

Открытый научный семинар кафедры теории и методологии государственного и муниципального управления под руководством академика С.Ю. Глазьева

Машкова А.Л.

Прогнозирование долгосрочного развития макроэкономических систем на базе агент-ориентированных моделей

Машкова Александра Леонидовна — кандидат технических наук, доцент, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел, РФ.

E-mail: aleks.savina@gmail.com

SPIN-код РИНЦ: [9574-8936](https://elibrary.ru/9574-8936)

Аннотация

Статья посвящена вопросам разработки инструментария прогнозирования долгосрочного развития макроэкономических систем и его использования для теоретических и прикладных исследований. Существующие на сегодняшний день математические и вычислительные модели экономических процессов в большинстве своем основываются на концепции равновесия и максимизации предельной полезности как основном мотиве поведения экономических агентов, что значительно ограничивает их способность прогнозировать динамику в долгосрочном периоде. Предлагаемая автором модель экспериментальной экономики является результатом междисциплинарного исследования, она сочетает различные направления имитационного моделирования, элементы искусственного интеллекта, когнитивной психологии, экономики и социологии. Макроэкономическая система представляется как совокупность процессов микроуровня и управляющих воздействий макроуровня. Экономические процессы изучаются в тесной связи с демографическими, так как отдельные агенты являются участниками различных форм экономических отношений, выступая в качестве рабочей силы, потребителей, налогоплательщиков. Также действующими субъектами экономических отношений в модели являются юридические лица различных организационных форм и государство как контролирующий и управляющий орган. Процессы принятия решений экономическими агентами различного уровня воспроизводятся с учетом их ограниченной рациональности. Модель экспериментальной экономики может быть использована как для теоретических исследований, так и для практических расчетов. С точки зрения теории представляет интерес исследование экономических циклов на микроуровне, с практической стороны задача заключается в оценке эффективности управляющих воздействий со стороны государства в отношении кредитно-денежной политики и реализации отраслевых программ развития.

Ключевые слова

Агент-ориентированная модель, динамика макроэкономических систем, прогнозирование, экономическая политика, интеллектуальный агент.

Управление экономическими системами, как на федеральном, так и на региональном уровне, предполагает оценку эффективности принимаемых решений. Здесь на первый план выходят вопросы прогнозирования динамики развития управляемой системы при оказании на нее альтернативных воздействий. Современный уровень развития математических методов и информационных технологий позволяет строить прогноз на качественно новом по сравнению с прошлыми десятилетиями уровне. Это достигается за счет проведения междисциплинарных исследований на

стыке компьютерного моделирования, теории принятия решений и искусственного интеллекта.

Прогнозирование макроэкономических процессов на базе компьютерных моделей ведет свою историю с 50-х годов XX века, то есть с появления первых ЭВМ. Во-первых, на базе компьютеров появилась возможность значительно повысить детализацию эконометрических моделей за счет вычислительной мощности ЭВМ и были разработаны так называемые «большие эконометрические модели» (БЭМ), которые применяются в экономической практике, как на уровне регионов и стран, так и при анализе мировой экономики в целом¹. Однако данный вид моделей лишь условно может быть отнесен к вычислительным, по сути в их основе лежат регрессионные соотношения². Главный недостаток БЭМ — это отсутствие структуры связей между экономическими субъектами, а также ориентированность на наблюдения, зафиксированные в прошлом. По этим причинам БЭМ дают хороший результат лишь в относительно устойчивых обстоятельствах, при эволюционном развитии системы, а в случае глобальных кризисов, войн и тому подобных революционных изменений их прогнозы оказываются ненадежными.

В отличие от эконометрических, имитационные модели (ИМ) воспроизводят динамику функционирования экономической системы в разрезе ее структуры. ИМ представляет собой алгоритм функционирования системы, программно реализуемый на компьютере³. На сегодняшний день выделяют три направления ИМ — системную динамику, дискретно-событийное и агентное моделирование.

Концепция системной динамики (СД) была предложена в 50-х годах Дж. Форрестером. Системно-динамическая модель (СДМ) включает объекты типа «накопитель», связанные между собой потоками⁴. Темпы потоков могут изменяться. Решения об изменении темпов принимаются специальными объектами — вентилями в зависимости от значений накопителей и потоков в системе. Такой набор объектов позволяет анализировать запаздывания и учитывать эффекты обратной связи в системе.

¹ *Ball R.J.* The International Linkage of National Economic Models. Amsterdam: North Holland, 1973; *Dramais A.* COMPACT: Prototype of a Macro Model of the European Community in the World Economy / Commission of the European Communities, Directorate General for Economic and Financial Affairs. Discussion Paper No 27, 1986; *Brinner R.* The 1985 DRI Model: An Overview, in Data Resources Review of the US Economy. Lexington, Mass.: Data Resources / McGraw-Hill, 1985.

² *Yoshitomi M.* EPA World Econometric Model / Economic Planning Agency. Discussion Paper No 16. 1984; *Haas R., Masson P.* MINIMOD: Specification and Simulation Results. Staff Papers. International Monetary Fund. December 1986. Vol. 33. P. 722–767.

³ *Law A.M., Kelton W.D.* Simulation Modeling and Analysis. New York: McGraw-Hill, 1991; *Winsberg E.* Simulated Experiments: Methodology for a Virtual World // Philosophy of Science. 2003 No 7. P. 105–125.

⁴ *Forrester J.* Counterintuitive Behavior of Social Systems // Technology Review. 1971. No 3. P. 52–68.

Первоначально СДМ использовались для анализа деятельности предприятий с точки зрения внутренних событий и взаимодействий с контрагентами⁵. Позднее Форрестером и его последователями были сделаны попытки перенести концепцию СД на макроэкономические системы⁶, однако их сложность требовала большей детализации, чем могли дать СДМ. При увеличении числа накопителей и потоков принятие решений о темпах на основе данных системы становилось все более затруднительным, потому что в макроэкономических системах существует огромное количество косвенных взаимосвязей. После 60-х годов произошел спад в исследованиях макроэкономических систем методами СД, хотя они сохранили свое значение в теоретических исследованиях.

