ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Системное моделирование экономики: к проблеме синтеза агентных, равновесных, эконометрических и когнитивных моделей (часть 2)

© 2026 г. Г.Б. Клейнер

Г.Б. Клейнер,
член-корреспондент РАН, ЦЭМИ РАН; Институт цифровых технологий Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Москва; e-mail: george.kleiner@inbox.ru

Поступила в редакцию 13.10.2025

Финансирование. *Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.*

Аннотация. В работе продолжается начатое в первой части статьи конструктивное исследование проблемы взаимодействия мира экономических систем с миром их компьютерно-математических моделей. Предлагается подход к решению задачи комплексирования основных видов компьютерно-математических моделей, основанный на парадигмальных соответствиях «объектная система — агентная модель», «процессная система — эконометрическая модель», «проектная система — когнитивная модель», «средовая система — равновесная модель». Базовое понятие тетрады как модели декомпозиции экономической системы в виде взаимодействия объектной, процессной, проектной и средовой подсистем детализируется за счет включения в анализ микроструктуры указанных подсистем. Появляется возможность отражения влияния каждой подсистемы тетрады не только на результаты, но и на внутренние механизмы функционирования связанных с ней подсистем, а также на действия системы в целом. Экономическая система тем самым рассматривается как динамическая трехуровневая пятиэлементная структура, пронизанная плотной сетью взаимных влияний элементов (пентада). На основе данной структуры строится единая многоаспектная модель экономической системы, представляющая собой комплекс моделей четырех базовых типов, каждая из которых отражает функционирование одной из четырех базовых подсистем и, соответственно, базовых аспектов поведения экономической системы.

Ключевые слова: экономические системы, базовые подсистемы, пентада, агентно-ориентированные модели, эконометрические модели, когнитивные модели, равновесные модели, комплексная модель системы.

Классификация JEL: C60.

УДК: 519.86.

Для цитирования: **Клейнер Г.Б.** (2026). Системное моделирование экономики: к проблеме синтеза агентных, равновесных, эконометрических и когнитивных моделей (часть 2) // *Экономика и математические методы*. Т. 62. № 2. С. 18–32. DOI: 10.7868/S3034617726020024

1. СИСТЕМЫ, ПОДСИСТЕМЫ, МИКРОСИСТЕМЫ: СТРУКТУРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В первой части статьи мир экономических систем рассматривался с точки зрения функциональной группировки систем и образования тетрад (Клейнер, 2026). Иными словами, внимание концентрировалось на движении «подсистемы → система». В данном разделе внимание концентрируется на обратном движении «система → подсистемы». Декомпозиционный анализ продолжается далее в направлении «подсистема → микроподсистема», что позволяет более точно определить взаимоотношения в триаде «система — подсистема — микроподсистема». Такой анализ необходим для определения конфигурации четырех моделей агентного, эконометрического, когнитивного и равновесного типов с целью построения комплексной модели системы. Необходимость разработки методологии комплексного моделирования экономических систем неоднократно отмечалась в литературе (Haldane, Turrell, 2018; Fagiolo, Roventini, 2017; Aruka, Kirman, 2017; Chen, Kaboudan, Du, 2018).

Мы предполагаем, что функционирование каждой подсистемы обеспечивается наличием внутренней структуры (микроструктуры), состоящей из элементов — микроподсистем того же типа, к которому относится подсистема. Для объектной подсистемы этими элементами являются

микроподсистемы объектного типа — подобъекты; для процессной подсистемы — подпроцессы; для проектной подсистемы — подпроекты; для средовой подсистемы — подсреды. Тем самым мы признаем фрактальный характер экономических систем, выделяя три уровня: систему, подсистему, микроподсистему. Теперь можно заключить, что результат работы системы в целом зависит от результатов работы четырех подсистем, при том что эти результаты, в свою очередь, определяются составом и результатами работы входящих в эти подсистемы микроподсистем.

Таким образом, мы переходим в данном разделе от общесистемного описания (Клейнер, 2026) к микросистемному описанию функционирования тетрады. Разрабатывается концепция внутрисистемной структуры, позволяющая интерпретировать компоненты общесистемного описания, отражающая влияние взаимосвязей между подсистемами на их внутреннюю микроструктуру. При этом мы пользуемся характеристиками, традиционными для описания экономики подсистем: например, экономики предприятий, экономики инновационных проектов, экономики логистических процессов, экономики внутрипроизводственных сред, что обеспечивает возможность стыковки моделей, описывающих процессы внутрисистемного обмена экономическими ресурсами (содержательный экономический уровень), с моделями, описывающими процессы внутрисистемного обмена ресурсами пространства, времени и энергии[1] (общесистемный уровень). На этом основании формируется схема соединения агентной, эконометрической, когнитивной, равновесной моделей в целях конструирования комплексной модели экономической системы.

Общесистемное описание функционирования систем концентрирует внимание на поведении системы в пространстве и времени; пространство и время при этом рассматриваются и как локальные ресурсы системы, и как глобальная среда ее функционирования. Функционирование системы приводит к изменению структуры пространства и времени, увеличению или уменьшению их однородности. В частности, в зависимости от типа системы мы можем говорить о диверсификации/унификации пространства и дифференциации/стабилизации времени.

На рис. 1 исследуемая система представлена четырьмя периферийными прямоугольниками (подсистемы) и центральным прямоугольником (система в целом). Взаимосвязи между подсистемами, а также между подсистемами и системой в целом проиндексированы порядковыми

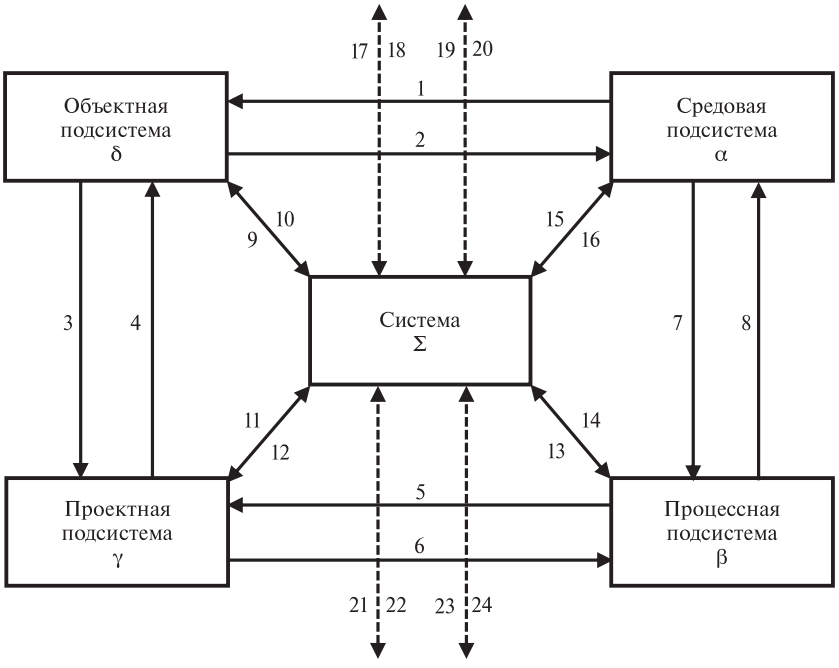

Рис. 1. Системная пентада: взаимодействие системы с подсистемой

[1] Для экономических систем эта энергия может быть выражена в виде знаний (компетенций), необходимых для использования ресурсов пространства и времени в ходе функционирования системы. Фактически речь идет об использовании *энергии познания*, что дает возможность в данной статье использовать термины «энергетический» и «когнитивный» как синонимы.

