Вестник ЦЭМИ РАН. 2018-2023

ISSN 2658--3887

URL - <http://cemi.jes.su>

Все права защищены

Выпуск 1 Том 1. 2018

Компьютерное моделирование социально-экономических процессов

Макаров Валерий Леонидович

*Центральный экономико-математический институт РАН
Российская Федерация, Москва*

Сушко Елена Давидовна

*Центральный экономико-математический институт РАН
Российская Федерация, Москва*

Бахтизин Альберт Рауфович

*Центральный экономико-математический институт РАН
Российская Федерация, Москва*

Аннотация

Доклад посвящен обзору работ, выполненных за последние годы в ЦЭМИ РАН в рамках направления компьютерного моделирования социально-экономических процессов. Целью разработки моделей такого рода процессов являлось создание инструментов прогнозирования, позволяющих исследователям и лицам, принимающим решения различного уровня, ставить в искусственной среде эксперименты, моделировать развитие исследуемой системы, включая, в том числе, ее реакцию на изменение параметров внешней среды. Представлены компьютерные модели двух основных типов: а) вычислимые модели общего равновесия, в которых уравнивались спрос и предложение на рынках товаров и услуг, и б) агент-ориентированные модели, основанные на моделировании поведения отдельных акторов (агентов), различающихся своими индивидуальными свойствами, что позволило воссоздавать в искусственном обществе реальную социально-экономическую структуру.

Ключевые слова: цифровое имитирование и моделирование систем, агент-ориентированное моделирование, программное обеспечение, искусственное общество, исследование поведения объекта на основе его цифровой модели,

апробация региональной политики, демография, миграция, экологическая нагрузка.

Дата публикации: 20.11.2018

Ссылка для цитирования:

Бахтизин А. Р. , Макаров В. Л. , Сушко Е. Д. Компьютерное моделирование социально-экономических процессов // Вестник ЦЭМИ РАН. – 2018. – Т. 1. – Выпуск 1. URL: <https://cemi.jes.su/s111111110000104-7-1/>. DOI: 10.33276/S0000104-7-1

¹ В последние годы в ЦЭМИ РАН активно развивалось направление компьютерного моделирования социально-экономических процессов. Целью разработки моделей разного рода социально-экономических процессов являлось создание инструментов прогнозирования развития указанных процессов. Инструментов, позволяющих исследователям и лицам, принимающим решения различного уровня, ставить в искусственной среде эксперименты, моделировать развитие исследуемой системы, включая ее реакцию на изменение параметров внешней среды. Такой инструмент может быть полезен при разработке планов, как среднесрочных, так и стратегических, позволяя предварительно оценить последствия тех или иных управляющих воздействий и выбрать наиболее приемлемый их вариант. В рамках направления компьютерного моделирования было разработано множество моделей, причем использовались различные методы.

² ***Вычислимые модели общего равновесия***

³ За последние 50 лет сформировалось и получило широкое распространение во всем мире новое направление в прикладной экономике, позволяющее найти подходы к решению широкого круга задач, относящихся, в основном, к государственному регулированию экономики. Основой этого направления является принципиально новый подход к моделированию экономических процессов, путем создания, так называемых, вычислимых моделей общего равновесия, известных в зарубежной литературе как Computable General Equilibrium models (CGE models).

⁴ Каждая CGE модель представляет собой систему нелинейных уравнений, решением которой является общее экономическое равновесие, как правило, сводящееся к уравниванию спроса и предложения на рынках товаров и услуг, рассматриваемых в модели. Равновесие достигается путем итеративного пересчета с помощью специализированных прикладных пакетов (к примеру, GAMS, GEMPACK, MPSGE и т.д.), а иногда и с применением собственных специально разработанных программных средств.

⁵ С использованием подобного подхода в ЦЭМИ РАН были разработаны несколько моделей. Среди наиболее значимых разработок:

- ⁶ 1. CGE модель социально-экономической системы России со встроенными нейронными сетями [1]. В модели присутствуют семь крупных экономических агентов, таких как отрасли-производители, совокупный потребитель, управляющие органы, банковский сектор и внешний мир.