Дискретно-событийное моделирование (ДСМ) анализирует динамику системы в терминах дискретного времени, изменения в системе происходят в рамках событий⁷. Изначально ДСМ формировалось как программный аналог математических моделей массового обслуживания, разработанных А.Н. Колмогоровым. Основные объекты в ДСМ — это устройства и очереди. Данное направление нашло широкое практическое применение в исследованиях производственных и логистических систем, даже в Советском Союзе. ДСМ актуально по сей день, может применяться в процессе реинжиниринга для различных организаций, но в силу своей узкой специфики мало подходит для исследования макроэкономических систем. Однако концепция дискретного времени дает большие возможности для исследователя, и введение новых объектов рамках этой концепции позволяет получить качественно новые результаты. Так произошло в 90-х годах с агентным моделированием (АМ). Некоторые специалисты выделяют его в отдельное направление, другие считают его частным случаем ДСМ. Основными объектами в АМ являются агенты, причем под этим термином могут подразумеваться как отдельные личности, так и целые организации. АМ позволяет исследовать динамику глобальных систем как результат совместной деятельности объектов микроуровня⁸. АМ очень популярно на западе, особенно в США

⁵ Radzicki M.J., Taylor R.A. Origin of System Dynamics: Jay W. Forrester and the History of System Dynamics // U.S. Department of Energy's Introduction to System Dynamics [Site]. URL: <http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/start.htm> (accessed: 22.08.2016); Sterman J.D. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. New York: McGraw, 2000.

⁶ Sterman J.D. System Dynamics Modeling: Tools for Learning in a Complex World // California Management Review. 2001. No 4. P. 8–25.

⁷ Banks J., Carson J.S., Nelson B.L. Discrete-Event System Simulation. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.

⁸ Epstein J., Axtell R. Growing Artificial Societies: Social Science From the Bottom Up. Washington, D.C.: MIT Press / Brookings Institution, 1996.

и Японии, тем не менее анализ работ ведущих ученых в этой области позволяет сделать вывод, что их исследования носят либо сугубо теоретический характер отработки инструментария, либо описывают социально-экономические процессы в самом общем виде, без опоры на реальные данные. Без включения дополнительных модулей, отражающих социально-экономические структуры, этот класс моделей можно считать дискретным аналогом СДМ.

Необходимо также упомянуть такой известный класс вычислительных моделей, как вычислимые модели экономического равновесия (*Computable General Equilibrium models*, CGE-модели)⁹. В Центральном экономико-математическом институте РАН (ЦЭМИ РАН) под руководством академика В.Л. Макарова сформировалась научная школа, которая комбинирует CGE-модели и агентный подход¹⁰. Такая комбинация позволяет преодолеть упомянутые недостатки классических агентных моделей: агенты помещаются в экономическую среду, где есть рынки рабочей силы и товаров, выделяются частный, государственный и теневой сектор экономики. Таким способом получается полноценное «искусственное общество» — термин введен в российскую науку академиком Макаровым, где агенты могут взаимодействовать со средой и принимать решения, причем этот процесс моделируется и использованием нейронных сетей. Модель Макарова и Бахтизина *RUSEC* является важным достижением в области вычислительного моделирования, во-первых, как пример комбинации подходов, во-вторых, поскольку в нее введены реальные данные, и она способна давать рекомендации в области макроэкономической политики. Главное ее ограничение унаследовано от CGE-моделей — это приверженность концепции равновесия.

Проведенный обзор показывает, что компьютерное моделирование экономических процессов активно развивается как на Западе, так и в России. В данной работе предлагается методология долгосрочного прогнозирования динамики макроэкономических систем на базе агент-ориентированного подхода, позволяющая проводить анализ на микроуровне, причем в качестве действующих субъектов экономических процессов рассматриваются как отдельные индивиды и домашние хозяйства, так и юридические лица различных организационных форм. Ключевым моментом моделирования является отражение правил принятия решений агентами

⁹ Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. М.: Экономика, 2008.

¹⁰ Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика, 2013.

различных типов, для чего применяются методы когнитивного моделирования и функции нечеткой логики.

Структура агент-ориентированной модели макроэкономической системы

Рассматриваемая в статье модель экспериментальной экономики является результатом междисциплинарного исследования, она не только сочетает различные направления ИМ, но также использует элементы искусственного интеллекта, когнитивной психологии, различных направлений экономики и социологии.

Из СД взята концепция накопителей и потоков, причем накопителями являются бюджеты государства, юридических лиц и домашних хозяйств. Отражение динамики накопителей идет в соответствии с принятой в России системой бухгалтерского учета. Используется концепция дискретного времени и событий, изменяющих состояние системы. Ключевой является концепция агента, причем агентами являются как отдельные индивиды и домашние хозяйства, так и юридические лица различных организационных форм — бюджетные, коммерческие и финансово-кредитные организации. Для отражения процедур принятия решений агентами используются наработки в области создания интеллектуальных агентов и когнитивной психологии. Это сочетание позволяет получить простую вычислимую архитектуру агента, ориентированную на решение социально-экономических задач, в то время как мультиагентные системы искусственного интеллекта направлены на инженерно-технические задачи. Важный вклад в исследование вносит теория принятия решений, в особенности концепция «ограниченной рациональности». В модели отображаются реальные, а не идеальные решения экономических агентов, что делает прогноз более адекватным. Привлечение данных социологических исследований позволяет воспроизвести половозрастную и классовую структуру населения. Ядром модели являются экономические структуры, для их формализации применяются сведения из области отраслевой экономики, бухгалтерского учета и финансов.

В силу особенностей агентного подхода макроэкономическая система представляется как совокупность процессов микроуровня и управляющих воздействий макроуровня (Рисунок 1). Более того, экономические процессы изучаются в тесной связи с демографическими, так как отдельные агенты являются участниками различных форм экономических отношений, выступая в качестве рабочей силы, потребителей, налогоплательщиков, кредиторов и заемщиков. Образовательная система рассматривается исключительно с экономической точки зрения, как институт,

превращающий неквалифицированную рабочую силу — учащихся — в квалифицированную — выпускников. Также действующими субъектами экономических отношений являются юридические лица различных организационных форм и государство как контролирующий и управляющий орган.

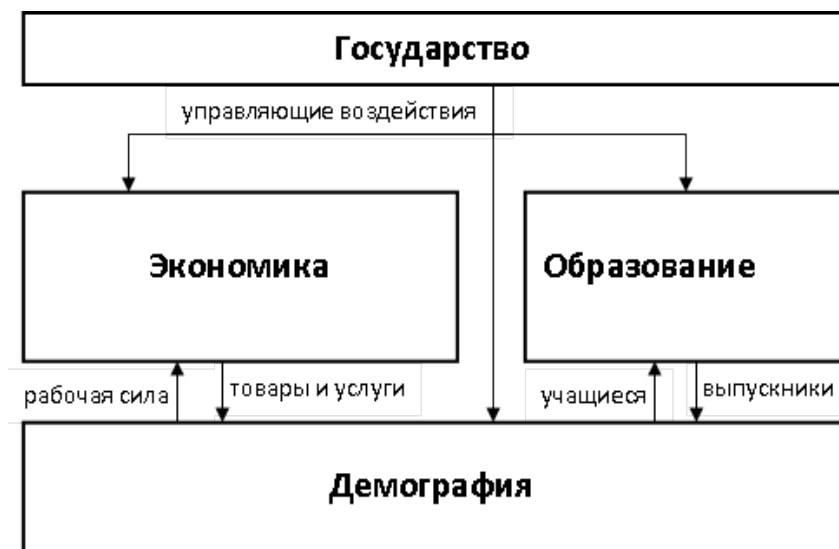


Рисунок 1. Взаимосвязи между компонентами агентной модели

Рассмотрим взаимосвязи между перечисленными группами экономических агентов с точки зрения финансовых потоков между ними. Выделим в экономическом блоке реальный и финансовый секторы. Реальный сектор рассматривается в широком понимании — как производящий не только товары, но и услуги. На Рисунке 2 отражена трехуровневая структура модели.