номерами от 1 до 16, причем каждая стрелка представляет определенный вид влияния одной подсистемы на микроструктуру другой подсистемы. Согласно конструкции тетрады, каждая подсистема связана с двумя другими подсистемами и участвует в кругообороте пространственных, временных и энергетических ресурсов (*S*, *T*, *I*, *A*). При этом подсистема передает соседним подсистемам два вида ресурсов, а именно тех ресурсов, которыми может распоряжаться самостоятельно. Средовая подсистема передает объектной ресурс пространства *S*; процессной — ресурс времени *T*. Процессная подсистема передает средовой ресурс активности *A*; проектной — ресурс пространства *S*. Проектная подсистема передает процессной ресурс интенсивности *I*; объектной — ресурс активности *A*. Объектная подсистема передает проектной ресурс времени *T*; средовой — ресурс интенсивности *I*. Соответственно, каждая подсистема получает от соседних подсистем два вида ресурсов. Каждая подсистема использует получаемый ресурс либо для деятельности своих микроподсистем, либо для улучшения внутриподсистемной среды взаимоотношений между микроподсистемами. Кроме того, каждая подсистема связана двусторонним взаимодействием с системой в целом. Таким образом, для каждой подсистемы мы имеем три входных воздействия и три вида выходных (рис. 1). Пунктирные стрелки с 17 по 24 соответствуют взаимоотношению экономической системы Σ с внешним окружением и обозначают процессы дифференциации/гомогенизации внешнесистемного пространства, времени, концентрации/диссипации энергии, а также включения (интериоризации) внешнего пространства и времени.

В табл. 1 приведено описание взаимоотношений между подсистемами (см. рис. 1), учитывающее воздействие пространственно-временных и энергетических ресурсов на микроструктуру подсистем. При составлении таблицы было использовано предположение о том, что насыщение каждой подсистемы дополнительными объемами пространства и/или времени создает условия, улучшающие возможности распределения в пространстве и/или времени (эшелонирования) микроподсистем, а также их координации. Субъектом эшелонирования может быть, в зависимости от степени централизации управления, принятой в данной системе, либо управляющий орган подсистемы, либо управляющий орган всей системы в целом; в принципе возможны и любые варианты самоорганизации микроподсистем (Калужский, 2015; Лепский, 2015; Foster, 2005; Arthur, 1999).

Таблица 1. Соответствие общесистемного и микросистемного описаний деятельности системы

Элемент «микросистемной» пентады	Общесистемное описание	Микросистемное описание
Подсистема δ	Объектная подсистема	Организационная структура
Подсистема γ	Проектная подсистема	Проектная структура
Подсистема β	Процессная подсистема	Процессная структура
Подсистема α	Средовая подсистема	Средовая структура
Система Σ	Относительно устойчивая часть пространства-времени, наделенная энергией развития	Экономическая система в целом
Влияние подсистемы α на подсистему δ (стрелка 1)	Трансфер пространственного ресурса	Повышение качества внутриподсистемного климата, улучшение взаимоотношений между микроподсистемами объектной подсистемы
Влияние подсистемы δ на подсистему α (стрелка 2)	Трансфер ресурса интенсивности	Компетенции (знания) микроподсистем средовой подсистемы в эффективном использовании пространства
Влияние подсистемы δ на подсистему γ (стрелка 3)	Трансфер ресурса времени	Эшелонирование во времени проектов по получению новых знаний микроподсистемами проектной подсистемы
Влияние подсистемы γ на подсистему δ (стрелка 4)	Передача ресурса активности	Компетенции (знания) микроподсистем объектной подсистемы в эффективном использовании времени
Влияние подсистемы β на подсистему γ (стрелка 5)	Трансфер пространственного ресурса	Эшелонирование в пространстве проектов для получения новых знаний микроподсистемами проектной подсистемы
Влияние подсистемы γ на подсистему β (стрелка 6)	Трансфер ресурса интенсивности	Компетенции (знания) микроподсистем процессной подсистемы в эффективном использовании пространства
Влияние подсистемы α на подсистему β (стрелка 7)	Трансфер ресурса времени	Расширение возможностей эшелонирования микроподсистем процессной подсистемы
Влияние подсистемы β на подсистему α (стрелка 8)	Трансфер ресурса активности	Компетенции (знания) микроподсистем средовой подсистемы в эффективном использовании времени

Окончание таблицы 1.

Элемент «микросистемной» пентады	Общесистемное описание	Микросистемное описание
Влияние подсистемы δ на систему Σ (стрелка 9)	Продление функционирования системы во времени (темпоральная регенерация)	Воспроизводственный потенциал системы
Влияние системы Σ на подсистему δ (стрелка 10)	Структурирование времени функционирования системы (timing)	Передача в подсистему δ информации о запросах внешней среды (рынка), касающихся развития подсистемы δ в будущем
Влияние подсистемы γ на систему Σ (стрелка 11)	Энергетическое обеспечение деятельности системы	Когнитивный потенциал системы
Влияние системы Σ на подсистему γ (стрелка 12)	Структурирование когнитивного потока (learning)	Передача в подсистему γ информации о запросах внешней среды (рынка), касающихся когнитивного развития системы
Влияние подсистемы β на систему Σ (стрелка 13)	Распространение (поддержание) сферы деятельности системы в пространстве (пространственная регенерация)	Потенциал расширения/сохранения зоны хозяйствования
Влияние системы Σ на подсистему β (стрелка 14)	Структурирование пространства системы (spacing)	Передача в подсистему β информации о запросах внешней среды (рынка), касающихся пространственного развития подсистемы β
Влияние подсистемы α на систему Σ (стрелка 15)	Интеграция внутрисистемного пространства-времени	Потенциал улучшения внутрисистемного климата
Влияние системы Σ на подсистему α (стрелка 16)	Структурирование пространства-времени системы (fostering)	Передача в подсистему α информации о запросах внешней среды (рынка), касающихся качества внутрисистемного климата

В табл. 1 и на рис. 1, таким образом, отражен переход от одноуровневого описания функционирования экономической системы в виде взаимосвязанной деятельности ее подсистем к трехуровневому описанию в виде взаимодействия системы и ее подсистем, а также каждой подсистемы с ее внутренним микросистемным наполнением (система — подсистемы — микроподсистемы).

Таким образом, критериями результативности подсистем являются: для объектной подсистемы — накопление ресурсов для продолжения жизнедеятельности системы; для процессной подсистемы — накопление ресурсов для расширения (сохранения) пространства, охватываемого данной системой (ареала); для проектной подсистемы — объем энергетических (когнитивных) ресурсов системы; для средовой подсистемы — характеристика однородности (сбалансированности, равновесности) внутреннего наполнения системы.

