **Forrester, J. W.** (2013). Economic theory for the new millennium. *System Dynamics Review*, 29 (1). P. 26-41.
21. **Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Epstein J.M.** (2022) *Agent-based modeling for a complex world*. М.: Scientific publications department, GAUGN. 74 p.
22. **Lychkina N.N.** (2016) Synergetics and development processes in socio-economic systems: Search for effective modeling constructs. *Business Informatics*, no. 1 (35), pp. 66-79. DOI: 10.17323/1998-0663.2016.1.66.79.
23. **Behdani, B.** (2012). Evaluation of Paradigms for Modeling Supply Chains as Complex Socio-Technical Systems. In *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference*. P. 3794-3808.
24. **Bandini, S., Manzoni, S. and Vizzari, G.** (2009). Agent Based Modeling and Simulation: An Informatics Perspective. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12 (4), 4. <https://www.jasss.org/12/4/4.html/>.
25. **Balke, T., Gilbert, N.** (2014). How Do Agents Make Decisions? A Survey. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 17 (4), 13. <https://www.jasss.org/17/4/13.html>.
26. **Lychkina, N.** (2022). Modelling of Developing Socio-economic Systems Using Multiparadigm Simulation Modelling: Advancing Towards Complexity Theory and Synergetics. In: Perko, I., Espejo, R., Lepskiy, V., Novikov, D.A. (eds) *World Organization of Systems and Cybernetics 18. Congress-WOSC2021. WOSC 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 495. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08195-8_19.

27. **Лычкина Н.Н., Морозова Ю.А.** (2013). Динамическое моделирование процессов развития пенсионной системы/ Прикладная информатика, 3(45). С. 99-110.
28. **Lychkina, N.** (2022). Synergistics and Collaboration in Supply Chains: An Integrated Conceptual Framework for Simulation Modeling of Supply Chains. In: Kryvinska, N., Poniszewska-Marańda, A. (eds) *Developments in Information & Knowledge Management for Business Applications . Studies in Systems, Decision and Control*, vol 377. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77916-0_20.
29. Технология системного моделирования (1998). Под общей редакцией Емельянова С.В. М.: Машиностроение. 520 с.
30. **Лычкина Н.Н., Морозова Ю.А.** (2012). Стратификация как основа инженерии технологий компьютерной поддержки принятия государственных решений в пенсионной сфере/ Бизнес-информатика, 6(2), С. 20-28. <https://bijournal.hse.ru/article/view/26248>.
31. **Лычкина Н.Н.** (2009). Ретроспектива и перспектива системной динамики. Анализ динамики развития / Бизнес-информатика, 3(3), С.55-67. <https://bijournal.hse.ru/article/view/26360>.
32. Трехуровневая система подготовки междисциплинарных ИТ-специалистов: НИИ-ВУЗ-ШКОЛА: монография (2025) Д.С. Евдокимов, К.А. Катарасонова, Е.С. Аксенова и др. – М:ЦЭМИ РАН. -352 с. ISBN: 978-5-605-11109-2.