

Синергетика и процессы развития в социально-экономических системах: Поиск эффективных модельных конструкций

Н.Н. Лычкина

кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий в логистике
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Адрес: 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20
E-mail: nlychkina@hse.ru

В работе исследуется генезис социально-экономических процессов стратегического развития, характерных для общественных трансформаций в условиях переходной экономики. Исследуются системные закономерности, структурные и динамические аспекты развивающихся социально-экономических систем, определяющие потребность в адекватных способах модельного описания, приводится анализ ограничительных возможностей традиционного аппарата математического моделирования.

В качестве теоретико-методологического базиса исследования и моделирования развивающихся социально-экономических систем применяется синергетика. Существенным аспектом признается отображение в моделях социального поведения и индивидуального выбора, различных форм социального взаимодействия и процессов самоорганизации. Поиск способов модельного описания основывается на проведении междисциплинарного исследования в области экономических и социальных наук, применении современных парадигм (системная динамика, агентное компьютерное моделирование) и технологических решений имитационного моделирования, а также анализе их возможностей в исследовании динамических аспектов процессов развития в социально-экономических системах. Предложена общая концепция моделирования развивающихся социально-экономических систем на основе принципов стратификации: микроуровень воспроизводит индивидуальные решения социальных и экономических агентов, а также коллективные организационные формы, макроуровень — процессы эволюции. Интерпретация взаимодействий между социо-экономическими конфигурациями осуществляется на основе анализа причинно-следственных зависимостей и динамических проявлений взаимопроникновения явлений, происходящих в различных стратах общественной системы. Предложены методы композитного сочетания системно-динамических и агентных имитационных моделей, позволяющие исследовать динамику социально-экономических процессов посредством циклической взаимосвязи процессов индивидуального и группового поведения экономических и социальных агентов на микроуровне с базовыми процессами развития и эволюции социально-экономической системы на макроуровне.

Обозначены основные направления совершенствования технологии имитационного моделирования в процедурах и системах поддержки принятия стратегических решений: динамический компьютерный сценарный анализ на основе обобщенной имитационной модели объекта управления, модели баланса интересов в процедурах согласования сценариев и интересов участников процесса социального проектирования, стратифицированное описание модельного комплекса с применением онтологий, методы параметризации динамических моделей социально-экономических систем и спецификации агентов.

Ключевые слова: стратегическое развитие, социально-экономические системы, синергетика, имитационное моделирование, системная динамика, агентное моделирование, стратификация.

Цитирование: Lychkina N.N. Synergetics and development processes in socio-economic systems: Search for effective modeling constructs // Business Informatics. 2016. No. 1 (35). P. 66–79. DOI: 10.17323/1998-0663.2016.1.66.79.

Введение

Становление основ стратегического планирования в РФ на практике ставит задачу формирования и реализации долгосрочной стратегии развития на всех уровнях государственного управления: федеральном, региональном, отраслевом и корпоративном. Множество возможных сценариев такого развития требует решения задач анализа таких сценариев, анализа возможных траекторий развития социально-экономической системы с учетом множества влияющих на эти процессы факторов, включая внутренний потенциал и процессы самоорганизации в социально-экономических системах (СЭС) и синтеза эффективных сценариев развития, анализа достижимости обозначенных целей, а также оценки рисков их недостижения.

В чем состоит особенность текущей ситуации? Большинство экономистов определяют экономику России как трансформирующуюся при переходе к рыночным отношениям: это страна с формирующимся рынком и общество, переходящее от командной экономики к экономике, ориентированной на рыночные отношения. Это, как следствие, определяет развитие либерально-демократических форм в социально-политической жизни общества и, прежде всего, развитие общественных институтов и активную роль личности и свободу граждан в принятии решений. Изменение экономической модели и связанного с ней общественного устройства определяют текущий процесс как переходный, связанный с реформированием основных сфер экономики и общества, постепенным введением новых институциональных форм и механизмов экономического, финансового и другого характера, что в целом соответствует переходным процессам в экономической и социальной жизни общества.

Без исследования генезиса социально-экономических явлений и процессов развития в СЭС, характерных для переходной экономики, и способов их модельного описания решение этой задачи не может быть получено. В условиях переходной экономики происходит переход СЭС из одного состояния в качественно новое. Возможные траектории такого развития зависят не только от принимаемых мер, управленческих решений и характера структурных реформ, но и от множества факторов внутреннего и внешнего характера, стохастических, хаотических и турбулентных проявлений во внешней среде, а также от возможностей самой СЭС к самоорганизации и самовоспроизводству.

1. Смена экономических парадигм — смена парадигм компьютерного моделирования

Те методы моделирования, которые совсем недавно хорошо работали при планировании в социалистической экономике, в стационарных условиях не подходят для исследования переходных процессов в экономике, в условиях общественных трансформаций, характерных для современной социально-экономической ситуации.

Почему системного анализа и экономической кибернетики, а также традиционного аппарата экономико-математического моделирования оказывается недостаточно для моделирования социально-экономических процессов в условиях переходной экономики и трансформирующейся общественной жизни?

Появляющиеся в последнее время публикации о том, что наблюдаемые в обществе и социально-экономических явлениях процессы имеют аналогии с процессами, исследуемые в такой области системологических наук, как синергетика [1], напоминают скорее философские рассуждения о возможности применения теоретических положений синергетики в области социально-экономических исследований современных явлений России. Сложилась ли какие-то практические подходы, конструктивные модельные схемы и конструкции, полезные для исследования социально-экономических процессов в новых экономических условиях? Да. Однако, в силу инерции академических школ к развивающимся системам пытаются применять старый математический аппарат. Реконструкция общественной системы приводит к необходимости реконструкции моделей, применяемых для ее описания. Задача настоящей статьи состоит в том, чтобы продемонстрировать модельные конструкции и подходы, основанные на применении современных парадигм и технологических решений в области имитационного моделирования социально-экономических процессов и социального проектирования, позволяющие исследовать сложные динамические проявления в развитии социально-экономических систем, характерные для реальной экономической ситуации в России.

Традиционные методы эконометрического моделирования не позволяют описать процессы развития и самоорганизации в СЭС. Гипотезы о том, что тенденции, которые мы наблюдали в прошлом, на ретроспективных данных, сохраняются

в будущем, не работают в условиях переходных процессов. Статистические данные о социально-экономических процессах, даже в условиях представительных выборок, и трендовые модели не могут служить основанием для описания уникальной, единственной и специфической траектории, которую, как показывает опыт, проходит социальная система в своем развитии. Статистика и опыт других стран не помогут прорисовать возможные траектории СЭС применительно к конкретным социально-экономическим условиям и историческому периоду. Состояние системы в будущем (по Дж. Форрестеру) зависит не только от текущего состояния, но и от всей ее предыстории, т.е. от того, каким образом она пришла в это состояние. Однако эконометрическая модель помогает выявить и объяснить зависимость между отдельными факторами и объяснить отдельные устойчивые явления, но не формирует картину целого.