Поведение домашних хозяйств России в модели определяется с помощью нейронных сетей.

7 2. CGE модель "Социальная Россия" [2]. В модели присутствуют пять экономических агентов, причем, отдельно учитывается теневой сектор экономики, а также четыре вида рынков с государственными, рыночными и теневыми ценами. Модель была использована при выполнении работ по проекту «Анализ реакции отраслей социальной сферы – здравоохранения и образования на изменение налоговых ставок».

8 3. CGE модель RUSEC [3]. Модель оперирует различными макроэкономическими показателями, такими как ВВП, бюджет, денежная масса, уровень цен по секторам экономики и т.д. Перечисленные показатели являются результатом деятельности экономических агентов – действующих лиц в экономике. В модели таких агентов 12. Кроме того, в модели и рассматриваются 11 товарных рынков, 4 рынка рабочей силы, 5 финансовых рынков. Отличительной особенностью модели RUSEC является двухслойность, заключающаяся в том, что в ней функционирует две системы цен: государственная и рыночная. На основе модели RUSEC были разработаны следующие прикладные модели:

а. CGE модель "RUSEC-Газпром" [4]. Модель представлена тремя экономическими агентами: газовая отрасль, интегрированное домашнее хозяйство и интегрированные в одно предприятие остальные отрасли экономики. Модель была использована при выполнении работ по проекту «Измерение влияния цен на газ на макроэкономические показатели».

б. CGE модель "Россия: Центр – Федеральные округа" [5]. Модель представлена семью федеральными округами с четырьмя экономическими агентами в каждом округе. В модели учитываются: а) производственная специализация округов и торговые отношения между ними; б) миграционные потоки между округами; в) особенности системы налогообложения на региональном и федеральном уровнях. В модели рассматриваются 4 вида товаров, легальный и теневой рынок труда, 21 внешний рынок и др. Общее число товарных рынков в модели 77. На рисунке 1 представлена схема, отражающая на примере одного Федерального округа работу модели в общем виде. Модель была использована в следующих проектах: 1) «Количественная оценка мер по разграничению налоговых полномочий и закреплению доходных источников за бюджетами разных уровней»; 2) «Оценка эффективности инвестиций в основные фонды промышленности России»; 3) «Оценка экономических последствий от снижения ставок основных налогов для регионов Сибирского и Дальневосточного федеральных округов»; 4) «Оценка перспектив социально-экономического развития регионов Юга России на период до 2008 года».

Рис. 1. Общая схема работы модели «Россия: Центр – Федеральные округа» на примере одного Федерального округа.

10 **Агент-ориентированные модели**

11 Агент-ориентированные модели (АОМ) являются особым видом имитационных моделей, а их построение основано на моделировании поведения отдельных акторов (агентов), которые своими действиями и определяют изменения состояния большой системы в целом. В рамках АОМ могут быть созданы целые популяции агентов большой численности, сопоставимой (или даже равной) численности акторов реальной социально-экономической системы. При этом возможна дифференциация индивидуальных свойств агентов в пределах популяции, что позволяет создавать в АОМ искусственное общество и воспроизводить в нем социально-экономическую структуру реального моделируемого общества. С использованием агент-ориентированного подхода в ЦЭМИ РАН были разработаны несколько моделей:

- 12 1. Демографические АОМ: а) модели «Россия», разработанные в разные годы [6-8]; б) модель Санкт-Петербурга [9]; в) демографическая АОМ с популяцией агентов, неоднородной с точки зрения используемых отдельными агентами репродуктивных стратегий [10]. В моделях с разной степенью детализации поведения агентов-людей воспроизводятся процессы естественного движения населения – смертность и рождаемость. Так, часть агентов популяции может придерживаться современной репродуктивной стратегии с низкой рождаемостью, а часть – традиционной, с высокой рождаемостью. Назначение моделей – прогнозирование численности и структуры населения при различных значениях управляющих параметров (коэффициенты смертности и рождаемости, соотношение агентов разных

типов в популяции и др.). Модели разрабатывались в рамках проектов: гранта РНФ «Разработка системы проектирования агент-ориентированных моделей для запуска на суперкомпьютерах», Программы Президиума РАН «Роль пространства в модернизации России: природный и социально-экономический потенциал».