На микроподсистемы автоматически проецируются критерии результативности функционирования подсистем. Так возникают понятия результативности подобъектов, подпроцессов, подпроектов и подсред. Результаты деятельности структурированных таким образом подсистем теперь определяются: а) координацией функционирования микроподсистем данной подсистемы; б) результативностью этих микроподсистем.

Теперь у нас есть возможность раскрыть функционирование системы в терминах пространственно-временного и энергетического взаимодействия, используя конкретные экономические характеристики и показатели.

Представленное выше детализированное трехуровневое описание функционирования экономической системы дает возможность сформировать предпосылки (условия) эффективной деятельности экономической системы и ее подсистем. Предпосылками (условиями) эффективного функционирования экономической системы на перспективу выступают: воспроизводственный потенциал, потенциал расширения/сохранения зоны хозяйствования, когнитивный потенциал, потенциал улучшения внутрисистемного климата (интеграционный потенциал). В общем случае эти характеристики неравносильны: для систем объектного типа главным является воспроизводственный потенциал; для систем процессного типа — потенциал расширения/сохранения зоны хозяйствования; для систем проектного типа — когнитивный потенциал; для систем средового типа — потенциал улучшения внутрисистемного климата (интеграционный потенциал).

Конкретизируя содержание табл. 1 для объектной, процессной, проектной и средовой систем, мы можем заключить следующее. Критерием результативности системы объектного типа является продолжение ее жизнедеятельности. Эта роль обеспечивается объектной подсистемой, состоящей

из ряда взаимосвязанных подобъектов. Для этого необходима координация и мотивация подобъектов (элементов) системы, что, в свою очередь, требует взаимодействия объектной подсистемы со средовой и проектной подсистемами. Результаты функционирования проектной подсистемы отражаются в формировании знаний, необходимых для деятельности подобъектов. Результаты работы средовой подсистемы влияют на среду функционирования подобъектов объектной подсистемы и обеспечивают их координированность. Таким образом, в продолжении деятельности объектной подсистемы непосредственно участвуют средовая и проектная подсистемы и опосредованно — процессная подсистема.

Для системы процессного типа критерием результативности служит расширение (сохранение) пространства, охватываемого данной системой (ареала). Эта цель обеспечивается ведущей процессной подсистемой в зависимости от результатов работы трех других подсистем. Подпроцессы процессной подсистемы должны быть скоординированы во времени, для чего они должны получать соответствующие ресурсы от средовой подсистемы. Материальным выражением этих ресурсов являются хранилища данных (базы данных, дата-центры и т.п.). Использование этих ресурсов позволяет рациональным образом эшелонировать процессы во времени. Кроме того, процессы должны быть обеспечены энергоресурсами, исходящими от проектной подсистемы и необходимыми для расстановки подпроцессов во времени.

Когда мы говорим о целях экономической системы в виде захвата времени и охвата пространства, мы неявно предполагаем, что в рамках этого объема пространства-времени система осуществляет полезную экономическую деятельность. Для этого используется энергия, поставляемая проектной подсистемой. Для экономических систем эта энергия может быть выражена в виде знаний (компетенций), необходимых при размещении микроподсистем в пространстве и расстановке их во времени. Предполагается, что стремление к познанию является имманентной чертой участников экономической деятельности и, следовательно, движущей силой общественного развития. В общем смысле проектная подсистема — это источник энергии познания, что и дает возможность характеризовать проектную подсистему как когнитивную. В качестве обобщенного показателя результативности деятельности системы проектного типа, подобного показателям размеров захватываемого системой времени и охватываемого пространства, фигурирует показатель объема дополнительных знаний, полученных проектной подсистемой.

Критерием результативности системы средового типа является качество внутрисистемной среды, выражающееся в ее пространственно-временной однородности («безбарьерности»), необходимой для целостности и согласованности деятельности подсистем и их элементов (микроподсистем).

Таким образом, мы описали структуру и функции каждой из четырех подсистем, а также систем объектного, проектного, процессного и средового типов.

Следующий раздел посвящен формированию ключевых решений в процессе построения комплексной модели экономической системы на базе синтеза агентной, эконометрической, когнитивной и равновесной моделей. Предполагается, что соответствующие модели могут разрабатываться независимо от создания синтетической модели и подвергаться определенной модификации в ходе включения в единую модель.

2. ПОСТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ: ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА

Задачей данного раздела является описание ключевых элементов методики построения комплексной модели экономической системы на основе использования результатов (Клейнер, 2026) и предыдущего раздела. Одновременно в разделе отмечаются явные или неявные предпосылки, используемые (и часто остающиеся в тени) при построении агентных, эконометрических, когнитивных и равновесных моделей экономических систем. На этой базе мы формулируем более или менее унифицированное представление моделей, относящихся к числу агентных, эконометрических, когнитивных или равновесных. Основой для комплексной модели экономической системы служит ее представление в виде тетрады (Клейнер, 2026) и пентады (см. рис. 1).

Несмотря на то что агентно-ориентированные, эконометрические, когнитивные и равновесные модели отличаются друг от друга разнообразием внутреннего содержания и целевой ориентации, мы хотели бы предложить общую схему построения моделей каждого из этих видов. В самой общей (структурной) форме эти модели могут быть записаны в виде зависимости

$$Y = F\left(X_1,\ldots,X_n\right), \quad (1)$$

где Y — результативный (оценочный, критериальный) показатель деятельности экономической системы (подсистемы) в моделируемом периоде; X_1, ..., X_n — факторы, определяющие результаты деятельности системы (подсистемы) в данном периоде. В моделях каждого вида эти факторы отражают состояние структурных составляющих модели и взаимоотношений между ними.

Для агентно-ориентированной модели в качестве таких факторов фигурируют состав агентов, включаемых в виде элементов в агентную модель, их свойства, характеристики их состояния и поведения, а также их положения в среде функционирования (Макаров и др., 2023). В качестве результативного показателя Y в практике системного анализа и моделирования используются различные показатели, в том числе характеристики уровня согласованности состояния различных компонентов модели.

В случае эконометрической модели варианты включаемых в модель составляющих не поддаются универсальной спецификации. В самом общем случае эконометрическая модель состоит из одного или нескольких уравнений типа (1), где Y — показатель результативности функционирования системы в моделируемой области пространства (зоне хозяйствования) и в периоде моделирования (жизненного цикла); X_1, ..., X_n — состав процессов, включаемых в качестве элементов в эконометрическую модель, их свойства, характеристики их состояния и поведения, а также их положения в среде функционирования.

Для когнитивной модели зависимость (1) выражает связь между объемом вырабатываемых/используемых знаний и уровнем факторов, определяющих результаты когнитивной деятельности системы. Поскольку результатами деятельности когнитивной подсистемы являются два вида знаний (компетенций) — знания, необходимые для использования ресурса пространства (I) и ресурса времени (A), то для описания деятельности когнитивной системы необходимо использовать две модели типа (1). В первом случае в качестве Y рассматривается объем знаний для использования ресурса пространства, во втором — объем знаний для использования ресурса времени. В общем случае могут быть различными и системы факторов этих функций.