Попытки отследить и формализовать циклы развития СЭС не объясняют механизмы изменений и структурных реформаций, происходящих в сложных системах, они могут научить «плавать на волнах», но не управлять. Управлять надо в точках бифуркаций, однако методических рекомендаций на эту тему современная управленческая наука не дает. Изменение политических и социально-экономических механизмов развития предопределяет становление новых принципов и условий организации управления развитием СЭС.

Актuarные расчеты сфокусированы на устойчивости финансовых систем государства, но проблемы находятся в других узлах социально-экономической системы.

Экономисты строят модели экономических систем, где берут на вооружение западные инструменты с гипотезами о «совершенном рынке», так называемые модели общего экономического равновесия, где равновесие на рынках достигается моментально, без учета времени. В их макроэкономических ориентирах такие важные аспекты социальных систем, как социальное поведение, население, его мотивация, индивидуальный выбор и активность не учитываются, они представлены в агрегированном виде, как рациональные экономические агенты (например, домохозяйства, максимизирующие функцию полезности). Критика теории рационального выбора уже давно присутствует в экономических и управленческих исследованиях, применительно к организационным системам вопросы ограниченной рациональности агента принятия решений хорошо проработаны в трудах Г. Саймона [2].

Социальные науки стремятся понять, как ведут себя люди, как они взаимодействуют. Традиционный количественный инструментальный социологических исследований выявляет поверхностные проявления в социуме, не позволяя выявить системные закономерности, проявляющиеся в развитии общества. Возникающее на микроуровне социальное поведение может приводить к глобальным изменениям общественной системы. Для этого необходимы широкие междисциплинарные исследования и коммуникации в широком спектре гуманитарных наук об обществе и экономике, а также психологии.

2. Генезис процессов стратегического развития СЭС. Синергетика социально-экономических систем и динамические аспекты моделирования развивающихся СЭС

Стратегическое управление — это системное развитие во времени сложной СЭС [3], что предполагает анализ структурных изменений и динамических аспектов ее развития. Стратегическое управление предопределяет перевод системы из текущего состояния в желаемое целевое за достаточно длительный период времени. Под развитием понимается движение системы в фазовом пространстве, изменение состояний системы, обусловленное внешними и внутренними причинами, в ходе которого возможно установление новых структур и связей. Каким будет это движение, траектория (путь) движения системы во времени (траектория развития системы), зависит от текущего состояния, потенциала системы, внешнего воздействия и характера управленческих решений — и составляет основную задачу анализа и динамического моделирования. Динамическая модель системы — это не что иное, как упорядоченная во времени последовательность ее состояний, последнее из которых эквивалентно цели системы [4]. Важно не забывать, что в условиях развивающейся системы динамическая модель должна описывать структурные изменения, а также механизмы образования новых форм и структур, возникающих в процессе ее развития.

3. Структурная и динамическая сложность СЭС, специфические аспекты развивающихся СЭС

Рассмотрим некоторые аспекты исследования и моделирования социально-экономических систем и процессов, обусловленные структурной и динамической сложностью рассматриваемого класса

моделируемых объектов. Выделим специфические аспекты развивающихся СЭС:

- ◆ Структурная сложность. Неоднородная структура. Структурные изменения;
- ◆ Множественные причинно-следственные связи, прямые и обратные связи внутри структуры системы. Причина и следствие разделены, как правило, во времени и пространстве;
- ◆ Множество влияющих факторов. Нелинейный характер явлений;
- ◆ Динамическая сложность (задержки, скорость процессов различна, колебательные процессы) осложняет интерпретацию системного поведения (взаимодействия);
- ◆ Управление через обратные связи, адаптивность;
- ◆ Историческая зависимость: состояние системы в будущем зависит не только от предыдущего состояния, но и от всей предыстории ее развития [5];
- ◆ Развивающиеся СЭС. Анализ и выбор траектории развития. Правила принятия решений (сценарии развития) также могут изменяться во времени, точки приложения управленческих усилий могут смещаться с течением времени;
- ◆ Контринтуитивность сложных СЭС [5–6], ограниченные возможности для экспертного оценивания;
- ◆ Конфликты между долгосрочными и краткосрочными решениями;
- ◆ Поведенческие аспекты, связанные с активностью отдельных элементов сложной системы;
- ◆ Неопределенность, в т.ч. неопределенность целей развития. Случайные и хаотические факторы, стохастические процессы. Неопределенность воздействия среды на систему. Хаос. Неопределенность развития системы во времени;
- ◆ Эволюция и переходные процессы. Неустойчивость, фазовые переходы в системе;
- ◆ Самоорганизация, динамическое поведение может возникать самопроизвольно, в зависимости от внутренней структуры и воздействий со стороны внешней среды. Воспроизведение внутренней организации СЭС посредством самоорганизации (и самовоспроизводства).

Понимание всех процессов экономического развития и развития общества сложнее, чем равновесие [9–10]. СЭС могут находиться как в равновесном состоянии, так и проявлять специфическое динамическое поведение в условиях развития.

Если изменение внешнего окружения превышает определенный предел, то система может стать неустойчивой и начать движение к другой фазе или форме внутренних отношений. Стабильность сменяется неустойчивостью и фазовым переходом. В своем развитии СЭС проходит несколько фаз. Под воздействием экзогенных факторов стохастической и турбулентной природы с неопознанной динамикой система теряет устойчивое состояние, изменяется ее структура. Под воздействием импульсов, возникающих со стороны трансформирующейся структуры, на микроуровне запускаются процессы самоорганизации, которые могут привести к образованию новых форм и организаций, что инициирует процессы развития в таких системах, а значит — переход в новое состояние. Будет ли оно устойчивым, зависит от многих факторов. Наиболее важным случаем является фазовый переход, т.е. бифуркация наиболее вероятных путей и траекторий рассматриваемых секторов СЭС. Переход через точки бифуркации может сопровождаться негативными трендами, деградацией, разрушением системы, затяжным пребыванием в состоянии хаоса. По какой траектории пойдет развитие сложной СЭС — зависит от правильного управления. Известно, что управлять надо в точках бифуркации, однако методик такого управления современная управленческая наука не предлагает.