13 2. АОМ миграции: а) модель трудовой миграции из Китая в Россию [11]; б) модель миграционных потоков на территории Евразии [12]. В моделях на основе поведения агентов, обладающих ограниченной рациональностью, воспроизводятся процессы миграции. Миграционные решения агентов, ищущих работу, зависят от многих факторов внешней среды, а также от их личностных свойств, таких как возраст, уровень образования и информированности об условиях рынка труда в своем регионе (и стране) и в других регионах (и странах). При моделировании последствий миграционных потоков, вызванных другими причинами, мощность и структура этих потоков задаются в виде параметров модели. Назначение моделей – прогнозирование численности и структуры населения при различных значениях управляющих параметров (коэффициенты смертности и рождаемости; соотношение агентов разных типов в популяции; и др.). Модель разрабатывалась в рамках гранта РНФ: «Разработка комплекса агент-ориентированных моделей, имитирующих социально-экономическую систему Евразийского континента, и детализированных до уровня отдельных индивидуумов».

14 3. АОМ ракетно-космической отрасли «RussianSpace» [13]. Представляет собой платформу, базирующуюся на общем подходе и построенной по блочному принципу. Каждый отдельный блок является самостоятельной моделью, настроенной на имитацию того или иного присущего отрасли процесса. Были реализованы два блока: 1) имитирующий сотрудничество предприятий отрасли в рамках реализации общего проекта – программы запусков космических аппаратов, в том числе зарубежных. Выполнение программы и ее экономические результаты зависят от ограничений на доступ Роскосмоса на этот рынок; 2) имитирующий запуски космических аппаратов и последствия этих запусков для экологии полей падения. Степень экологического ущерба в модели зависит от размеров государственного финансирования, выделяемого на уборку этих территорий. Модель разработана как инструмент, позволяющий оценить последствия указанных средовых параметров при различных сценариях их изменения.

15 4. Региональные АОМ, в которых на основе реконструкции внутренней демографической и социальной структуры региона, а также моделирования поведения действующих на его территории самостоятельных экономических агентов, имитируются различные социально-экономические процессы. Агенты в моделях могут быть разного уровня (агенты-люди, жители региона; агенты-предприятия; агенты-муниципальные образования на территории региона). Основным блоком региональных АОМ является демографический, обеспечивающий имитацию движения населения. К этому типу АОМ относятся:

а. Модель Санкт-Петербурга с социальным блоком «Social Petersburg» [14]. Модель разрабатывалась в сотрудничестве с Северо-Западным

институтом управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (СЗИУ РАНХиГС) под руководством иностранного члена РАН, д.э.н. В.Л. Квинта и директора СЗИУ РАНХиГС, д.э.н. В.А. Шамахова. В модели воспроизводится распределение населения по округам и районам с учетом его возрастно-половой структуры, а также распределение дошкольных образовательных учреждений (ДОУ) на территории города. В качестве результата работы модели отслеживается один из критериев, являющихся целевым показателем Стратегии экономического и социального развития Санкт-Петербурга на период до 2030, а именно, – показатель обеспеченности населения местами в ДОУ. Модель позволяет инициировать новые проекты строительства ДОУ, выбирая для них округа и количество мест в новом ДОУ. Модель предназначена для апробации различных программ расширения сети ДОУ на территории города с оценкой их влияния на целевой показатель в городе в целом и в различных его округах.