При построении равновесной модели используется результирующий показатель, отражающий особенности взаимоотношений между элементами модели (подсредами) с точки зрения их когерентности. В качестве показателей X_1, ..., X_n используются характеристики инфраструктуры, обеспечивающей однородность («безбарьерность») пространственно-временной среды.

Для обозначения объема трансфера пространственно-временных и энергетических ресурсов от одной подсистемы к другой будем использовать переменную Y с двумя нижними и одним верхним индексами. Верхний индекс принимает значения S или T в зависимости от того, какой именно из пространственно-временных ресурсов является предметом трансфера; нижние индексы принимают значения α, β, γ, δ, Σ в зависимости от того, какая подсистема является донором или реципиентом ресурса.

После приведенного выше общего описания особенностей агентно-ориентированных, эконометрических, когнитивных и равновесных моделей перейдем к описанию основных моментов методики их комплексирования. Предполагается, что в качестве исходных составляющих для построения комплексной модели экономической системы используются имеющиеся агентно-ориентированная, эконометрическая, когнитивная и равновесная модели, представляющие различные аспекты функционирования этой системы.

Задача комплексирования четырех типов моделей на основе пентады системы решается на базе следующих положений.

Агентная модель используется в качестве модели объектной подсистемы δ; эконометрическая модель — процессной подсистемы β; когнитивная модель — проектной подсистемы γ; равновесная модель — средовой подсистемы α. Фактически речь идет о построении модели тетрады на основе соединения моделей отдельных подсистем тетрады.

Процедура построения комплексной модели экономической системы включает следующие этапы.

1. Описание агентной модели экономической системы как модели, отражающей объектную структуру и объектные свойства данной системы.

2. Описание эконометрической модели как модели, отражающей процессную структуру и процессные свойства системы.

3. Описание когнитивной модели как модели, отражающей проектную структуру и проектные свойства системы.

4. Описание равновесной модели как модели, отражающей средовой состав и средовые свойства системы.

5. Каждая из моделей модифицируется с целью адаптации к включению в комплексную модель системы для отражения взаимодействия подсистем и системы в целом (согласно данным табл. 1).

6. Строится комплексная модель системы, включающая агентную, эконометрическую, когнитивную и равновесную подмодели, отражающие соответственно функционирование объектной, процессной, проектной и средовой подсистем, а также связи между ними и системой в целом, показанные на рис. 1.

Как говорилось выше, для комплексирования в целях разработки единой модели системы каждая из четырех подлежащих комплексированию моделей должна быть включена в пентаду, аналогичную пентаде на рис. 1. В модельной пентаде вместо объектной, процессной, проектной и средовой подсистем фигурируют соответственно агентная, эконометрическая, когнитивная и равновесная модели, а вместо экономической системы Σ — комплексная модель системы (рис. 2).

Для этого модели должны быть модифицированы таким образом, чтобы обеспечить связи между ними, соответствующие по наполнению связям между компонентами пентады. Так будет реализован принцип «природоподобия», о котором говорились в (Клейнер, 2026, введение).

В дальнейшем мы будем использовать α, β, γ, δ, Σ для обозначения как базовых подсистем и моделируемой системы в целом, так и для их моделей с учетом модификаций, иными словами — для составляющих модельного комплекса.

Ниже для модели каждого типа мы опишем основные этапы модификации модели, превращающей исходные модели агентного, эконометрического, когнитивного и равновесного типов в соответствующие составляющие комплексной модели экономической системы.

Согласно данным в табл. 1 и рис. 1, с каждой подсистемой ассоциированы три входных стрелки и три выходных. Для построения комплексной модели необходимо определить внутриподсистемные факторы, влияющие на выходные показатели данной подсистемы, и последствия воздействия

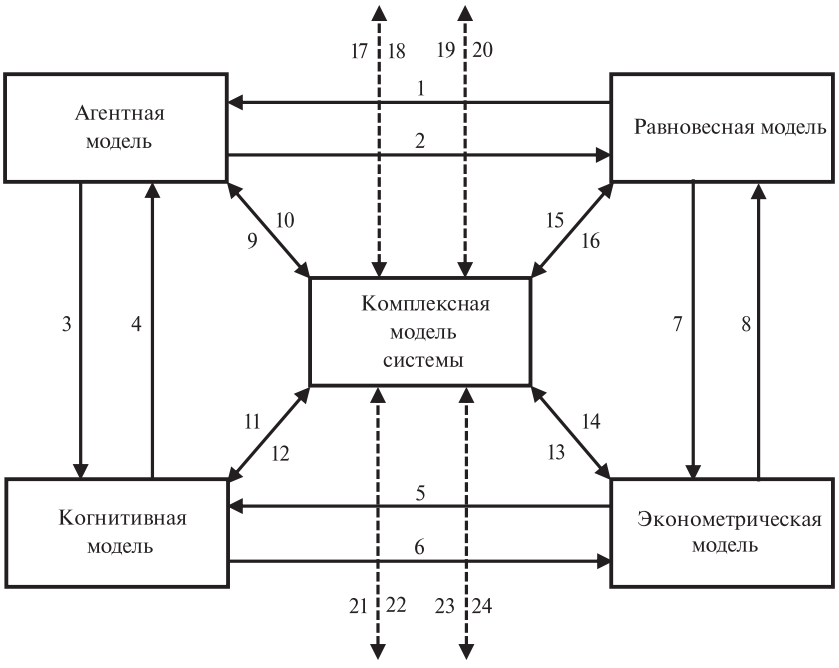

Рис. 2. Структура комплексной модели системы на основе концепции системной пентады

входных факторов на деятельность подсистемы. В этих целях подлежащая комплексированию модель должна быть модифицирована за счет включения в ее состав соотношений, позволяющих прослеживать результаты влияния на подсистему входных показателей и факторы формирования выходных показателей в рамках данной подсистемы.

При этом моделированию будет подвергаться только функционирование подсистем и системы в целом в виде использования подсистемами пространственно-временных ресурсов и их трансфера от одной подсистемы к другой. Управленческие процессы в данной модели не отражаются.

Соответственно, описание процесса комплексирования каждой модели должно включать: общее описание особенностей модели; описание влияния трех входных воздействий на подсистему; описание факторов, определяющих размеры трех выходных показателей. Во всех случаях мы рассматриваем подсистему как совокупность отдельных микроподсистем и отношений между ними. Поэтому влияние других подсистем на данную отражается в виде изменений микроподсистем и/или среды взаимоотношений между ними. Влияние системы Σ на подсистемы отражает пространственно-временные запросы внешнесистемной среды. Влияние подсистемы на систему Σ отражается в виде показателей ее деятельности во времени и в пространстве.

Модификация агентной модели

В общем виде агентная модель содержит математическое описание поведения конечного числа агентов, принимающих решения относительно связи с другими агентами в ответ на принимаемые ими решения, а также на изменения окружающей среды. Результаты принятых на каждом шаге решений (обычно время в агентных моделях считается дискретным) определяют динамику результативности системы.