А что если проверить принимаемые управленческие решения на компьютерных моделях? Однако складывается практика принятия управленческих решений, когда решения принимаются «здесь и сейчас», не отвечая за долгосрочные последствия таких решений. Разделение модельных подходов по объектно-субъектному принципу (одни модели исследуют объект управления, проводят анализ его функционирования, другие модели (исследование операций) вырабатывают, синтезируют оптимальное управление и управленческие решения) только усложняет процедуры выработки долгосрочных прогнозов. Заглядывать далеко, формировать стратегическое видение — такая задача скорее решается путем качественных суждений и философских обобщений, чем путем скрупулезного количественного анализа. Неопределенность в формировании целей стратегического развития и видения будущего при сложной проблематике затрудняет социальное проектирование и разработку сценариев будущего даже в условиях массовой экспертной и технологической форсайта. Можно, конечно, повышать ответственность экспертов, но их возможности имеют предел. Необходимо помочь экс-

пертам, дать им компьютерный инструментарий в виде некоторого «компьютерного экстрасенса», который помогал бы им в оценке и сравнении вариантов развития, оценке долгосрочных последствий принимаемых решений. Современный теоретико-методологический базис системного моделирования и высокотехнологичные решения имитационного моделирования помогут решить эту непосильную для экспертного сообщества задачу, и даже позволят вырабатывать консолидированные (для различных экспертных групп, обеспечивающие согласование интересов в триаде: гражданское общество, государство, бизнес) сценарии движения к желаемому будущему. Главное — это сделать экспертно-аналитическое сообщество и лиц, ответственных за выработку управленческих решений, а также всех заинтересованных сторон (гражданское общество, бизнес) включенными в интерактивный процесс социального проектирования будущего.

4. Немного о категориях и сущности имитационного моделирования.

Это ни на что не похоже...

В историческом плане имитационное моделирование (ИМ) прошло относительно короткий цикл развития по сравнению с другими видами моделирования. Начиная с 60-х годов прошлого столетия [12], его становление поднимает теорию моделирования на качественно новый уровень. Развитие информационных технологий и вычислительных методов (как вид моделирования, имитационное моделирование никогда не существовало без компьютера) привело к появлению в 90-х годах высоких технологий в этой области [13]. Однако все попытки отнести имитационное моделирование к видам моделирования, существовавшим до него, приводят к непониманию метода имитационного моделирования и сдерживают его применение для решения практических задач.

Научная и учебная литература изобилует множеством интерпретаций и некорректных определений имитационного моделирования (от разновидности аналогового моделирования и расширений метода Монте-Карло). Чтобы понять, почему имитационное моделирование, по мнению автора, претендует на описание процессов в развивающихся СЭС, необходимо определиться с категориями и понять сущность и природу имитационного моделирования [14].

Необходимо определить ряд следующих категорий:

- ◆ методологическая основа и составляющий теоретико-методологический базис имитационного моделирования;
- ◆ метод имитационного моделирования;
- ◆ природа и сущность имитационной модели;
- ◆ технология имитационного моделирования;
- ◆ парадигмы (концепции) имитационного моделирования;
- ◆ инструменты имитационного моделирования;
- ◆ вычислительные методы, применяемые в имитационном моделировании.

Теоретико-методологический базис имитационного моделирования сформировался в ходе становления целого спектра системных методов и системного подхода, общей теории систем, кибернетики и синергетики, адаптивного регулирования и автоматического управления, теории информации и, наконец, теории моделирования, — это технология системного моделирования [15], так как его определяли классики отечественной научной школы. Методологической основой имитационного моделирования является прикладной системный анализ, фактически позволяющий осуществлять приложения на основе методологии системного анализа для решения разнообразных конкретных сложных проблем в различных сферах жизнедеятельности. Центральной процедурой системного анализа является построение обобщенной модели, отражающей все существенные факторы и взаимосвязи реальной системы. Попытки сформулировать общую теорию имитационного моделирования [16] всегда приводили к некоторым обобщениям, имеющим общие пересечения со всеми направлениями системологии и поисками универсальной концепции описания процессов в сложных системах. На практике это всегда было способом решения конкретных прикладных проблем. Первыми имитацию применяли военные, чтобы сократить затраты на дорогостоящие эксперименты, потом инженеры — для обоснования проектных решений в сложных технических системах, теперь очередь дошла до экономистов, социологов и управленцев, так как в этой области экспериментирование с реальными системами вообще недопустимо.

Появление синергетики и ее вариации, исследующие объекты различной природы [1, 10], по сравнению с комплексом системологических наук, ее предшественников, обновило анализ динамических систем в сторону исследований специфических структурных и динамических изменений в сложных системах, изучающих процессы перехода

от хаоса к порядку и обратно, включая процессы самоорганизации и самодезорганизации в открытых нелинейных средах различной природы. Поэтому, если кибернетика и теория автоматического регулирования и управления, как всеобъемлющие науки об управлении, хоть и включали отрицательные обратные связи, в основном занимались проблемами обеспечения устойчивости систем, то синергетика — это теория нестационарных развивающихся систем, для которых влияние флуктуации становится причиной существенных перемен в поведении системы. Синергетический и информационный подходы можно рассматривать как дальнейшее развитие системного подхода [11], но это дает новые возможности для исследования процессов и явлений в обществе не только в стационарном состоянии (гомеостаз), но и в части процессов развития, дисгармонии в сложных системах.

Метод имитационного моделирования — это экспериментальный метод исследования сложной системы на основе ее аналога — компьютерной модели, непосредственно воспроизводящей структурные и динамические свойства моделируемого объекта, который сочетает особенности экспериментального подхода и специфические условия использования вычислительной техники. Это определение подчеркивает два важных свойства имитационного моделирования (отсюда ненаучное и неверно переведенное от английского «simulation» название метода):

✧ выраженный изоморфизм структурных и динамических характеристик объекта и его компьютерного аналога;

✧ экспериментальная природа имитации (для получения данных о моделируемом объекте необходимо осуществить направленный вычислительный эксперимент на имитационной модели, содержание и методы которого определяются задачами исследования).

«Непосредственное воспроизведение структурных и динамических свойств объекта» в этом определении означает то, что на этапе создания имитационной модели системный аналитик проводит структурный анализ и динамическое описание базовых процессов взаимодействия, а также то, что созданная имитационная модель всегда визуализирует, позволяет наблюдать (в виде компьютерных анимаций, блок-схем, диаграммных представлений и др.) структуру и динамику (состояние, поведение, траекторию развития) моделируемого объекта. Это существенное преимущество имитационного моделирования, по сравнению с другими моделями и методами.

Имитационные модели относятся к классу динамических и стохастических моделей, однако выделение этого классификационного признака не позволяет понять их специфику, по сравнению с другими видами математического моделирования. Имитационные модели — логико-математические, образуют подкласс алгоритмических моделей. Конструирование имитационной модели предполагает совместное использование математических, эвристических, экспертных и других методов анализа без существенной деформации структур, элементов, процессов, отношений порядка и связей моделируемых объектов [16].

По своей природе имитационная модель всегда динамическая, и является отображением переходов системы из одного ее состояния (переменные состояния — самый важный класс переменных в имитационной модели) в другое под воздействием множества влияющих факторов; имитационное моделирование есть динамическое отражение изменений состояния системы с течением времени [17], своего рода «динамический портрет» моделируемой системы. Надо согласиться, что это специфическое свойство имитационного моделирования, обеспечиваемое только в этом классе алгоритмических моделей, которое позволяет описывать процессы функционирования и развития в сложных системах. Взаимодействие элементов в ИМ сложной системы (СС) задается с помощью специальных операционных правил, соглашений в области множества абстрактных элементов, образующих тот или иной класс систем; множество параллельных процессов синхронизируются за счет специальных механизмов продвижения модельного времени, привязанных к единой шкале модельного времени.