На нижнем уровне находятся отдельные агенты и домохозяйства, в состав которых они входят. Домашние хозяйства необходимо выделить отдельно, поскольку в ряде экономических отношений действующими субъектами являются именно домашние хозяйства, а не индивиды. Например, потребителем конечной продукции и услуг выступает домашнее хозяйство, поскольку за счет его трудоспособных членов обеспечиваются все. Таким образом, зарплата и трансферты переходят в бюджет домашних хозяйств, а из них происходит оплата товаров и услуг для всех членов домашних хозяйств. Другим примером может служить трудовая миграция. Одинокий человек более мобилен, и может быстро переехать в более перспективный регион, но если на его попечении находятся маленькие дети или престарелые родители, то его миграционная мобильность будет ограничена. Заемщиком также чаще всего является домашнее хозяйство, особенно в случае долгосрочных ипотечных кредитов. Даже если

они оформлены на одного человека, у него должны быть поручители, а возврат кредита идет из совокупного бюджета домашнего хозяйства. Конечно, домашнее хозяйство может состоять из одного человека, но это частный случай. В процессах же образования и трудоустройства, если в них отсутствует миграционная составляющая, действующим субъектом является отдельный агент, и он закрепляется на соответствующем рабочем или образовательном месте.

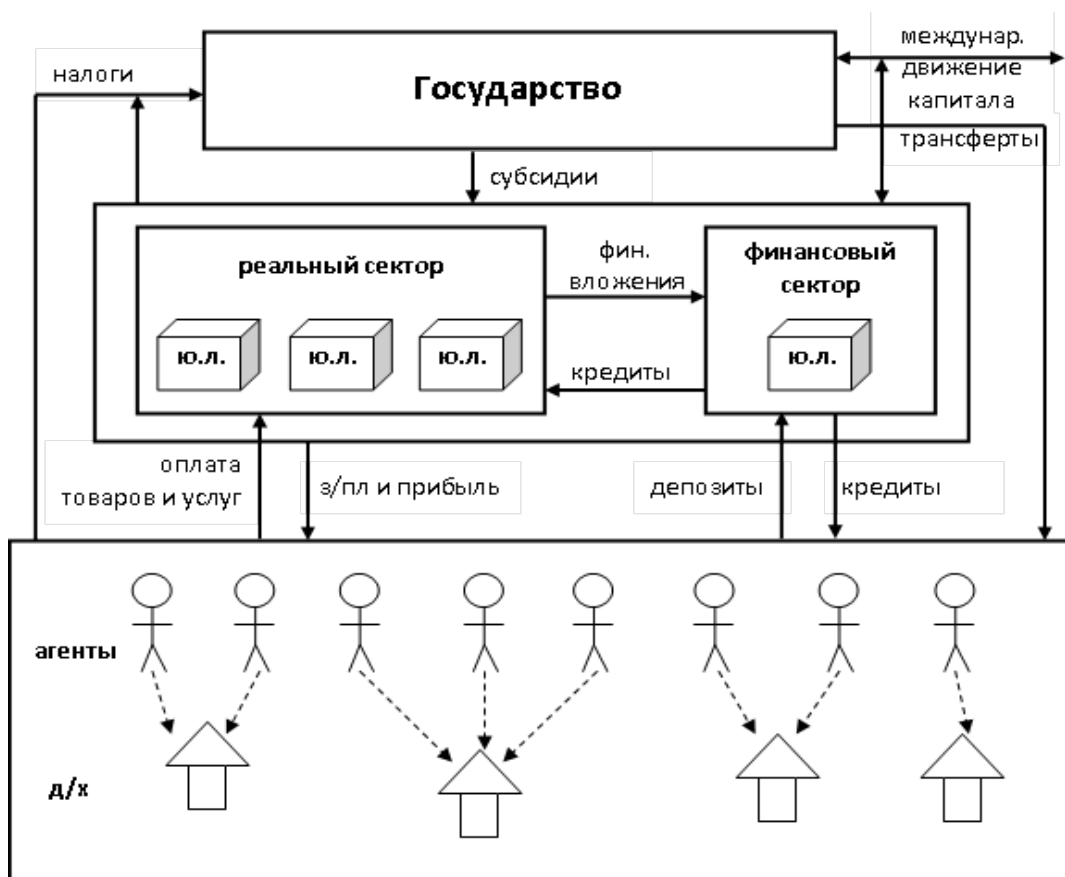


Рисунок 2. Финансовые потоки между агентами различных типов

Финансовый сектор рассматривается в разрезе привлечения денежных средств, эмитированных государством, депозитов физических и юридических лиц и размещения их в виде кредитов. Основными финансовыми потоками будут: зарплата и прибыль от организаций индивидам и обратный поток оплаты товаров и услуг; оплата межотраслевых поставок организаций, закупки импортной продукции и получение оплаты за экспортируемую; кредитно-депозитные потоки между финансовым, реальным сектором и домашними хозяйствами. Государство является, с одной стороны, сборщиком налогов и эмитентом денежной массы, с другой — предоставляет

трансферты населению и субсидии как реальному, так и финансовому сектору, а также наряду с юридическими лицами участвует в международном обмене капиталом.

Модель достаточно сложна, и потому для ее реализации была выбрана модульная структура. Демографические, образовательные и миграционные процессы уже реализованы в отдельных модулях (Рисунок 1), что позволяет воспроизводить экономические процессы в уже готовом и близком к реальному искусственном обществе. Модель является имитационной, что означает следующее:

1) она реализована как компьютерная программа, работа с ней идет через пользовательские интерфейсы, один для задания исходных данных, другой — для вывода результатов;

2) модель включает в себя набор информационных объектов, которые создаются на основе данных на начало периода, а затем подвергаются изменениям в соответствии с алгоритмами программы и индивидуальными решениями агентов;

3) ИМ являются стохастическими, то есть параметры моделирования — это случайные числа, подчиненные некоторому закону распределения, поэтому результаты каждого прогона модели будут уникальными. Для обеспечения достоверности прогноза на модели совершают несколько (10–20) прогонов, после чего статистически обрабатывают результаты¹¹;

4) на ИМ можно проводить сценарные расчеты, задавая различные значения параметров внешней среды, которые являются неуправляемыми и заранее не предсказуемыми. После серии расчетов оцениваются последствия различных управляющих воздействий при реализации различных сценариев.