Модификация агентной модели для комплексирования должна, в соответствии с приведенной таблицей, предусматривать в дополнение к исходной модели:

1) включение в агентную модель показателей, измеряющих уровень компетенций агентов в области использования времени (*A*-компетенций);

2) включение показателей, измеряющих качество пространственной межагентской среды, или межагентских отношений, в подсистеме δ.

Для формализации обозначим через z_δ^A средний уровень *A*-компетентности агентов. Текущая величина z_δ^A зависит от объема знаний относительно использования времени ($Y_{\gamma\delta}^T$), поступивших в объектную подсистему δ из проектной подсистемы γ.

Обозначим через q_δ общий уровень качества межагентской среды (межагентских отношений) в подсистеме δ. От качества межагентской среды зависит уровень *организованности* взаимодействия подобъектов в объектной подсистеме. Текущая величина q_δ определяется объемом пространства ($Y_{\alpha\delta}^S$), предоставляемого средовой подсистемой α объектной подсистеме δ.

Теперь для реализации комплексирования агентной модели с равновесной и когнитивной необходимо ввести в агентную модель две зависимости:

1) зависимость деятельности агентов от их *A*-компетенций

$$z_\delta^A = f_\delta\left(Y_{\gamma\delta}^T\right); \tag{2}$$

2) зависимость качества межагентской среды от объема пространства, поступившего со стороны равновесной модели

$$q_\delta = g_\delta\left(Y_{\alpha\delta}^S\right). \tag{3}$$

Здесь f_δ и g_δ — функции, отражающие внутренние особенности функционирования объектной подсистемы.

Описание способов измерения показателей z_δ^A и q_δ, а также способов построения моделей f_δ и g_δ выходит за пределы основной тематики данной статьи.

Предполагается, что агентная модель, предъявляемая для включения в комплексную модель системы, содержит зависимости, отражающие, в том числе, влияние работы микроподсистем (микрообъектов) на функционирование объектной подсистемы в целом.

Кроме объема знаний ($\gamma \to \delta$) и объема пространства ($\alpha \to \delta$) в подсистему δ поступает информация о структуре внешних по отношению ко всей системе запросов со стороны системы Σ ($\Sigma \to \delta$),

касающихся развития объектной подсистемы. Эта информация применяется для управления подсистемой δ, и использование этой информации не отражается на принятом в данной статье модельном уровне.

В свою очередь, подсистема δ формирует воспроизводственный потенциал системы и передает его системе Σ (δ → Σ). Для измерения этого потенциала могут использоваться, в зависимости от круга решаемых с помощью комплексной модели задач, такие показатели, как объем основных производственных фондов системы, прогнозная длительность функционирования системы и т.п. Возможно также использование специальных баллов, с помощью которых рассчитывается прогнозный интервал устойчивости системы. Этот воспроизводственный потенциал передается от подсистемы δ к системе Σ и является одним из четырех результативных показателей всей системы в целом. Одновременно воспроизводственный потенциал передается от подсистемы δ к подсистеме γ в виде ресурса времени, которое γ может использовать для эшелонирования своих подпроектов. От размеров воспроизводственного потенциала, создаваемого подсистемой δ, зависит объем ресурса времени T, передаваемого подсистемой δ в подсистему γ. Вместе с этим ресурсом времени T передается в подсистему γ от подсистемы δ и его структурное описание в виде timing[2], получаемое подсистемой δ от системы Σ. Это позволяет подсистеме γ сформировать компетенции подобъектов для подсистемы δ на различных интервалах ее деятельности.

Объем знаний I, передаваемых подсистемой δ подсистеме α, зависит, главным образом, от накапливаемого подсистемой δ опыта функционирования в условиях ограниченного пространственного ресурса. Изменение объема пространственных знаний I может быть отражено с помощью модели авторегрессионного типа.

Модификация эконометрической модели

В общем виде эконометрическая модель, как показывает углубленный системный анализ, содержит математическое описание функционирования конечного числа подпроцессов, рассматриваемых как составляющие процессной подсистемы. Характеристики данного подпроцесса, в том числе его размещения во времени и распространения в пространстве, зависят от аналогичных характеристик других подпроцессов, а также от эшелонирования, т.е. размещения подпроцессов во времени и распространения в пространстве. Эта зависимость отражается в виде одного или нескольких эконометрических соотношений между характеристиками (показателями) подпроцессов. Результаты работы процессной подсистемы, подобно тому, как это имеет место в объектной подсистеме по отношению к микрообъектам, определяются как интенсивностью этих подпроцессов, так и качеством межподпроцессной среды, проявляющейся в виде уровня координации функционирования подпроцессов.

Модификация эконометрической модели для подготовки к комплексированию должна предусматривать следующие этапы:

1) включение в эконометрическую модель показателей, измеряющих уровень компетенций (знаний, обеспечивающих эффективное использование пространства каждым подпроцессом) (I-компетенций);

2) включение показателей, измеряющих качество темпоральной межподпроцессной среды, обеспечивающей возможность эшелонирования (координации) подпроцессов во времени.

Для формализации обозначим через z_β^I средний уровень I-компетентности подпроцессов. Этот уровень зависит от объема информации (знаний) о вариантах наилучшего использования пространства. Текущая величина z_β^I зависит от объема знаний для использования пространства ($Y_{\gamma\beta}^S$), поступившего в процессную подсистему β из проектной подсистемы γ:

$$z_\beta^I = f_\beta\left(Y_{\gamma\beta}^S\right). \tag{4}$$

Обозначим через q_β общий уровень качества темпоральной межподпроцессной среды, обеспечивающий возможность эшелонирования подпроцессов во времени. От уровня качества этой среды зависит степень *координированности* функционирования подпроцессов. Текущая величина q_β зависит от объема времени ($Y_{\alpha\beta}^T$), передаваемого средовой подсистемой для процессной (*timing*):

[2] Понятие “timing” используется в статье в двух смыслах: 1) как структурированный объем темпоральной информации, передаваемой от системы Σ к подсистеме δ; 2) как структурированный объем темпорального ресурса, передаваемого подсистемой δ в подсистему γ. В целях упрощения изложения мы используем для этих понятий одно и то же обозначение.

$$q_\beta = g_\beta\left(Y^T_{\alpha\beta}\right). \quad (5)$$

Здесь f_β и g_β — функции, отражающие внутренние особенности функционирования процессной подсистемы.

Описание способов измерения показателей z^I_β и q_β, а также способов построения моделей f_β и g_β выходит, как и для объектной подсистемы, за пределы основной тематики данной статьи.

Предполагается, что эконометрическая модель, предъявляемая для включения в комплексную модель системы, содержит зависимости, отражающие, в том числе, влияние работы микроподсистем (т.е. в данном случае — микропроцессов) на функционирование процессной подсистемы в целом.