Имитационная модель всегда стохастическая и позволяет исследовать сложные системы в условиях действия множества факторов стохастической природы, случайных событий, рисков, и др. явлений, задаваемых с помощью стохастических переменных. В силу этого качества и рассмотренных свойств, прогон имитационной модели — всегда некоторая случайная реализация моделируемых процессов. Для получения статистически достоверных результатов прогоны требуется многократно воспроизводить. Этот момент часто приводит к неверным интерпретациям и аналогиям с методом Монте-Карло, однако иллюзия сразу исчезает, если речь идет о структурной и динамической сложности моделируемой системы (большое количество разнородных элементов и процессов, протекающих с разной скоростью в различных узлах сложной системы).

Известно, что имитационное моделирование применяется, когда отсутствуют теоретические знания, а формальные математические модели или классические постановки задач в области исследования операций приводят к вычислительным проблемам [12]. Имитационное моделирование позволяет преодолеть ограниченность аксиоматики любого математического метода [16].

Технология ИМ, как способ создания компьютерных моделей имеет некоторую специфику, связанную с важным значением этапа структуризации проблемы и концептуализации на основе системного мышления экспертов по проблеме (имитационная модель создается на основе структурированного вербального (концептуального) описания моделируемой системы). Процесс установления обобщенной структуры моделируемой СЭС является неформальной процедурой, осуществляемой системными аналитиками и экспертами по проблеме в условиях экспертных ревизий и широких междисциплинарных коммуникаций. Это позволяет характеризовать процесс разработки системно-динамических моделей СС как способ структуризации знаний экспертов по проблеме и отнести модели этого класса в область когнитивной аналитики и технологий управления знаниями, прилегающих к некоторым разделам искусственного интеллекта.

Парадигмы имитационного моделирования — это различные способы концептуализации объекта моделирования на основе приемов определения и введения базовых абстрактных элементов и переменных модели и правил их взаимодействия, а также способов продвижения модельного времени. Наиболее популярные парадигмы, получившие закрепление в современных инструментах имитационного моделирования — процессный подход, системная динамика и многоагентное компьютерное моделирование. Кратко остановимся на содержании этих парадигм, поскольку это важно для дальнейшего изложения.

Процессный подход имитационного моделирования (или дискретно-событийное моделирование) стал сегодня инструментом инжиниринга, проектирования не только технических систем, но и бизнес-процессов, логистических, транспортных систем и многих других. Предложенный в свое время Дж. Гордоном как способ перемещения динамических объектов в сетях и системах массового обслуживания, он характеризуется высокой степенью дискретности, выделением характеристик всех сущностей, описанием множества случайных событий,

реализуемых в таких объектах. Изначально он был ориентирован на описание параллельных и взаимодействующих процессов и сегодня является универсальным способом описания процессов, позволяет исследовать, измерять время и стоимость этих процессов, выявлять узкие места, синхронизировать, оптимизировать процессы в сложных системах.

Системная динамика — способ описания нелинейных динамических систем с обратными связями, базирующийся на потоковой стратификации, или представлении моделируемой системы как совокупности взаимодействующих потоков различной природы, предложен американским ученым Дж. Форрестером [5–7]. Здесь нет дискретности для отображения отдельных процессов, система моделируется на высоком уровне агрегирования. Согласно базовым идеям системной динамики, определяющее значение в описании динамики системы имеет ее структура, представленная в виде взаимодействующих потоков, а также взаимодействие контуров обратной связи в ее структуре. Акцент делается на управленческом аспекте, на понимании поведения системы, а не на получении точных количественных оценок. Язык системных потоковых диаграмм и специальная графическая техника структуризации моделируемых динамических систем делают этот подход очень выразительным и эффективным средством для процедур системного анализа — декомпозиции и последующей композиции (синтеза) сложной динамической системы на основе причинно-следственного анализа и принципов обратной информационной связи.

Многоагентное имитационное моделирование [18] выросло совсем недавно как некоторое ветвление в целом спектре наук по искусственному интеллекту и компьютерным технологиям, а концептуальное представление и философию существования сегодня черпает в социальных науках, поведенческой экономике, менеджменте, когнитивной психологии и др. Агентная модель представляет реальный мир в виде отдельно специфицируемых активных элементов, называемых агентами, взаимодействующих между собой и их окружением. Активность агентов выражается в их способности вырабатывать индивидуальное поведение. Поведение сложной системы формируется как результат взаимодействия агентов, в которой они осуществляют свое поведение, что позволяет наблюдать и изучать закономерности и свойства, присущие системе в целом.

Существуют и другие парадигмы имитационного моделирования, процесс поиска универсальной

концепции структуризации динамических систем еще не закончен. Фактически, парадигмы имитационного моделирования — это различные взгляды на описание процессов и явлений, протекающих в сложных системах. На практике структуризация объекта моделирования осуществляется в контексте применяемой парадигмы.

Современные системы моделирования, реализующие моделирующий алгоритм, воспроизводящий функционирование сложной системы, в котором так или иначе закреплена та или иная концепция структуризации, являются высокотехнологичным инструментарием системного моделирования. Заслуги компьютерных наук и развитие информационных технологий определили становление метода имитационного моделирования и его бурное применение в бизнес-приложениях и социально-экономических исследованиях, сделав доступным инструментарий имитационного моделирования не только для продвинутых ИТ-специалистов, но и для менеджеров, управленцев, специалистов предметной области и лиц, принимающих решения, за счет удобных визуальных интерфейсов, инструментария формирования моделей с помощью диаграммных и других представлений, предоставив дополнительные возможности в части проведения экспериментальных исследований, визуализации и интерпретации результатов имитационного моделирования и др. [13, 14]. Технология и инструментарий имитационного моделирования продолжает развиваться за счет референтных моделей и библиотечных решений по областям применения. Перспективные направления развития технологий и аппарата имитационного моделирования связаны с поиском универсальных схем и концепций структуризации, поддержкой стратификации, развитием сценарного подхода. Те или иные тренды этих высокотехнологичных решений выстроены сегодня на перемещение имитационного моделирования к тем пользователям, которыми они и должны создаваться и применяться — лицам, принимающим решение и экспертам в соответствующих проблемных областях.

Несмотря на обозначившуюся дружелюбность современных систем моделирования, они являются по своей вычислительной природе сложнейшим аналитическим аппаратом, позволяющим проводить количественный анализ функционирования СЭС (в отличие от структурно-функционального моделирования и когнитивного анализа), применяющим различные вычислительные методы (механизмы продвижения модельного времени и диспетчеризация в разрешении временных кол-

лизий, численные методы, генераторы случайных воздействий и механизмы сбора и обработки статистической информации по объектам и временным меткам моделируемой системы и многие другие), а также ряд аналитических приложений (статистические процедуры, методы оптимизации и др.), поддерживающих направленный вычислительный эксперимент на имитационной модели.