Информационное обеспечение модели

Структура и взаимосвязи между объектами модели представлены на Рисунке 3. Агенты проживают в регионе, принадлежат домашним хозяйствам, связаны с рабочими и образовательными местами. Рабочие места закреплены за юридическими лицами различных организационных форм. Рассматриваются три вида юридических лиц — бюджетные, коммерческие и финансово-кредитные организации.

¹¹ Naylor T.H., Balintfy J.L., Burdick D.S., Chu K. Computer Simulation Techniques. New York: John Wiley, 1966.

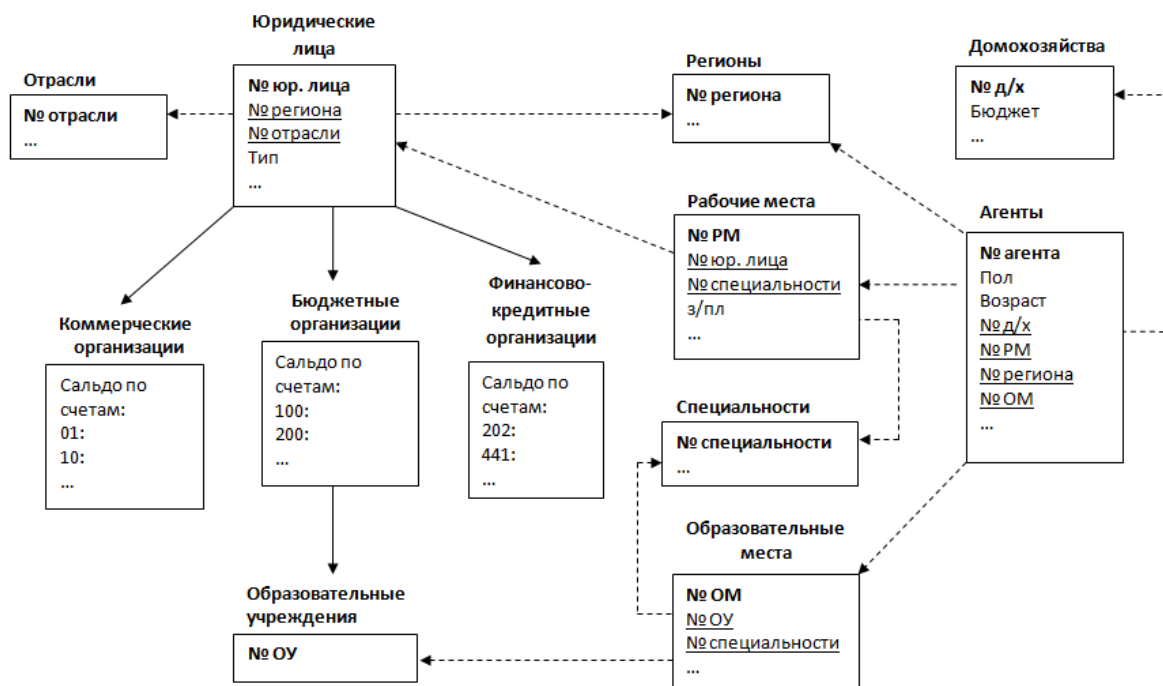


Рисунок 3. Информационное обеспечение модели

Для каждого вида юридических лиц в России принята своя система бухгалтерского учета, что отражено в модели через счета. Такой уровень детализации позволяет работать с выходными данными моделирования как с реальными данными экономики.

Алгоритмическая реализация модели

Информация о состоянии счетов юридических лиц формируется в начале моделирования и изменяется в процессе функционирования модели (Рисунок 4). Для коммерческих организаций изменения в состоянии счетов происходят при выплате зарплаты и налогов, оплате межотраслевых поставок, списании производственных расходов и начислении амортизации, продаже конечной продукции, получении и возврате кредитов и определении финансового результата. Для финансово-кредитных и бюджетных организаций финансовые операции также детализируются в соответствии с планом счетов¹². Такой подход дает возможность производить автоматизированную оценку эффективности работы юридических лиц.

¹² Машкова А.Л., Савина О.А. Управление финансовыми потоками агентов-предприятий в модели экспериментальной экономики // Управленческий учет. 2015. № 6. С. 32–38.

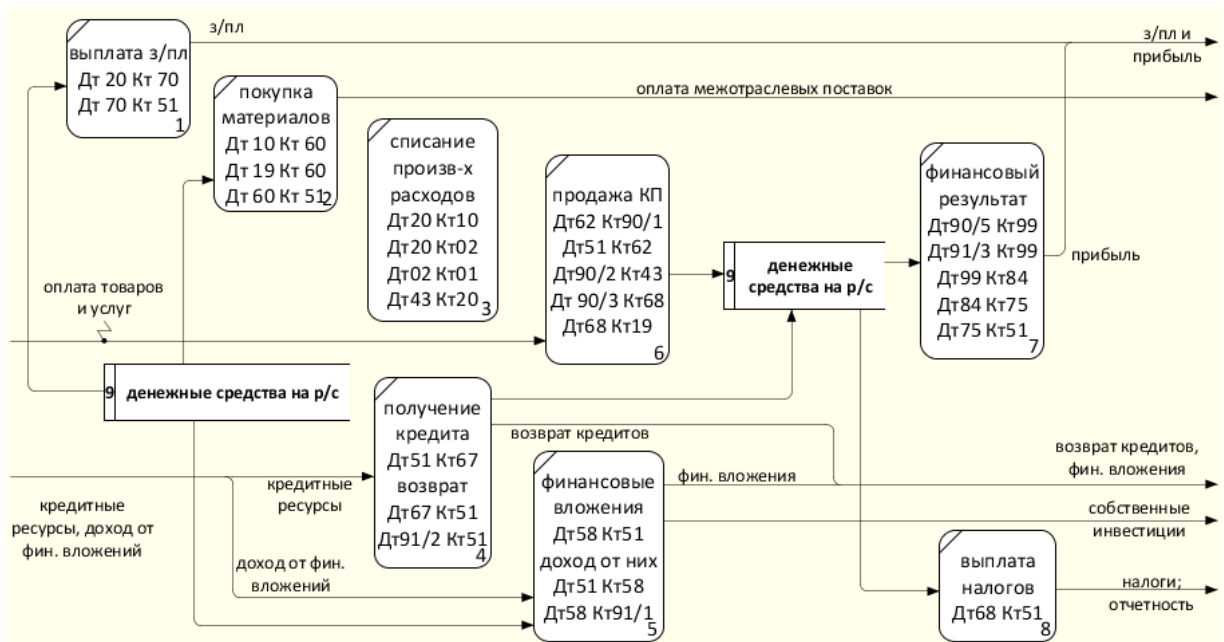


Рисунок 4. Динамика состояния счетов юридических лиц

Это необходимо, например, при формировании кредитного портфеля банка (Рисунок 5). Агенты-предприятия подают заявки на кредиты и предоставляют данные своего бухгалтерского баланса и отчета о прибылях и убытках. Агенты-банки анализируют эту информацию по методике, аналогичной применяемой реальными банками, то есть оценивают платежеспособность предприятия и ликвидность его активов, определяют категорию кредитного риска и исходя из этого назначают процентную ставку. С точки зрения моделирования здесь важно, чтобы данный процесс воспроизводился максимально близко к реальным процедурам, безотносительно к их качеству.