Кроме объема знаний ($\gamma \to \beta$) и объема времени ($\alpha \to \beta$) в подсистему β поступает информация о структуре внешних по отношению ко всей системе запросов со стороны системы Σ ($\Sigma \to \beta$), касающихся развития процессной подсистемы. Эта информация применяется для управления подсистемой β, и использование этой информации не отражается на принятом в данной статье модельном уровне.

В свою очередь, подсистема β формирует потенциал экспансии (расширения/сохранения зоны хозяйствования) системы и передает его системе Σ ($\beta \to \Sigma$). Для измерения этого потенциала, в зависимости от круга решаемых с помощью комплексной модели задач, могут использоваться такие показатели, как объем пространственного размещения рыночного спроса на продукцию данной системы, число сотрудников системы в сфере маркетинга и т.п. Возможно также использовать специальные баллы, с помощью которых рассчитывается прогнозный интервал устойчивости зоны хозяйствования системы. Этот потенциал экспансии передается от подсистемы β к системе Σ и является одним из четырех результативных показателей всей системы в целом. Одновременно потенциал экспансии передается от подсистемы β к подсистеме γ в виде свободного пространства, которое γ может использовать для эшелонирования своих подпроектов. От потенциала экспансии, создаваемого подсистемой β, зависит объем ресурса пространства S, передаваемого подсистемой β подсистеме γ. Вместе с этим ресурсом пространства S передается в подсистему γ от подсистемы β и его структурное описание в виде spacing[3], получаемое подсистемой β от системы Σ. Это позволяет подсистеме γ сформировать компетенции подпроцессов для подсистемы β в различных пространственных областях ее деятельности.

Объем знаний A, передаваемых подсистемой β подсистеме α, зависит, главным образом, от накапливаемого в подсистеме β опыта функционирования в условиях ограниченного ресурса времени. Изменение объема знаний A может быть отражено с помощью модели авторегрессионного типа. Отметим, что исходным для формирования такой модели служит не временной ряд показателей A, а пространственный ряд, членами которого являются значения A, связанные с изменениями объема пространственного ресурса, используемого системой. Подобная модель, так же как и в случае динамики для объектной системы, может быть как дискретной, так и непрерывной.

Модификация когнитивной модели

Отправной точкой для процесса модификации когнитивной модели является ее представление в виде так называемой производственной функции знаний (Griliches, 1979; Pakes, Griliches, 1984; Теплых, 2016; Егорова, Торжевский, 2025; и др.):

$$K = f\left(U_1,\ldots,U_q\right), \quad (6)$$

где K — репрезентативный показатель объема создаваемых в системе знаний о возможностях использования системой ресурсов пространства и времени; $U_1,\ldots,U_q$ — факторы производственной функции знаний.

Среди этих факторов — объемы полученных ранее или доступных для системы знаний, а также такие условия функционирования системы, как объемы финансирования когнитивной деятельности, размеры материальных и человеческих ресурсов, осуществляющих приращение запаса знаний в системе, и т.п.

[3] Подобно понятию “timing”, понятие “spacing” выражает, с одной стороны, структурированный объем пространственной информации, передаваемой от системы Σ к подсистеме β, с другой стороны, — структурированный объем пространственного ресурса, передаваемого подсистемой β подсистеме γ. Так же как и в случае timing, мы сохраняем обозначение “spacing” для использования в тексте в обоих смыслах.

Результаты деятельности когнитивной подсистемы используются системой Σ (показатель K), подсистемой δ (показатель A) и подсистемой β (показатель I). Для определения значений I и A строятся две производственные функции — производственная функция пространственных знаний и производственная функция темпоральных знаний:

$$I = h\left(D_1,\ldots,D_m\right), \tag{7}$$

$$A = b\left(R_1,\ldots,R_n\right), \tag{8}$$

где I — объем знаний, необходимых для работы процессной подсистемы; A — объем знаний, необходимых для работы объектной подсистемы; $D_1,\ldots,D_m$ и $R_1,\ldots,R_n$ — факторы, определяющие объем создания знаний I и A.

Знания первого типа отражают информацию об особенностях зоны хозяйствования, где функционирует система. Знания второго типа отражают информацию об особенностях периода (в котором функционирует система), оказывающих влияние на деятельность системы. Объем знаний обоих типов может быть измерен с использованием методов количественной оценки знаний, применяемых в системах менеджмента знаний (ГОСТ Р 54877-2011). В различных ситуациях для этого используются число патентов, баз данных, публикаций и руководств и т.п., создаваемых в данной системе.

Функции (7) и (8) могут рассматриваться как результаты дезагрегирования функции (6).

Модификация когнитивной модели с целью интеграции ее в модельный комплекс заключается в следующем:

1) расщепление когнитивной модели на две факторные зависимости, определяющие уровни знаний I и A;

2) включение показателя S в состав факторов $D_1,\ldots,D_m$; включение показателя T в состав факторов $R_1,\ldots,R_n$;

3) включение в модель показателей, отражающих соответствие структуры имеющихся знаний запросам внешней среды, поступающим от системы Σ.

Влияние S и T на когнитивные процессы находит отражение при формировании коэффициентов для сравнения фактической и желаемой структуры вырабатываемых в когнитивной подсистеме знаний (см. ниже).

Соответствие структуры имеющихся знаний требованиям внешней среды, поступающим от системы Σ, выражается с помощью коэффициентов k_γ^I и k_γ^A, корректирующих объемы I и A с целью учета расхождений структуры имеющихся и требуемых знаний.

Теперь модель функционирования когнитивной подсистемы имеет вид:

$$I = k_\gamma^I h\left(D_1,\ldots,D_m\right), \tag{9}$$

$$A = k_\gamma^A b\left(R_1,\ldots,R_n\right), \tag{10}$$

где k_γ^I — коэффициент пересчета объема I для учета желаемой пространственной структуры выдачи знаний; k_γ^A — коэффициент пересчета объема A для учета желаемой временно́й структуры выдачи знаний.

Коэффициент k_γ^I может определяться по формуле:

$$k_\gamma^I = 1 + \frac{1}{I} + \left(\sum\nolimits_{t=1}^{M}\left|I_p^M - I_p^F\right|\right) \Big/ \sum\nolimits_{t=1}^{M} I_p^F, \tag{11}$$

где I_p^F — объем фактического пространственного знания, относящегося к фрагменту пространства p; I_p^M — объем пространственного знания, необходимого для функционирования подсистемы в составе системы Σ, относящегося к фрагменту пространства p (определяется в соответствии с показателем spacing); M — число фрагментов пространства, учитываемых при анализе различия между фактическим и нормативным объемами знаний.

Коэффициент k_γ^A определяется по формуле:

$$k_\gamma^A = 1 + \frac{1}{A} + \left(\sum\nolimits_{t=1}^{N}\left|A_t^N - A_t^F\right|\right) \Big/ \sum\nolimits_{t=1}^{N} A_t^F, \tag{12}$$

где A_t^F — объем фактического темпорального знания, созданного в системе в период t; A_t^N — объем темпорального знания, необходимого для функционирования подсистемы в составе системы Σ

в период t (определяется в соответствии с показателем timing); N — число периодов, учитываемых при анализе различия между фактическим и нормативным объемами знаний.