Этапы сбора и обработки исходных данных, процедуры параметризации динамических моделей, спецификации процессов и агентов требуют от аналитиков широких компетенций в различных областях прикладной математики. Создание ИМ — это всегда хорошо организованный проект, в ходе которого сотрудничают эксперты по проблеме, системные аналитики, ИТ-специалисты и программисты, математики и менеджеры проекта, выстраиваются процедуры организационного взаимодействия участников проекта. Опыт ведения таких проектов недостаточно наработан в современном консалтинге [19] и является сегодня одним из серьезным факторов, сдерживающим внедрение решений на основе ИМ в практику государственного и корпоративного управления, социального проектирования будущего, в инфраструктуру информационно-аналитической и экспертно-аналитической деятельности по стратегическому планированию и сценарному анализу, поддержку технологий форсайта.

5. Общая концепция моделирования развивающихся социально-экономических систем

В модельном исследовании сложной СЭС существует проблема стратификации структурных слоев СЭС и интерпретации взаимодействия между слоями. Различные слои сложной системы характеризуются разной степенью организованности и характером динамических процессов, протекающих в различных стратах такой системы. Условно можно выделить различные страты в описании СЭС и рассмотреть циклические переходы между социально-экономическими конфигурациями:

- ♦ микроуровень: основной фокус рассмотрения — индивидуальные решения экономических и социальных агентов;
- ♦ мезоуровень — коллективные организационные формы (и социальные группы общественной системы);
- ♦ макроуровень — процессы эволюции и развития СЭС.

Внутренняя динамика и процессы, протекающие на микроуровне и мезоуровне СЭС оказывает существенное воздействие на поведение всей системы и определяет путь (траекторию), по которому будет развиваться система, на макроуровне возникают новые системные качества социума, общества. И наоборот, процессы, протекающие на макроуровне, образуют среду для жизни множества индивидумов на микроуровне, в которой они осуществляют принятые ими решения в зависимости от текущей социально-экономической ситуации. Подходы к стратификации СЭС, базирующиеся на структурных подходах, необходимо дополнять интерпретациями взаимодействий между нисходящими и восходящими слоями СЭС, описывающими причинно-следственные зависимости и динамические проявления взаимопроникновения явлений, происходящих в различных стратах социально-экономической системы. Системность в рассмотрении общественной, социально-экономической системы усиливается за счет циклического характера нисходящего и восходящего взаимодействий между основными стратами моделируемой системы, выделением аспектов такого взаимовлияния в системах различного типа. Вербального описания такого взаимодействия оказывается недостаточно для выявления динамических аспектов проявления этого взаимодействия между различными стратами социально-экономической системы.

Рассмотрим общий подход к построению имитационных моделей, описывающих такие феномены в социально-экономических системах. Модельная конструкция общественной системы должна связывать микроуровень, на котором индивиды принимают решение и действуют, и макроуровень, описывающий состояние, базовую структуру и развитие такой системы. Все переменные модели постоянно изменяются в течение длительного времени под воздействием внешних и внутренних факторов, в условиях трансформирующихся системных структур и свойств социально-экономической системы.

При создании обобщенной имитационной модели социально-экономического объекта используются модели и методы системной динамики. На макроуровне модельные конструкции сформированы с помощью агрегированных системно-динамических моделей, описывающих основные элементы и процессы развития общественной системы: население, экономика, производственная и социальная инфраструктура, экология и другие факторы общественной жизни. На языке нелинейной динамики, сформировать этот модельный

старт — это попытка представить основное уравнение системы, где присутствуют основные фазовые переменные, описывающие эволюцию, динамику социально-экономической системы в агрегированном виде. Однако гипотеза Маркова не позволяет сформировать формализмы и механизмы развития в таких системах, в силу сложных причинно-следственных зависимостей, желания описать всю ретроспективу такого развития и его влияние на текущее и будущее состояние развивающейся СЭС.

Методология системной динамики позволяет моделировать динамические процессы на высоком уровне агрегирования. В ее основе лежит представление о функционировании динамической системы как совокупности потоков (денежных, людских и т.п.). В общей структурной схеме моделей системной динамики выделены две части: сеть потоков и сеть информации. Последняя замыкает множество управленческих решений и сценариев, отрабатываемых на компьютерной модели. Системно-динамические модели социально-экономических систем — это модели потокового типа: ресурсы (природные, трудовые, финансовые, и др.) исчерпываются, ресурсы пополняются и могут быть описаны как сеть разнородных потоков. Состояние социально-экономической системы описывается особыми переменными — «уровнями» (численность населения различных категорий, производственные фонды, финансовые ресурсы и др.) и характеризует возникающие накопления внутри системы. Внешние воздействия и управленческие решения определяют темп (воспроизводства, потребления ресурсов, динамику) моделируемой системы. На основании обработки знаний экспертов выявляются все факторы, действующие в рассматриваемой системе, и причинно-следственные отношения между ними. Системно-динамическая модель нацелена на концептуализацию и структуризацию проблем, достижение понимания происходящих процессов и выявление смысла происходящего, поэтому методы системной динамики приближены к мышлению стратегических управленцев. Работы по моделированию общественных систем осуществляются в условиях широких междисциплинарных коммуникаций и участия специалистов различной специализации в процедурах экспертной ревизии. Методы онтологического моделирования и когнитивная аналитика являются эффективным инструментом такой работы и позволяют выявлять неявное знание в процедурах экспертизы.

Системная динамика предлагает парадигму, методологию и технологический подход, отличный

от традиционного. Это позволяет анализировать сложную динамику, нестационарную социально-экономическую систему при переходных процессах, в условиях структурной перестройки, неопределенности и динамичности внешней среды. Обобщенное описание СЭС, представленное на макроуровне, должно быть выдержано в терминах соответствия его внутренней структуры, функциональной организации (через отношение составляющих его элементов, ключевых узлов развития) и динамики развития. Изменяемая и трансформирующаяся под влиянием внутренних импульсов структура СЭС влияет на динамику (поведение) СЭС и процессы развития. Причины дестабилизации и перехода в другие динамические режимы находятся во взаимодействующих динамических процессах, протекающих в различных узлах СЭС и временных шкалах. Именно возможные траектории и маршрут долговременной эволюции социально-экономической системы являются основным предметом анализа в системно-динамических имитационных моделях. Управлять развитием через управление временем, своевременно выявлять моменты и изломы в развитии, ветвления динамических процессов и прохождение через точки бифуркаций и «невозврата», проводить анализ траекторий рассматриваемых секторов СЭС, определять точки приложения управленческих усилий — основная задача управления развивающейся СЭС.