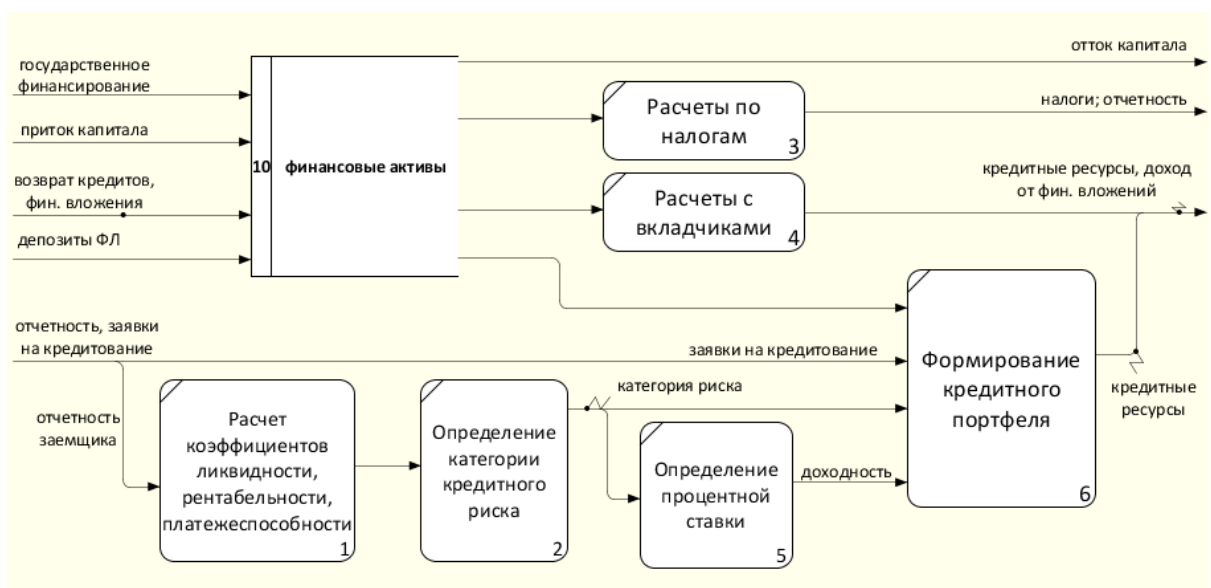


Рисунок 5. Формирование кредитного портфеля

Помимо адекватного воспроизведения существующих социально-экономических структур, критически важным моментом для получения достоверных прогнозов является воспроизведение процессов принятия решений экономическими агентами различного уровня. Это воспроизведение должно быть максимально близко к действительности, учитывать ограниченную рациональность с точки зрения неопределенности внешней среды для отдельного агента, далекой от абсолюта эффективности управленческих решений, склонности к риску и других аспектов.

Агент каждого вида должен принимать множество решений в процессе функционирования модели. Для индивидуальных агентов и домашних хозяйств это вопросы получения образования, трудоустройство, миграция, выбор стратегии накопления и потребления. Юридические лица реального сектора принимают решения об увеличении или снижении объемов выпуска, инвестировании в основные средства, найме и увольнении сотрудников, распределении прибыли в пользу капитализации или дохода акционеров, необходимости привлечения кредитных ресурсов. Банки определяют ставку доходности вкладов и решают задачу распределения кредитного портфеля. Воспроизведение принятия решений юридическими лицами является менее трудной задачей, чем принятие решений индивидами, поскольку в организациях эти процедуры стандартизированы, как уже было показано на примере с распределением кредитного портфеля. Что касается индивидуальных решений, для их воспроизведения нужно обратиться к методам искусственного интеллекта (ИИ), моделям когнитивной психологии и теории ограниченной рациональности.

Архитектура интеллектуального агента

В ИИ существует такое направление, как мультиагентные системы (МАС), созвучное по названию, но направленное на решение совершенно иного класса задач. Интеллектуальные агенты (ИА) проектируются как посредники между человеком и компьютером, выполняют функции поиска данных в сети, при этом умеют взаимодействовать друг с другом для достижения цели. ИА можно назвать программными роботами, средой их обитания являются компьютерные сети. Ядро ИА заключается в его архитектуре, то есть способе хранения и обработки данных в процессе решения задач. Архитектура ИА достаточно развита, что отличает их от агентов в традиционных агентных моделях, где принятие решений осуществляется за счет одного — двух математических соотношений. С 2000-х годов западные ученые предпринимают попытки адаптировать существующие архитектуры ИА для агентных

моделей¹³, однако это лишь единичные случаи и большинство ученых рассматривают их как разные научные направления¹⁴.

В разрабатываемой модели экспериментальной экономики среда является сложной и многообразной, поэтому действующим в ней агентам нужна специальная архитектура. Прямое заимствование известных архитектур невозможно, так как они не предназначены для решения социально-экономических задач. Поэтому нашим коллективом была разработана архитектура *TOTE*, опирающуюся на одноименную модель когнитивной психологии, предложенную в 60-х годах¹⁵. *TOTE* расшифровывается как *Test — Operate — Test — Exit* (проба — действие — проба — выход) и описывает цикл достижения цели во взаимодействии со средой. Основные понятия модели *TOTE* — «план» и «образ», где «план» — это набор действий, которые может совершить агент, а «образ» — это доступная ему информация (Рисунок 6). При этом необходимо учитывать ограниченную рациональность агента, то есть оценивание на фазе *Test* носит субъективный характер, а действие на фазе *Operate* производится в условиях неопределенности внешней среды¹⁶.