б. Модель Вологодской области «Губернатор» [15]. В модели присутствуют агенты разных типов, образующих следующую иерархию: агенты-люди → агенты-предприятия (организации), на которых люди трудятся, → агенты-муниципальные районы, на территории которых находятся предприятия и проживают люди, → регион Вологда, к которому относятся муниципальные районы. Агенты-люди в модели, кроме участия в процессах воспроизводства населения, участвуют также в общественном производстве в соответствии со своим трудовым потенциалом. Трудовой потенциал агентов следующих уровней иерархии является совокупностью трудовых потенциалов включенных в них агентов-людей, что влияет на объем их производства. Производство (реальный сектор), в свою очередь, служит источником бюджетных доходов, которые на следующем шаге распределяются по статьям расхода, в том числе и на социальную сферу. Модель настроена на управление бюджетным процессом – как доходами, так и расходами бюджетов двух уровней (уровень региона и уровень муниципального района). Модель также позволяет проводить эксперименты, варьируя параметры внешней для региона среды (например, индексы изменения показателей воспроизводства населения, величина налогового бремени для предприятий отдельных отраслей или распределение налоговых поступлений между бюджетами двух уровней).

16 5. Популяционная АОМ «ArcticFox» [16]. В модели точно воспроизводится состояние популяции песца на острове Медный и имитируются процессы расселения отдельных особей и воспроизводства популяции. Назначение модели – оценить состояние популяции при различных изменениях во внешней для песцов среде. Модель разрабатывалась в рамках гранта РФФИ: «Индивидуум-ориентированное моделирование в системе мониторинга охраняемых популяций».

17 6. АОМ процессов государственных закупок в России [17]. В модели имитируется закупочная деятельность предприятия наукограда. Модель предназначена для апробации различных стратегий регулирования закупочной

деятельности, в том числе, использования мер протекционизма в системе государственных закупок наукоемкой продукции.

18 7. АОМ автомобильных пробок г. Москвы [18], позволяющая в масштабах городской агломерации оценить изменения работы всей транспортной системы в результате: 1) введения новых радиальных или кольцевых автомагистралей; 2) временного закрытия или ликвидации какого-либо элемента транспортной системы; 3) введения экономических санкций (плата за проезд по магистрали, за въезд в центр и т. п.).

19 Отдельно следует выделить комплексные АОМ, в которых популяции агентов разных типов участвуют в различных процессах, и/или часть процессов имитируется с помощью других методов. Кроме того, в этих моделях расширяется понятие параметров, в качестве которых могут выступать достаточно сложные структуры, называемые проектами и включающие разнородные группы переменных. Примерами таких моделей могут служить:

20 8. Социо-эколого-экономическая модель региона [19], представляющая собой искусственное общество. В рамках модели объединены нескольких частных моделей – природной среды региона, социально-демографической структуры его населения, а также структуры его экономики. Модель разрабатывается таким образом, чтобы имитировать взаимосвязи происходящих в этих сферах процессов. В модели имитируются выбросы вредных веществ в окружающую среду в результате деятельности человека и дальнейшее распространение загрязняющих веществ в различных средах. Соответственно, среди критериев, по которым оценивается благополучие региона в целом и муниципальных образований в его составе, содержатся и экологические показатели. Конструкция представленной модели призвана имитировать не только влияние деятельности людей на экономику и экологию региона, но и обратное влияние условий существования людей на их здоровье, работоспособность и поведение. На рисунке 2 показана обобщенная схема взаимного влияния агентов и их окружения в данной региональной АОМ, где широкими стрелками показаны направления перемещения ресурсов, а тонкими – направления информационных потоков. Эта конструкция была апробирована на модели управления уровнем загрязнения атмосферы региона с помощью системы торговли квотами на выбросы от стационарных источников [20]. Модель позволяет варьировать штрафные санкции за загрязнение природной среды и квоты на выбросы для предприятий региона и подбирать в ходе экспериментов такое их сочетание, которое обеспечивает снижение экологической нагрузки. Модели разрабатывались в рамках гранта РФФИ: «Методология построения региональных агент-ориентированных социо-эколого-экономических моделей».

Рис. 2. Схема взаимного влияния агентов и их окружения в социо-эколого-экономической АОМ региона.