Модельные конструкции системной динамики опираются на достоверные эконометрические оценки, которые используются для доведения системных потоковых диаграмм модели до четких количественных соотношений на этапе ее параметризации. Параметризация динамических моделей социально-экономических систем осуществляется как на основе математических моделей по данным мониторинга социально-экономических процессов, с применением методов интеллектуального анализа данных, так и по результатам экспертизы, на основе результатов социологических исследований.

Время является особой переменной в сценарной задаче по управлению динамической системой. Разработка таких сценариев, с учетом их размерности (множество управляющих параметров), распределенности по времени (характер и время приложения управленческих воздействий, осуществляющих перевод системы из текущего состояния в желаемое целевое на достаточно протяженном отрезке времени) должна опираться на информацию о возможных траекториях развития СЭС и анализ влияния управленческих воздействий. Методы и технологии

генерации возможных сценариев по управлению развитием СЭС требуют активного привлечения экспертизы и лиц, принимающих решения, к процедурам подготовки таких сценариев по результатам анализа возможных траекторий поведения, выполняемых с применением имитационной модели объекта управления. Аналитика стратегического управления выстраивается в форме процедур проведения динамического компьютерного сценарного анализа на основе обобщенной имитационной модели объекта управления. Сценарный подход позволяет формировать экспертам возможные сценарии развития или траектории движения СЭС на основе информации о состоянии и структуре СЭС и программ (планов) действий, а также проводить их анализ с помощью имитационной модели.

На уровне описания микропроцессов агрегированные системно-динамические модели СЭС дополняются агентными моделями, описывающими индивидуальное социальное поведение, экономическое поведение лиц, принимающих решения, а также взаимодействие множества социальных групп.

Человеческий фактор в его индивидуальном и коллективном проявлении является существенным при исследовании социально-экономических процессов. Активными элементами экономической и общественной систем являются люди, индивиды. Они также являются довольно сложной системой. Индивид может обладать определенной рациональностью, если он действует на рынке, однако он никогда не обладает полной информацией, он конкурирует или сотрудничает, меняет свое поведение под влиянием изменений в окружающей институциональной среде и реализуемых стратегий других участников, накапливает опыт и обучается, обогащает свои ментальные модели, на основе которых принимает решение. Действие агентов на рынке предопределяется его личным интересом и индивидуальным поведением, институциональным влиянием, формирующимися отношениями между агентом и институциональной средой. Существует целый ряд наук (организационное поведение, когнитивная психология), доказывающих, что люди нерациональны, обладают ментальностью, эмоциональностью, они действуют по своим правилам, реализуя собственные ментальные модели. Существенным стимулом развития этого направления явились смена экономической парадигмы о рациональном поведении экономических агентов и ограниченность поддерживающего ее математического аппарата, на представления об ограниченной рациональности лиц, принимающих решения, разви-

тие идей обучающей организации, поиск методов описания интеллектуальных экономических и социальных агентов, обучающихся на основе опыта.

Человек в новой общественной системе (гражданское общество, либерально-демократические формы) — это не просто экономический агент, максимизирующий функцию полезности, а личность, обладающая свободой выбора, реализующая индивидуальные траектории поведения. Вектор его активности имеет определенную меру «пассионарности», различающуюся для различных социальных групп. Сам состав социальных групп является переменным, формирующимся под воздействием общих социально-экономических тенденций, происходящих в обществе. Эти ментальные модели формируются не на рынке, а в процессе взаимодействия социальных агентов с обществом и другими индивидами и включают не только механизмы рационального выбора, но и сформированные в процессе общественного воспроизводства ценности. Различные индивиды обладают множеством потенциальных типов поведения. Социальные науки исследуют явления образования социального и человеческого капитала, формирующегося в процессе социального взаимодействия и общественного воспроизводства. Таким образом, на микроуровне СЭС учитываются решения и действия индивидов, мотивации и стандарты поведения, которые являются характеристиками определенных социальных групп.

Поведение такой личности, представителя общества, индивидуальный выбор и его коммуникации в социуме и экономической жизни можно описать с помощью многоагентного имитационного моделирования. Алгоритмические конструкции таких моделей могут воспроизводить на микроуровне общественной системы индивидуальное поведение таких активных агентов. Агент может быть интеллектуальным (и не очень), обучающимся на своем опыте. Характеристики агента меняются с течением времени, он изменяет свои решения под влиянием изменений в окружающей его среде, он взаимодействует, обменивается информацией с другими участниками социально-экономической системы. В результате формируются группы, структурные образования, запускаются изменения в организации самой социально-экономической системы. Эти проявления оказывают влияние на социально-экономическую среду, в которой индивид живет и осуществляет свой выбор. Именно на микроуровне запускаются процессы самоорганизации и самовоспроизводства, определяющие устойчивость и другие

динамические проявления в отдельных элементах социально-экономической системы. Возможно выделение мезо-слоя, на уровне которого описывается, как ведут себя люди, как они взаимодействуют, проявляются выделившиеся в результате взаимодействия социальные группы. Возникающее на микроуровне социальное поведение может приводить к глобальным изменениям в общественной системе. Свойства сложной социально-экономической системы на макроуровне формируются как результат взаимодействия агентов на микроуровне, в которой они осуществляют свое поведение. Это позволяет наблюдать и изучать закономерности, свойства и динамику, присущие системе в целом.

Агентная модель позволяет исследовать индивидуальное поведение различных групп агентов, специфику их адаптации к изменяющейся внешней среде, а также то, как процессы самоорганизации влияют на эволюцию и развитие социально-экономической системы в целом. Вычислительные возможности современных компьютеров и техника масштабирования позволяют представить систему практически любой сложности из большого количества взаимодействующих агентов. Результаты многочисленных социологических исследований, теоретические знания в общественных и экономических науках позволяют осуществлять кластеризацию, спецификацию агентов компьютерной модели. Ключевые задачи формирования этого модельного слоя связаны с процедурами идентификации агентов, их окружения, определением правил их поведения (спецификация) и соответствующего представления взаимодействия агентов. Процессы, формируемые на микроуровне, позволяют задать классы и характеристики агентов, правила, по которым они принимают решения, характер взаимодействия и обмена информацией между агентами системы и с внешней средой и другие.

Таким образом, при построении многоагентной модели задается индивидуальная логика поведения участников процесса, а тенденции, закономерности и новые свойства всей системы формируются как интегральные характеристики поведения совокупности агентов, составляющих систему. Эти характеристики могут возникать как на мезоуровне (групповое или социальное поведение, образование новых структур) или непосредственно на макроуровне, в виде агрегированных характеристик СЭС. Возникающее в процессе функционирования многоагентной модели поведение и мутации передают сигналы на макроуровень. Протекающие на макроуровне СЭС процессы образуют среду суще-

ствования множества таких агентов. Управляющие воздействия на макроуровне должны ориентироваться на возникающие на микроуровне проявления в социально-экономических процессах.