Предполагается, что когнитивная модель, предъявляемая для включения в комплексную модель системы, содержит зависимости, отражающие, в том числе, влияние работы микроподсистем (микропроектов) на функционирование проектной подсистемы в целом.

Непосредственное взаимодействие подсистемы γ и системы Σ отражается в передаче из подсистемы γ результатов работы подсистемы γ в виде общего объема знаний в систему Σ. Этот объем знаний определяет когнитивный потенциал развития системы Σ. В свою очередь, система Σ передает подсистеме γ сведения об объеме и структуре знаний, необходимых для работы системы Σ в будущем.

Модификация равновесной модели

В качестве типового представителя класса равновесных моделей можно рассматривать модель баланса «производство — потребление (спрос)»

$$P = C, \tag{13}$$

где P — структурированный объем производства продукции данной экономической системы; C — структурированный объем потребления (спроса) этой продукции внешней для системы средой.

Равенство (13) отражает стремление к гармонизации взаимоотношений между экономической системой и внешней средой.

Можно показать, что формула (13) в фундаментальном смысле представляет баланс пространства и времени с учетом интенсивности и активности как показателей эффективности использования пространства и времени. Заметим, что аналогичная концепция пространственно-временного баланса с учетом эффективности использования пространства и времени отражена в понятии «*сбалансированность тетрады*» и, соответственно, в понятии «*индекс сбалансированности*» (Клейнер, Рыбачук, 2017). Другими словами, равновесные модели отражают равновесность (равновесомость) пространства и времени (S и T) в конкретных условиях (I и A) данной системы.

В ходе функционирования системы товар, произведенный системой в определенный момент времени, переходит в собственность потребителя в более поздний момент времени. Таким образом, *изменение однородности (стабильности) времени сопровождается изменением однородности пространства*. Это свидетельствует о согласовании пространства и времени в рамках средовой подсистемы, если учитывать эффективность их использования в ходе трансакции.

Исходим из предположения, что равновесная (балансовая) модель отражает, по сути, баланс между предложением и спросом, а трансакция приводит к повышению однородности средовой подсистемы. Модификация равновесной модели в целях ее включения в комплексную модель системы состоит в свете сказанного из следующих этапов.

1. Разработка моделей преобразования объема знаний о наилучшем использовании пространства I и времени A в коэффициенты, отражающие влияние I и A на показатели пространства и времени:

$$k_S = f_S(I), \tag{14}$$

$$k_T = f_T(A). \tag{15}$$

2. Включение k_S и k_T в уравнение (13) с целью пересчета левой и правой частей уравнения с учетом коэффициентов использования пространства и времени:

$$k_S P = k_T C. \tag{16}$$

3. Определение объема и структуры времени, передаваемого средовой подсистемой в процессную подсистему, как решение уравнения (16) при экзогенно заданных уровне и структуре спроса в продукции системы при заданной правой части уравнения (16):

$$Y^T_{\alpha\beta} = g\left(k_T C\right). \tag{17}$$

Объем и структура пространства (Y^S), передаваемого средовой подсистемой α объектной подсистеме δ, определяется экзогенно. Предоставляемое объектной подсистеме внешнее пространство для функционирования отражает внешний спрос на продукцию системы. Размеры реального

производства зависят от эшелонирования таких внутрисистемных процессов, как логистика, информирование, распространение инноваций и т.п.

Влияние подсистемы α на систему Σ проявляется в интеграции внутрисистемного пространства-времени, образовании *хронотопа*. Фактически речь идет о формировании интеграционного потенциала системы, т.е. улучшения (повышения однородности) внутрисистемной среды[4].

Влияние системы Σ на подсистему α проявляется в структурировании пространства-времени системы (хронотопа) на основании трансфера внешнесистемных данных (fostering). Имеется в виду передача подсистеме α информации о требованиях внешней среды (рынка) к качеству внутрисистемного климата.

Влияние на средовую подсистему со стороны объектной подсистемы состоит в передаче способностей (компетенций) использовать ресурсы пространства. Эти способности определяют потенциалы микроподсистем (таких подсред, как институциональная, информационная, инфраструктурная и т.п.). Согласно концепции саморазвивающихся сред (Лепский, 2015), средовая подсистема и составляющие ее микросреды обладают априорными способностями к саморазвитию, т.е. к повышению уровня качества (пространственно-временной гомогенности) среды. Подобным образом способности использовать время передаются от процессной подсистемы к средовой. В целом оба этих вида способностей определяют качество среды.

Предполагается, что равновесная модель, предъявляемая для включения в комплексную модель системы, содержит зависимости, отражающие, в том числе, влияние работы микроподсистем (микросред) на функционирование средовой подсистемы в целом.

Качество средовой подсистемы, наряду с воспроизводственным (качество объектной подсистемы), экспансионистским (качество процессной подсистемы) и когнитивным потенциалами (качество проектной подсистемы), определяет потенциал системы в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложена структуризация пространства экономических систем и параллельно — структуризация пространства системных компьютерно-математических моделей. Это позволяет на основании принципа природоподобия предложить ключ к решению проблемы комплексирования агентных, эконометрических, когнитивных и равновесных моделей, характеризующих функционирование одной и той же экономической системы. Раскрыты виды взаимодействия между экономическими системами разных типов, связанные с обменом ресурсами экономического пространства, времени и знаний. Такой подход позволяет представить функционирование экономических систем в виде взаимодействия четырех подсистем: объектной (организационной), процессной (логистической), проектной (инновационной) и средовой (инфраструктурной). Взаимодействие этих подсистем в рамках одной экономической системы имеет разнообразный характер и протекает на разных уровнях. В статье предложена универсальная трехуровневая структура экономической системы, связывающая микроподсистемы (микрообъекты, микропроцессы, микропроекты и микросреды), подсистемы (объектная, процессная, проектная и средовая) и систему в целом. Таким образом, возникает возможность исследовать экономические системы на микро-, мезо- и макросистемном уровнях.

Функционирование экономической системы в окружающем мире представляется, согласно изложенному выше подходу, в виде четырех фундаментальных процессов: регулирование пространства (spacing); регулирование времени (timing); регулирование знаний (learning); регулирование пространственно-временного континуума (fostering). Под регулированием здесь понимается двусторонний процесс гармонизации внутренней среды системы и ее внешнего пространственно-временного и энергетического окружения.

Перспективы развития предложенной концепции видятся как сочетание следующих четырех направлений.

---

[4] Повышение качества внутрисистемной среды выражается в улучшении ее способности не только интегрировать различные составляющие, но и вовлекать в деятельность экономической системы внешних контрагентов; благоприятный внутрисистемный климат является, как правило, важным фактором привлекательности системы, гармонизации ее взаимодействия с окружающим миром.

1. Отказ от принципа невзаимозаменяемости пространства и времени и, соответственно, невзаимозаменяемости интенсивности и активности. Более детальное изучение влияния синтетических факторов хронотопа и мультипотенциала на функционирование систем.