9. АОМ стран Евразии [21], в которой имитируются демографические процессы в этих странах, а также последствия реализации большого инфраструктурного проекта – «Нового Шелкового пути», как результата действий множества самостоятельных агентов. В модели присутствуют агенты двух типов: а) страны, способные лоббировать реализацию привлекательных для них проектов, и б) люди-жители этих стран, создающие семьи, рождающие детей и выбирающие вид деятельности и место жительства. Взаимодействие агентов этих двух уровней реализуется следующим образом. Страна создает условия для жизни и работы агентов (ВВП на душу населения, рабочие места и уровень заработной платы в различных отраслях на территории административных единиц, уровень безопасности, и т.д.). Для оценки уровня безопасности в модели используются данные глобального индекса терроризма [22]. С использованием прототипа модели были проведены компьютерные эксперименты, в ходе которых агентами-странами осуществлялся выбор условного маршрута прохождения «Нового Шелкового пути», из двух альтернативных, имеющих одинаковые граничные точки – от Пекина до Лондона. Северный маршрут проходил через территорию России с включением Транссибирской магистрали, а второй – южнее, вне России, как показано на рисунке 3. Считалось, что каждая страна, через которую проходит один из маршрутов, заинтересована в реализации именно этого варианта проекта. Привлекательность для страны того или иного маршрута также увеличивалась благодаря его безопасности, а участие в нем страны, с которой есть антагонизм, эту привлекательность снижало. На окончательный выбор агентом-страной оказывали влияние не только собственные интересы, но и оценка этого маршрута такими объединениями, как Евросоюз и НАТО, если страна в эти союзы входила. После выбора странами маршрута прохождения «Нового Шелкового пути» наступал этап его реализации, что вызывало появление новых рабочих мест и миграцию агентов-людей. Модель

предназначена для оценки демографических и экономических последствий реализации большого проекта. Модель разрабатывалась в рамках гранта РНФ: «Разработка комплекса агент-ориентированных моделей, имитирующих социально-экономическую систему Евразийского континента, и детализированных до уровня отдельных индивидуумов».

23 Значительный вклад в разработку представленных выше моделей внесли следующие сотрудники ЦЭМИ РАН: к.э.н. В.И. Абрамов; к. архитектуры А.Ф. Агеева; М.А. Бурилина; к.э.н. Н.В. Бахтизина; к.э.н. Г.Е. Бесстремьянная; PhD физ.-мат. наук Г.Б. Сушко; к.э.н. М.Р. Фаттахов.

24 ***Поисковые агент-ориентированные модели***

25 1. Динамическая модель российского фармацевтического рынка (авторы: А.С. Акопов, А.В. Фомин) [23]. Модель сочетает в себе методы системной динамики и агентного моделирования. Данная модель лежит в основе информационно-аналитической системы, с помощью которой исследуются различные сценарии государственного регулирования фармацевтического рынка и возможные стратегии агентов-производителей.

26 2. АОМ развития ранних обществ (авторы: Ю.Н. Гаврилец, Н.А. Авксентьев, А.С. Макаров [24] и С.А. Никитин [25]). Основной целью моделей является исследование влияния фактора альтруизма на экономическое развитие доисторического общества и его выживаемость в условиях межплеменных взаимодействий.

27 3. АОМ поведения человека (автор В.А. Истратов) [26].

28

Рис. 3. Маршруты «Нового Шелкового пути», использованные в экспериментах

29 В заключение следует подчеркнуть, что основным направлением развития методов компьютерного моделирования в ЦЭМИ РАН является создание симуляторов — искусственных обществ. Причем, эти симуляторы должны воссоздавать особенности и структуру реального моделируемого общества с

максимально возможным правдоподобием. Подобные симуляторы могут использоваться в системах принятия решений на любом, даже очень высоком уровне, так как позволяют лицам, принимающим управленческие решения, ставить с их помощью компьютерные эксперименты для моделирования различных ситуаций и получения ответа на вопрос: «Что будет, если?». Что, в свою очередь, позволяет проигрывать на моделях как различные сценарии изменения внешней среды, так и последствия реализации планируемых управленческих мер для выбора наиболее приемлемого (требующего наименьших затрат ресурсов) варианта. В последнее время развитие компьютерного моделирования именно как инструмента апробации решений в сфере управления социально-экономическими системами становится наиболее востребованным практикой. Особенно перспективным оно представляется как элемент создаваемой в нашей стране системы распределенных ситуационных центров [27]. Работы в этом направлении осуществляются в рамках гранта РФФИ: «Разработка методологии ситуационного моделирования как эффективного инструмента для стратегического планирования и управления».