Таким образом, эффективные модельные конструкции развивающихся СЭС выстраиваются на принципах композитного сочетания системно-динамических и агентных имитационных моделей (рис. 1). Композитные динамические модели СЭС функционируют на основе единого модельного и информационного фрейма, что позволяет организовать процессы информационного обмена и механизмы взаимодействия между макроуровнем и микроуровнем моделируемой СЭС. СЭС на макроуровне являются внешней средой, в которой осуществляют свое индивидуальное поведение социальные и экономические агенты, и которая во многом предопределяет правила принятия этих решений, опыт и знания агентов. В свою очередь, возникающее социальное поведение запускает процессы самоорганизации, развития или стагнации, определяющие функционирование и управление социально-экономической системой в целом. Такой подход в построении много-модельных комплексов на основе композитных системно-динамических и агентных имитационных моделей позволяет исследовать динамику и развитие социально-экономических процессов посредством циклической взаимосвязи микроуровня и макроуровня в рассматриваемой социально-экономической системе.

Рассмотренные модельные конструкции СЭС рассматривались и применялись автором при построении динамических моделей социальной сферы (здравоохранение, образование, жилищная сфера, пенсионная система), региональных систем [20–26], организаций, интегрированных цепей поставок [27, 28].

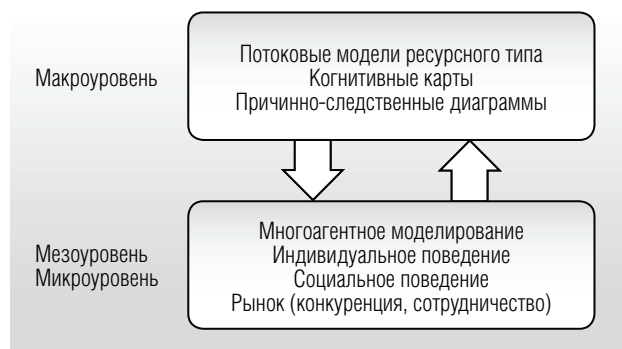


Рис. 1. Анализ динамики социально-экономических процессов посредством циклической взаимосвязи микроуровня и макроуровня в СЭС. Современные модельные конструкции

Идея создания композитных и иерархических моделей не нова, однако на практике это приводит к проблемам согласования разнородных моделей, вычислительным проблемам, что делает затруднительным их применение в практической информационно-аналитической работе. Для технологии ИМ это не представляет проблемы. Возможности иерархического моделирования, поддержка стратификации, эволюционного развития моделей легко осуществляются с помощью решений на основе объектно-ориентированного программирования и проектирования, поскольку ИМ – это своего рода динамическая информационная система. Подмодели обобщенной ИМ объекта функционируют на базе единого исследовательского и информационного фрейма, объединяясь в единую информационно-аналитическую инфраструктуру, что делает возможным ее инкапсуляцию в структуру информационно-аналитического центра любого назначения.

6. Инфраструктура информационно-аналитической деятельности в стратегическом управлении

Уровень развития информационных технологий сегодня позволяет выстраивать инфраструктуру когнитивных центров и систем поддержки принятия стратегических решений, где имитационная модель интегрируется с визуальными и математическими моделями, онтологиями, системами мониторинга, индикаторными панелями, сетевой экспертизой и другими инфраструктурными компонентами процедур принятия решений (рис. 2).

Имитационная модель СЭС выступает системообразующим звеном процедуры принятия стратегических решений в информационно-аналитических центрах (ИАЦ), наряду с системой мониторинга, анализа данных, методами генерации сценариев, технологиями проведения сценарных исследований и анализа их результатов [20, 23, 29]. Аналитика стратегического управления на базе ИАЦ в органах государственной власти выстраивается в форме процедур и ландшафта для проведения динамического компьютерного сценарного анализа на основе обобщенной имитационной модели объекта управления, дополненных методами генерации возможных сценариев развития СЭС, экспертным анализом последствий реализации сценариев, методами и моделями согласования интересов участников процесса социального проектирования.

СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ И ПРИНЯТИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

ИНФРАСТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

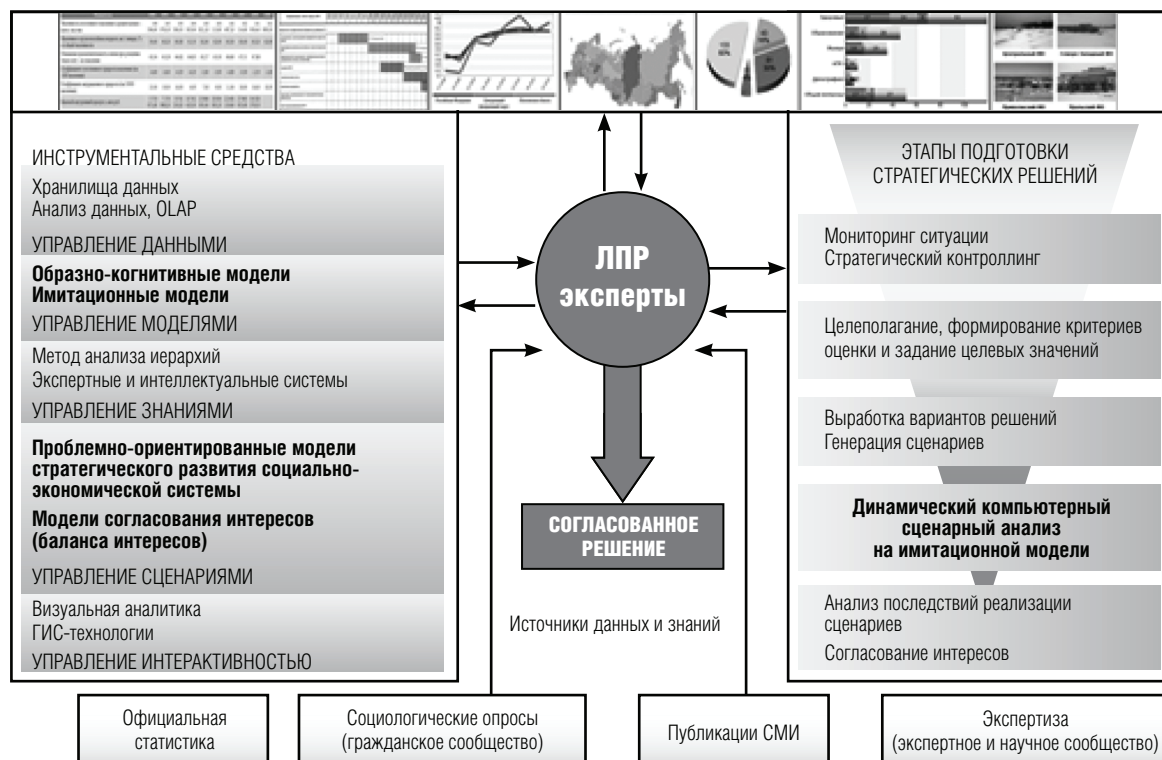


Рис 2. Инфраструктура информационно-аналитической деятельности в системах поддержки принятия стратегических решений

Заключение

Разработанные имитационные модели СЭС описываются на достоверные эконометрические оценки при идентификации социально-экономических процессов и спецификации социальных и экономических агентов. Аналитический мониторинг и ситуационный анализ формируют информационную базу для описания текущего состояния системно-динамической модели, параметризации и спецификации ее элементов (процессов и агентов). Процедуры экспертных ревизий и экспертно-когнитивный анализ применяется для стратификации, онтологического проектирования моделируемых социально-экономических систем, формирования возможных сценариев развития, проигрываемых на имитационных моделях, и построения моделей «баланса интересов».