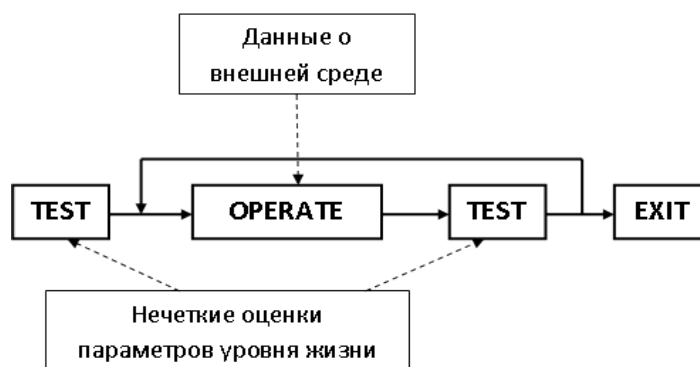


Рисунок 6. Цикл *Test — Operate — Test — Exit*

¹³ Holland J.H., Miller J.H. Artificial Adaptive Agents in Economic Theory // AEA Papers and Proceedings. 1991. No 5. P. 365–370; Sun R. The CLARION Cognitive Architecture: Extending Cognitive Modeling to Social Simulation // Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. P. 79–102; Sun R., Naveh I. Social Institution, Cognition, and Survival: A Cognitive–social Simulation // Mind & Society. 2007. No 6. P. 115–142; Castelfranchi C. The Theory of Social Functions: Challenges for Computational Social Science and Multi-Agent Learning // Cognitive Systems Research. 2001. No 2. P. 5–38.

¹⁴ Sun R. Prolegomena to Integrating Cognitive Modeling and Social Simulation // Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. P. 3–28; Gilbert N. When Does Social Simulation Need Cognitive Models? // Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. P. 428–432.

¹⁵ Miller G.A., Galanter E., Pribram K.H. Plans and the Structure of Behavior. New York: Henry Holt, 1960.

¹⁶ Маишкова А.Л. Когнитивная архитектура интеллектуального агента в имитационных моделях социально-экономических явлений // Ученые записки ОГУ. Серия «Гуманитарные и социальные науки». 2014. № 5. С. 78–81; Маишкова А.Л., Кононов Н.С. Сравнительный анализ процессов принятия решений интеллектуальными агентами с различными когнитивными ограничениями // Сборник трудов XV международной научной конференции «Интеллектуальный анализ информации ИАИ — 2015» имени Т.А. Таран. Киев: Просвіта, 2015. С. 138–145.

Для отражения в математическом виде того факта, что оценка среды является субъективной, был использован аппарат нечеткой логики¹⁷. На графике изображена функция принадлежности некоторого параметра уровня жизни множеству «приемлемое значение» (Рисунок 7). Это может быть как параметр, имеющий точное математическое выражение (заработная плата, пособие), так и менее формализованная оценка экологии или инфраструктуры в регионе проживания.

$$\mu(x) = \begin{cases} w \cdot \left(\frac{x - p_m}{p_r - p_m} \right), & x < p_r \\ 1, & x \geq p_r \end{cases} \quad w = \begin{cases} 0, & x < p_m \\ 1, & p_m \leq x \leq p_r \end{cases},$$

где x — величина параметра уровня жизни агента, p_m — величина критически низкого уровня параметра в заданной социальной среде, p_r — величина параметра, которую агент считает приемлемой, w — нормирующий коэффициент.

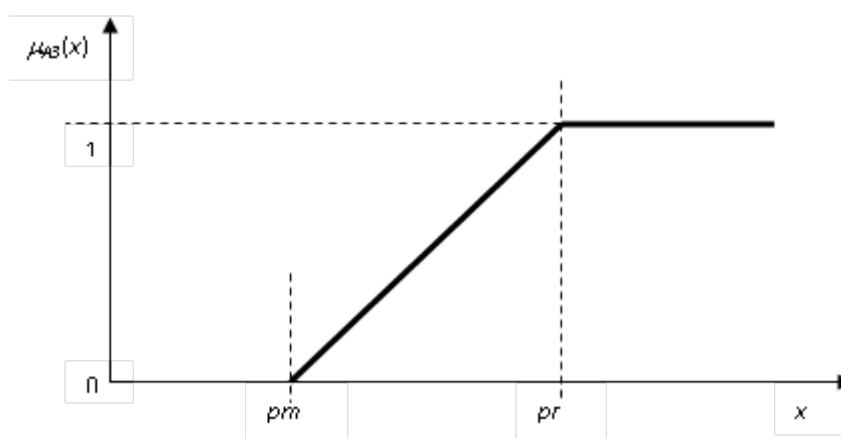


Рисунок 7. График нечеткой оценки уровня жизни

Принадлежность параметра уровня жизни отрезку от 0 до p_m означает, что данный параметр находится в критической зоне, и агент будет предпринимать активные действия для его изменения. Отрезок от p_m до p_r — это условно-приемлемая зона. Если значение параметра находится в ней, то агент будет достаточно инертным, и предпримет действия, только если ожидаемые изменения переведут его в следующую — абсолютно приемлемую, или зону комфорта. Агент будет еще более инертным, если его оценка находится в зоне комфорта¹⁸. Границы p_m и p_r

¹⁷ Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.

¹⁸ Машкова А.Л. Интеллектуальный агент в социальной среде: нечеткие оценки и правила принятия решений // Известия ЮЗГУ. Серия «Управление, информатика, вычислительная техника». 2014. № 3. С. 12–19.

устанавливаются различными среди множества агентов, и определять их в зависимости от прошлого опыта агента и текущей среды.

Учет неопределенности внешней среды при принятии решений

Неопределенность внешней среды агента может быть частично устранена доступными для него источниками информации. Их можно разделить на две группы — общедоступные и личные. Для задания личных источников информации используется сетка связей между агентами. Значения в ней нормированы в пределах от 0 до 1, где 0 — это полное отсутствие связи, а 1 — это связь агента с самим собой. Промежуточные значения устанавливаются в зависимости от тесноты контактов: например, коллеги имеют тесноту связи от 0,1 до 0,3 (коллегами считаются агенты, занимающие рабочие места, принадлежащие одному юридическому лицу). У родственников связь от 0,7 до 0,9; они определяются как агенты, принадлежащие одному домашнему хозяйству или сохранившие связь с домашним хозяйством родителей. Считаем, что агент 1 имеет косвенную связь с агентом 3, если агент 1 связан прямой связью с агентом 2, а агент 2 — с агентом 3. Теснота косвенной связи определяется как произведение тесноты образующих ее прямых связей. Также в таблице указан уровень доверия к источнику информации.