³⁰ *Диссертационные работы*

³¹ В рамках направления агент-ориентированного моделирования в лаборатории были подготовлены и защищены следующие диссертационные работы:

³² 1. В 2003 году А.Р. Бахтизин защитил кандидатскую диссертацию «Вычислимая модель «Россия: центр – Федеральные округа», межрегиональные экономические отношения» по специальности 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики.

³³ 2. В 2009 году В.А. Истратов защитил кандидатскую диссертацию «Агентно-ориентированная модель поведения человека в социально-экономической среде» по специальности 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики.

³⁴ 3. В 2011 году Р.В. Фаттахов защитил кандидатскую диссертацию «Агент-ориентированная модель социально-экономического развития мегаполисов (на примере г. Москвы)» по специальности 08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики.

³⁵ 4. В 2018 году В.И. Абрамов защитил диссертацию «Разработка агент-ориентированной модели функционирования системы государственных закупок (на примере закупочной деятельности предприятия наукограда)» по специальности 08.00.013 – Математические и инструментальные методы экономики.

Библиография:

1. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бахтизина Н.В. CGE модель социально-экономической системы России со встроенными нейронными сетями. – М.: ЦЭМИ РАН, 2005. – 152 с. (Рус.).

2. Бесстремлянная Г.Е., Бахтизин А.Р. CGE модель «Социальная Россия». [Электронный ресурс]. URL: [http:// abm.center/publications/index.php?ID=38](http://abm.center/publications/index.php?ID=38) (дата обращения: 10.09.2018).
3. Макаров В.Л. CGE модель RUSEC. [Электронный ресурс]. URL: <http://abm.center/publications/index.php?ID=43> (дата обращения: 10.09.2018).
4. Макаров В.Л., Афанасьев А.А., Бахтизин А.Р. CGE модель RUSEC- ГАЗПРОМ. [Электронный ресурс]. URL: <http://abm.center/publications/index.php?ID=41> (дата обращения: 10.09.2018).
5. Бахтизин А.Р. Вычислимая модель «Россия: центр – Федеральные округа, межрегиональные экономические отношения», диссертация, 2003. – 134 с.
6. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). – М. : Экономика, 2013. – 295 с
7. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Общее описание демографической модели «Россия». [Электронный ресурс]. URL: <http://abm.center/publications/index.php?ID=278> (дата обращения: 10.09.2018).
8. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. Разработка агент-ориентированной демографической модели России и ее суперкомпьютерная реализация // Вычислительные методы и программирование, 2018. – Т. 19. – С. 368-378.
9. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Мониторинг демографической ситуации в агент-ориентированной модели Санкт-Петербурга / Теория и практика институциональных преобразований в России. Сборник научных трудов под ред. Б.А. Ерзнкяна. Вып. 35. – М.: ЦЭМИ РАН, 2016. – С. 6-15.
10. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Имитация особенностей репродуктивного поведения населения в агент-ориентированной модели региона // Экономика региона, 2015. – №3. – С. 312-322.
11. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. Агент-ориентированный подход при моделировании трудовой миграции из Китая в Россию // Экономика региона, 2017. – №2. – С. 331-341.
12. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. Искусственное общество и реальные демографические процессы // Экономика и математические методы, 2017. – №1. – С. 3-18.
13. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Управление деятельностью отрасли в агент-ориентированной модели на примере госкорпорации «Роскосмос» / Теория и практика институциональных преобразований в России. Сборник научных трудов под ред. Б.А. Ерзнкяна. Вып. 35. – М.: ЦЭМИ РАН, 2016. – С. 20-28.

14. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Агент-ориентированные модели как инструмент апробации управленческих решений // Управленческое консультирование, 2016. – №12. – С. 16-26.
15. Сушко Е.Д. Мультиагентная модель региона: концепция, конструкция и реализация / Препринт # WP/2012/292. – М.: ЦЭМИ РАН, 2012. – 54 с.
16. Гольцман М.Е., Сушко Е.Д., Доронина Л.О., Крученкова Е.П. Индивидуум-ориентированная модель популяционной динамики песца (*vulpes lagopus semenovi*) на острове Медный (Командорские острова) // Зоологический журнал, 2018. – в печати.
17. Абрамов В.И. Разработка агент-ориентированной модели функционирования системы государственных закупок (на примере закупочной деятельности предприятия наукограда), диссертация, 2018. – 163 с.
18. Фаттахов Р.В. Агенто-ориентированная модель социально-экономического развития Москвы // Экономика и математические методы, 2013. – №2. – С. 30-43.
19. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Агент-ориентированная социо-эколого-экономическая модель региона // Национальные интересы: приоритеты и безопасность, 2015. – №3. – С. 2-11.
20. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Регулирование промышленных выбросов на основе агент-ориентированного подхода // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз, 2017. – №6. – С. 42-58.
21. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. Имитация социально-экономической системы Евразийского континента с помощью агент-ориентированных моделей // Прикладная эконометрика, 2017. – Т.48. – С. 122-139.
22. The Global Terrorism Index 2016. Institute for Economics and Peace. [Электронный ресурс]. URL: <http://economicsandpeace.org/wp-content/uploads/2016/11/Global-Terrorism-Index-2016.2.pdf> (дата обращения: 10.09.2018).
23. Фомин А.В. Агент-ориентированная динамическая модель российского фармацевтического рынка. [Электронный ресурс]. URL: <http://abm.center/publications/index.php?ID=187> (дата обращения: 10.09.2018).
24. Гаврилец Ю.Н., Авксентьев Н.А, Макаров А.С. Роль социально-этических факторов в формировании ранних обществ (компьютерное моделирование). [Электронный ресурс]. URL: <http://abm.center/publications/index.php?ID=175> (дата обращения: 10.09.2018).
25. Никитин С.А. Имитационное моделирование поведения первобытного общества с учетом альтруизма [Электронный ресурс]. URL: <http://abm.center/publications/index.php?ID=176> (дата обращения: 10.09.2018).

26. Истратов В.А. Агентно-ориентированная модель поведения человека в социально-экономической среде, диссертация, 2009. – 151 с.

27. Макаров В.Л., Квинт В.Л., Шамахов В.А., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Бурилина М.А. Агент-ориентированные модели как инструмент апробации управленческих решений в системе распределенных ситуационных центров / Всероссийский форум «Система распределенных ситуационных центров как основа цифровой трансформации государственного управления». Сборник трудов. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2017.

Computer modeling of socio-economic processes

Valery Makarov

CEMI RAS

Russian Federation, Moscow

Elena Sushko

CEMI RAS

Russian Federation, Moscow

Albert Bakhtizin

CEMI RAS

Russian Federation, Moscow

Abstract

The report is devoted to the review of the works performed in recent years at the CEMI RAS within the framework of the direction of computer modeling of social and economic processes. The purpose of developing models of this kind of processes was the creation of forecasting tools that allow researchers and decision-makers at various levels to experiment in an artificial environment, to simulate the development of the system under investigation, including, in particular, its response to changes in environmental parameters. Computer models of two main types are presented: a) computable general equilibrium models in which supply and demand in the markets of goods and services are balanced, and b) agent-based models based on the behavior modeling of individual actors (agents) differing in their individual properties, that allowed to recreate in an artificial society a real socio-economic structure.

Keywords: numerical simulation and modelling of systems, agent-based modelling, software, artificial society, investigating the behavior of an object based on its digital model, testing of the regional policy, demography, migration, environmental pressures.

Date of publication: 20.11.2018

Citation link:

Bakhtizin A., Makarov V., Sushko E. Computer modeling of socio-economic processes
// Herald of CEMI. – 2018. – V. 1. – Issue 1.

URL: <https://cemi.jes.su/s111111110000104-7-1/>. DOI: 10.33276/S0000104-7-1