2. Развитие концепции «анатомии» — как относительно постоянной структуры (каркаса) экономических систем в сочетании с дальнейшим изучением «физиологии» — как характеристики переменных межсистемных взаимодействий.

3. Разработка теории гибридных экономических компьютерно-математических моделей, сочетающих свойства агентных, эконометрических, когнитивных и равновесных моделей.

4. Развитие методов аксиоматизации процессов построения и интерпретации экономических компьютерно-математических моделей с целью расширения использования искусственного интеллекта в области моделирования, прогнозирования и анализа функционирования экономических систем.

Применение методов анализа и моделирования реальных экономических систем на основе разработанной концепции предполагает серьезную модификацию сложившихся подходов к построению и оценке эффективности экономических систем. Необходимо также создание системы формальных и неформальных специализированных институтов, поддерживающих развитие сферы моделирования — «суверенного» направления в современной экономической науке и практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

Егорова Н.Е., Торжевский К.А. (2025). Применение интеллектуальных технологий на предприятиях в сфере производства знаний. В кн.: «*Интеллектуальные технологии в микро- и мезоэкономике: монография*». Под ред. чл.-корр. РАН Г.Б. Клейнера. М.: Издательский дом «Научная библиотека», ЦЭМИ РАН. С. 244–257. [**Egorova N.E., Torzhevsky K.A.** (2025). Application of intelligent technologies at enterprises in the sphere of knowledge production. In: "*Intelligent technologies in micro- and mesoeconomics: Monograph*". G.B. Kleiner (gen. ed.). Moscow: Publishing House "Nauchnaja biblioteka", Central Institute of Economics and Mathematics of the Russian Academy of Sciences, 244–257 (in Russian).]

Калужский М.Л. (2015). *Самоорганизующиеся системы: в природе, обществе и экономике: монография*. М., Берлин: Директ-Медиа, Омский государственный технический университет. [**Kaluzhsky M.L.** (2015). *Self-organizing systems: In nature, society, and economy: Monograph*. Moscow, Berlin: Direct-Media, Omsk State Technical University (in Russian).]

Клейнер Г.Б. (2026). Системное моделирование экономики: к проблеме синтеза агентных, равновесных, эконометрических и когнитивных моделей (часть 1) // *Экономика и математические методы*. Т. 62. № 1. С. 5–18. [**Kleiner G.B.** (2026). Systems modeling of the economy: Towards the problem of integrating agent-based, equilibrium, econometric and cognitive models (part 1). *Economics and the Mathematical Methods,* 62 (1), 5–18 (in Russian).]

Клейнер Г.Б., Рыбачук М.А. (2017). *Системная сбалансированность экономики.* М.: ИД «Научная библиотека». [**Kleiner G.B., Rybachuk M.A.** (2017). *System balance of the economy*. Moscow: Publishing House "Nauchnaja biblioteka" (in Russian).]

Лепский В.Е. (2015). Экономическая кибернетика саморазвивающихся сред (кибернетика третьего порядка) // *Управленческие науки*. Т. 5. № 4. С. 22–33. [**Lepskiy V.E.** (2015). Economic cybernetics of self-developing environments (the third-order cybernetics). *Management Sciences,* 5 (4), 22–33 (in Russian).]

Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Россошанская Е.А., Дорошенко Т.А., Самсонова Н.А. (2023). Проблемы стандартизации описания агент-ориентированных моделей и возможные пути их решения // *Вестник РАН*. Т. 93. № 4. С. 362–372. [**Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Rossoshanskaya E.A., Doroshenko T.A., Samsonova N.A.** (2023). Problems of standardizing agent-based model description and possible ways to solve them. *Herald of the Russian Academy of Sciences,* 93 (4), 362–372 (in Russian).]

Теплых Г.В. (2016). Производственная функция знаний фирмы: обзор эмпирических исследований // *Экономическая наука современной России*. № 1 (72). С. 28–38. [**Teplykh G.V.** (2016). Knowledge production function of a firm: A review of empirical research. *Economics of Contemporary Russia,* 1 (72), 28–38 (in Russian).]

Arthur W.B. (1999). Complexity and the economy. *Science*, 284 (5411), 107–109.

Aruka Y., Kirman A. (eds.). (2017). *Economic foundations for social complexity science. Theory Sentiments and Empirical laws*. Singapore: Springer. DOI: 10.1007/978-981-10-5705-2

Chen S.-H., Kaboudan M., Du Y.-R. (eds.) (2018). *The Oxford handbook of computational economics and finance*. Oxford: Oxford University Press.

Fagiolo G., Roventini A. (2017). Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: New developments and challenges ahead. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 20 (1), 1. DOI: 10.18564/jasss.3280

Foster J. (2005). From simplistic to complex systems in economics. *Cambridge Journal of Economics*, 29, 6, 873–892.

Haldane A.G., Turrell A.E. (2018). An interdisciplinary model for macroeconomics. *Oxford Review of Economic Policy*, 34 (1–2), 219–251.

Griliches Z. (1979). Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. *The Bell Journal of Economics*, 10, 92–116.

Pakes A., Griliches Z. (1984). *Patents and R&D at the firm level: A first look. R&D, patents, and productivity*. Ed. by Z. Griliches. Chicago: University of Chicago Press, 55–72.

Systems modeling of the economy: Towards the problem of integrating agent-based, equilibrium, econometric and cognitive models (part 2)

© 2026 G.B. Kleiner

G.B. Kleiner,
Corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia; e-mail: george.kleiner@inbox.ru

Received 13.10.2025

Acknowledgment. *The article was prepared on the base of results of research carried out at the expense of budgetary funds under a state assignment from the Financial University under the Government of the Russian Federation.*

Abstract. This paper continues the constructive study of the interaction between the world of economic systems and the world of their computer-mathematical models, that was started in the first part of the article. An approach to integrating the main types of computer-mathematical models was proposed. This approach is based on the paradigmatic correspondences "object system — agent-based model, process system — econometric model, project system — cognitive model, environmental system — equilibrium model." The basic concept of a tetrad as a model for decomposing an economic system into the interaction of object, process, project, and environmental subsystems is further refined by incorporating the microstructure of these subsystems into the analysis. There arises the opportunity to reflect the influence of each subsystem of the tetrad not only on the results but also on the internal mechanisms of the associated subsystems, as well as on the operation of the system as a whole. The economic system is thus viewed as a dynamic three-level, five-element structure, permeated by a dense network of mutual influences between its elements (pentad). This structure is the basis for constructing a unified multi-aspect model of the economic system, which is a complex of models of four basic types. Each of these models reflects the functioning of one of the four basic subsystems and, accordingly, the basic aspects of the economic system behavior.

Keywords: economic systems, basic subsystems, pentad, agent-based models, econometric models, cognitive models, equilibrium models, complex system model.

JEL Classification: C60.

UDC: 519.86.

For reference: **Kleiner G.B.** (2026). Systems modeling of the economy: Towards the problem of integrating agent-based, equilibrium, econometric and cognitive models (part 2). *Economics and Mathematical Methods*, 62, 2, 18–32. DOI: 10.7868/S3034617726020024 (in Russian).