Таблица 1. Сетевые взаимосвязи между агентами

№ агента	1	2	..	j	..	n
1	1 1	0.6 0.8		0		0.3 0.2
2	0.6 0.8	1 1				
..						
i	0			0		0.1 0.1
..						
n	0.3 0.2			0.2 0.2		1 1

Доступными для агента будут источники информации, прямая или косвенная связь с которыми больше порогового значения. Когда агент попадает в фазу *Operate*, он начинает собирать информацию по всем имеющимся у него каналам, чтобы определить множество доступных ему действий. На следующей фазе *Test* корректируется уровень доверия к источникам: он растет, если информация была верной, а иначе снижается.

Представление и анализ выходных данных моделирования

Суммируя обороты по счетам юридических лиц, в конце моделируемого периода мы можем представить совершенные экономические операции в таком разрезе, который принят в системе национальных счетов, то есть выделить операции с товарами

и услугами, доходами и финансовыми инструментами. Такой подход удобен при анализе эффективности кредитно-денежной политики, в частности, каналов распространения эмитированных денежных средств. Например, можно оценить, куда были направлены государственные субсидии банковской сферы — в реальный сектор или на финансовый рынок, и какие последствия это имело для экономики в целом.

Другой доступный вариант представления данных моделирования — это межотраслевой баланс (МОБ). К стандартной статической схеме были добавлены столбцы экспорта и импорта, а в качестве одной из отраслей первого квадранта рассматриваются финансы. Так мы можем рассматривать ситуации, когда равновесие на денежном рынке и рынке товаров и услуг нарушено, тогда как классическая схема МОБ предусматривает равенство конечной и условно-чистой продукции. Подобный способ представления удобен для анализа отраслевых инвестиционных программ, в частности, программ импортозамещения. Например, если на получение государственного финансирования претендует ряд программ импортозамещения, а фактически фирмы просто организуют сборку изделий из импортных комплектующих, то на итоговой схеме будет видно, что реализация такого набора программ не будет иметь существенного импортозамещающего эффекта.

Заключение

Агентная модель экспериментальной экономики может быть использована как для теоретических исследований, так и для практических расчетов. С точки зрения теории представляет интерес исследование экономических циклов на микроуровне, где можно наблюдать, как решения агентов-предприятий в отношении объемов производства приводят к возникновению циклов Китчина, а политика долгосрочного инвестирования — к циклам Жюгляра.

С практической стороны интерес заключается в оценке эффективности управляющих воздействий со стороны государства в отношении кредитно-денежной политики и реализации отраслевых программ развития. Возможные решения государства в различных сферах являются управляемыми параметрами модели. Изменяя ставки рефинансирования, объем денежной массы, накладывая ограничения на движение капитала, потоки экспорта и импорта, мы можем оценить, насколько эффективными являются данные воздействия на экономическую систему в целом и выбрать наилучшую комбинацию воздействий.

Также на основе данных моделирования можно оценить последствия экономических реформ, например, введение скользящей шкалы налогообложения. В данном вопросе, конечно, нужно учитывать не только ожидаемую экономическую эффективность управленческих решений, но и возможности их реализации на практике. Это является отдельным направлением исследований, связанным с существующими политическими институтами, а также неформальными эффектами лоббирования и коррупции.

Список литературы:

1. *Бахтизин А.Р.* Агент-ориентированные модели экономики. М.: Экономика, 2008.
2. *Макаров В.Л., Бахтизин А.Р.* Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика, 2013.
3. *Машкова А.Л., Кононов Н.С.* Сравнительный анализ процессов принятия решений интеллектуальными агентами с различными когнитивными ограничениями // Сборник трудов XV международной научной конференции «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2015» им. Таран Т.А. Киев: Просвіта, 2015. С. 138–145.
4. *Машкова А.Л., Савина О.А.* Управление финансовыми потоками агентов-предприятий в модели экспериментальной экономики // Управленческий учет. 2015. № 6. С. 32–38.
5. *Машкова А.Л.* Интеллектуальный агент в социальной среде: нечеткие оценки и правила принятия решений // Известия ЮЗГУ. Серия «Управление, информатика, вычислительная техника». 2014. № 3. С. 12–19.
6. *Машкова А.Л.* Когнитивная архитектура интеллектуального агента в имитационных моделях социально-экономических явлений // Ученые записки ОГУ. Серия «Гуманитарные и социальные науки». 2014. № 5. С. 78–81.
7. *Пегам А.* Нечеткое моделирование и управление. М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.
8. *Ball R.J.* The International Linkage of National Economic Models. Amsterdam: North Holland, 1973.
9. *Banks J., Carson J.S., Nelson B.L.* Discrete-Event System Simulation. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.
10. *Brinner R.* The 1985 DRI Model: An Overview, in Data Resources Review of the US Economy. Lexington, Mass.: Data Resources / McGraw-Hill, 1985.

11. *Castelfranchi C.* The Theory of Social Functions: Challenges for Computational Social Science and Multi-Agent Learning // *Cognitive Systems Research*. 2001. No 2. P. 5–38.
12. *Dramais A.* COMPACT: Prototype of a Macro Model of the European Community in the World Economy / Commission of the European Communities, Directorate General for Economic and Financial Affairs. Discussion Paper No 27, 1986.
13. *Epstein J., Axtell R.* Growing Artificial Societies: Social Science From the Bottom Up. Washington, D.C.: MIT Press / Brookings Institution, 1996.
14. *Forrester J.* Counterintuitive Behavior of Social Systems // *Technology Review*. 1971. No 3. P. 52–68.
15. *Gilbert N.* When Does Social Simulation Need Cognitive Models? // *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. P. 428–432.
16. *Haas R., Masson P.* MINIMOD: Specification and Simulation Results. Staff Papers. International Monetary Fund. December 1986. Vol. 33. P. 722–767.
17. *Holland J.H., Miller J.H.* Artificial Adaptive Agents in Economic Theory // *AEA Papers and Proceedings*. 1991. No 5. P. 365–370.
18. *Law A.M., Kelton W.D.* Simulation Modeling and Analysis. New York: McGraw-Hill, 1991.
19. *Miller G.A., Galanter E., Pribram K.H.* Plans and the Structure of Behavior. New York: Henry Holt, 1960.
20. *Naylor T.H., Balintfy J.L., Burdick D.S., Chu K.* Computer Simulation Techniques. New York: John Wiley, 1966.
21. *Radzicki M.J., Taylor R.A.* Origin of System Dynamics: Jay W. Forrester and the History of System Dynamics // U.S. Department of Energy's Introduction to System Dynamics [Site]. URL: <http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/start.htm> (accessed: 22.08.2016).
22. *Sterman J.D.* Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. New York: McGraw, 2000.
23. *Sterman J.D.* System Dynamics Modeling: Tools for Learning in a Complex World // *California Management Review*. 2001. No 4. P. 8–25.
24. *Sun R.* Prolegomena to Integrating Cognitive Modeling and Social Simulation // *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. P. 3–28.