Сценарный подход позволяет экспертам формировать возможные сценарии развития или траектории движения СЭС на основе информации о состоянии и структуре СЭС и программ (планов) действий, а также проводить их анализ с помощью имитационной модели. Важным моментом в формировании стратегических решений является

координация и согласование интересов всех участников этого процесса: государства, бизнеса, населения. Дискуссии, развернувшиеся в экспертно-аналитическом сообществе, которое пытается предложить множество сценариев такого развития, создают условия для формирования на основе имитационной модели консолидированного сценария развития или долгосрочного «баланса интересов всех участников».

Совершенствование технологии системного моделирования и сценарного планирования на базе информационно-аналитических центров в задачах стратегического планирования в государственном и корпоративном управлении требует совершенствования методов концептуализации моделируемых систем и стратификации моделирующих комплексов на основе онтологий [30, 31], расширения конвергентной составляющей процесса принятия согласованных решений на основе процедур организации и проведения экспертных ревизий, построения моделей «баланса интересов» с применением технологий сетевой экспертизы и методов экспертного оценивания, визуального моделирования и др. ■

Литература

1. Хакен Г. Синергетика / Пер. с англ. М.: Мир, 1980. 406 с.
2. Саймон Г.А. Теория принятия решений в экономической теории о науке и поведении: Теория фирмы / Пер. с англ., под ред. В.М.Гальперина. СПб: Экономическая школа, 1995.
3. Клейнер Г.Б. Стратегия предприятия. М.: Дело, 2008. 568 с.
4. Дрогобыцкий И.Н. Системный анализ в экономике. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2013. 423 с.
5. Forrester J.W. Urban dynamics. Waltham, MA: Pegasus Communications, 1969. 285 p.
6. Forrester J.W. World dynamics. Waltham, MA: Pegasus Communications. 1971. 144 p.
7. Forrester J.W. Industrial dynamics. Waltham, MA: Pegasus Communications, 1961. 464 p.
8. Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., William W. Behrens III W.W. The limits to growth. New York: Universe Books, 1972. 203 p.
9. 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.
10. Занг В.Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории / Пер. с англ., под ред. В.В.Лебедева и В.Н.Разжевайкина. М.: Мир, 1999. 325 с.
11. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. М.: СИНТЕГ, 2000. 528 с.
12. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем: Искусство и наука. М.: Мир. 1978. 418 с.
13. Лычкина Н.Н. Современные тенденции в имитационном моделировании // Вестник университета. 2001 №1. С.135–141.
14. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: ИНФРА-М, 2011. 254 с.
15. Технология системного моделирования / Е.Ф.Аврамчук и [др.], под общ. ред. С.В.Емельянова. М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. 520 с.
16. Кобелев Н.Б., Половников В.А., Девятков В.В. Имитационное моделирование: Учеб. пособие. М.: КУРС: ИНФРА-М, 2013. 368 с.
17. Павловский Ю.Н. Имитационные модели и системы. М.: ФАЗИС: ВЦ РАН, 2000. 134 с.
18. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика, 2013. 225 с.
19. Лычкина Н.Н. Ретроспектива и перспектива системной динамики. Анализ динамики развития // Бизнес-информатика. 2009. № 3 (9). С. 55–67.
20. Лычкина Н.Н. Компьютерное моделирование социально-экономического развития регионов в системах поддержки принятия решений // Труды III Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» (SICPRO'04). 28–30 января 2004 г., Москва. М.: Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, 2004. С. 1377–1402.
21. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование социально-экономических систем (Системно-динамические модели города и сельскохозяйственного региона). Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 181 с.
22. Лычкина Н.Н., Морозова Ю.А. Динамическое моделирование процессов развития пенсионной системы // Прикладная информатика. 2013. № 3 (45). С. 99–110.
23. Lychkina N.N., Shults D.N. Simulation modeling of regions' social and economic development in decision support systems // Proceedings of the 27th International Conference of the System Dynamics Society, 26–30 July 2009, Albuquerque, New Mexico, USA. [Электронный ресурс]: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2009/proceed/papers/P1068.pdf> (дата обращения 01.02.2016).
24. Lychkina N.N. Andrianov D.L., Morozova Y.A. Social sphere modeling based on system dynamics methods // Proceedings of the 29th International Conference of the System Dynamics Society, 24–28 July 2011, Washington, DC. [Электронный ресурс]: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2011/proceed/papers/P1211.pdf> (дата обращения 01.02.2016).
25. Lychkina N., Morozova Y. Dynamic simulation of pension system development processes // Proceedings of the 32nd International Conference of the System Dynamics Society, 20–24 July 2014, Delft, Netherlands. [Электронный ресурс]: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2014/proceed/papers/P1180.pdf> (дата обращения 01.02.2016).
26. Lychkina N.N., Morozova Y.A. Agent based modeling of pension system development processes // Proceedings of SAI Intelligent Systems Conference 2015 (IntelliSys 2015), 10–11 November 2015, London, UK. P. 857–862.

27. Лычкина Н.Н. Имитационные модели в процедурах и системах поддержки принятия стратегических решений на предприятиях // Бизнес-информатика. 2007. № 1. С. 29–35.
28. Лычкина Н.Н. Инновационные парадигмы имитационного моделирования и их применение в управленческом консалтинге, логистике и стратегическом менеджменте // Логистика и управление цепями поставок. 2013. №5 (58). С. 28–41.
29. Горбунов А.Р., Лычкина Н.Н. Проблемы, актуальные задачи и приоритеты в создании систем поддержки принятия решений и применении имитационного моделирования в сфере управления и бизнеса // Труды Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД–2007), 17–19 октября 2007, Санкт-Петербург. Т.1: Пленарные доклады. СПб: 2007. С. 27–36.
30. Лычкина Н.Н. Морозова Ю.А. Стратификация как основа инженерии технологий компьютерной поддержки принятия государственных решений в пенсионной сфере // Бизнес-информатика. 2012. № 2 (20). С. 20–28.
31. Идиатуллин А.Р., Лычкина Н.Н. Инструментальная реализация архитектурных моделей предприятия на основе онтологий // Бизнес-информатика. 2011. №5 (15). С. 31–42.