25. *Sun R.* The CLARION Cognitive Architecture: Extending Cognitive Modeling to Social Simulation // *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. P. 79–102.
26. *Sun R., Naveh I.* Social Institution, Cognition, and Survival: A Cognitive–social Simulation // *Mind & Society*. 2007. No 6. P. 115–142.
27. *Winsberg E.* Simulated Experiments: Methodology for a Virtual World // *Philosophy of Science*. 2003. No 7. P. 105–125.
28. *Yoshitomi M.* EPA World Econometric Model / Economic Planning Agency. Discussion Paper No 16. 1984.

Mashkova A.L.

Forecasting Long-term Development of Macroeconomic Systems Based on Agent Modeling

Aleksandra L. Mashkova — Ph.D., Associate Professor, I.S. Turgenev Orel State University, Orel, Russian Federation.

E-mail: aleks.savina@gmail.com

Annotation

The article presents a tool for forecasting long-term development of macroeconomic systems and demonstrates how it can be used in theoretical and applied researches. Existing mathematical and computing models of economic processes are mostly based on the concept of equilibrium (CGE-models) and maximizing subjective expected utility as the main motive for the behavior of economic agents. We suggest a model of experimental economy, which is a result of interdisciplinary research. The model combines the concepts of simulation modeling, artificial intelligence, cognitive psychology, economics and sociology. The macroeconomic system is represented as a set of microlevel processes and macrolevel influences. Economic processes are studied in close connection with demographics, as agents participate in various forms of economic relations, acting as labor, consumers and taxpayers. The model also takes into consideration the companies behavior and state control mechanisms. Economic agents make decisions based on the principles of bounded rationality. The model of experimental economy can be used both for theoretical research and for practical calculations. An example of theoretical study using this model is an analysis of micro-level economic cycles. In more practical terms, the model can be used in evaluating the efficiency of the state influences, such as credit policy and industrial development programs, on the economy.

Keywords

Agent modeling, macroeconomics, social simulation, artificial agent.

References:

1. Bakhtizin A.R. *Agent-orientirovannye modeli ekonomiki*. Moscow: Ekonomika, 2008.
2. Makarov V.L., Bakhtizin A.R. *Sotsial'noe modelirovanie — novyi komp'iuternyi proryv (agent-orientirovannye modeli)*. Moscow: Ekonomika, 2013.
3. Mashkova A.L., Kononov N.S. Sravnitel'nyi analiz protsessov priniatiia reshenii intellektual'nymi agentami s razlichnymi kognitivnymi ogranicheniiami. *Sbornik trudov KhV mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii "Intellektual'nyi analiz informatsii IAI-2015" im. Taran T.A.* Kiev: Prosvita, 2015. Pp. 138–145.
4. Mashkova A.L., Savina O.A. Upravlenie finansovymi potokami agentov-predpriiati v modeli eksperimental'noi ekonomiki. *Upravlencheskii uchet*, 2015, 6. pp. 32–38.
5. Mashkova A.L. Intellektual'nyi agent v sotsial'noi srede: nechetkie otsenki i pravila priniatiia reshenii. *Izvestiia IuZGU. Seriya "Upravlenie, informatika, vychislitel'naia tekhnika"*, 2014, 3, pp. 12–19.
6. Mashkova A.L. Kognitivnaia arkhitektura intellektual'nogo agenta v imitatsionnykh modeliakh sotsial'no-ekonomicheskikh iavlenii. *Uchenye zapiski OGU. Seriya "Gumanitarnye i sotsial'nye nauki"*, 2014, 5, pp. 78–81.
7. Pegat A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie*. Moscow: BINOM. Laboratoriia znani, 2009.
8. Ball R.J. *The International Linkage of National Economic Models*. Amsterdam: North Holland, 1973.
9. Banks J., Carson J.S., Nelson B.L. *Discrete-Event System Simulation*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.
10. Brinner R. *The 1985 DRI Model: An Overview, in Data Resources Review of the US Economy*. Lexington, Mass.: Data Resources / McGraw-Hill, 1985.

11. Castelfranchi C. The Theory of Social Functions: Challenges for Computational Social Science and Multi-Agent Learning. *Cognitive Systems Research*, 2001, 2, pp. 5–38.
12. Dramais A. *COMPACT: Prototype of a Macro Model of the European Community in the World Economy* / Commission of the European Communities, Directorate General for Economic and Financial Affairs. Discussion Paper No 27, 1986.
13. Epstein J., Axtell R. *Growing Artificial Societies: Social Science From the Bottom Up*. Washington, D.C.: MIT Press / Brookings Institution, 1996.
14. Forrester J. Counterintuitive behavior of social systems. *Technology Review*, 1971, 3, pp. 52–68.
15. Gilbert N. When Does Social Simulation Need Cognitive Models? *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. Pp. 428–432.
16. Haas R., Masson P. *MINIMOD: Specification and Simulation Results*. Staff Papers. International Monetary Fund. December 1986. Vol. 33. Pp. 722–767.
17. Holland J.H., Miller J.H. Artificial Adaptive Agents in Economic Theory. *AEA Papers and Proceedings*, 1991, 5, pp. 365–370.
18. Law A.M., Kelton W.D. *Simulation Modeling and Analysis*. New York: McGraw-Hill, 1991.
19. Miller G.A., Galanter E., Pribram K.H. *Plans and the Structure of Behavior*. New York: Henry Holt, 1960.
20. Naylor T.H., Balintfy J.L., Burdick D.S., Chu K. *Computer Simulation Techniques*. New York: John Wiley, 1966.
21. Radzicki M.J., Taylor R.A. Origin of System Dynamics: Jay W. Forrester and the History of System Dynamics. *U.S. Department of Energy's Introduction to System Dynamics [Site]*. URL: <http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/start.htm> (accessed: 22.08.2016).
22. Sterman J.D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. New York: McGraw, 2000.
23. Sterman J.D. System Dynamics Modeling: Tools for Learning in a Complex World. *California Management Review*, 2001, 4, pp. 8–25.
24. Sun R. Prolegomena to Integrating Cognitive Modeling and Social Simulation. *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. Pp. 3–28.
25. Sun R. The CLARION Cognitive Architecture: Extending Cognitive Modeling to Social Simulation. *Cognition and Multi-Agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. Pp. 79–102.
26. Sun R., Naveh I. Social Institution, Cognition, and Survival: A Cognitive-social Simulation. *Mind & Society*, 2007, 6, pp. 115–142.
27. Winsberg E. Simulated Experiments: Methodology for a Virtual World. *Philosophy of Science*, 2003, 7, pp. 105–125.
28. Yoshitomi M. *EPA World Econometric Model* / Economic Planning Agency. Discussion Paper No 16. 1984.