

# ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НАРОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ

## Экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами

Сфера услуг

---

УДК 332.1, 338.2, 339.9

**АБРАМОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ**

научный сотрудник ФГБУН

«Центральный экономико-математический институт» РАН (ЦЭМИ РАН)

e-mail: wladimir.abramow@gmail.com

**ДОХОЛЯН АНАСТАСИЯ СЕРГЕЕВНА**

младший научный сотрудник ФГБУН

«Центральный экономико-математический институт» РАН (ЦЭМИ РАН)

e-mail: Das0307@mail.ru

### АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ: ВОЗМОЖНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЭКОНОМИКИ РОССИИ<sup>1</sup>

**Аннотация.** В статье рассматриваются возможности применения имитационного и агент-ориентированного подходов к преобразованию институциональной структуры экономики страны в процессе перехода к новому типу экономики — цифровой экономике. Используются имитационный и агент-ориентированный подходы к моделированию, а также метод экспертных оценок. Использование агент-ориентированного подхода получает все большее признание в связи с удобством его использования для получения знаний об обществе. При этом результаты, полученные в результате моделирования, могут иметь научную новизну и интерес даже при использовании простых правил поведения агентов. **Результаты исследования** могут быть использованы при дальнейшем изучении особенностей агент-ориентированного моделирования.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, агент-ориентированное моделирование, геоинформационная система, обзор, информационные технологии, агентное моделирование.

---

**ABRAMOV VLADIMIR IVANOVICH**

researcher, Central economic-mathematical Institute of the  
Russian Academy of Sciences (CEMI RAS)

e-mail: wladimir.abramow@gmail.com

**DOHOLYAN ANASTASIYA SERGEEVNA**

Junior researcher, Central economic-mathematical Institute of the  
Russian Academy of Sciences (CEMI RAS)

e-mail: Das0307@mail.ru

### AGENT-BASED MODELING: OPPORTUNITIES IN THE CONTEXT OF TRANSFORMATION OF THE INSTITUTIONAL STRUCTURE OF THE RUSSIAN ECONOMY

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-29-03139.

**Abstract.** *The article discusses the possibility of using simulation and agent-based approaches to the transformation of the institutional structure of the country's economy in the process of transition to a new type of economy - the digital economy. Simulation and agent-oriented approaches to modeling, as well as the method of expert assessments are used. The use of an agent-based approach is increasingly recognized for its ease of use to gain knowledge about society. At the same time, the results obtained as a result of modeling can have scientific novelty and interest even when using simple rules of behavior of agents. **The results** of the study can be used in further study of the features of agent-based modeling.*

**Keywords:** *simulation modeling, agent-based modeling, geographic information system, review, information technology, agent-based modeling.*

---

**Введение.** В современных условиях все чаще возникает необходимость в обработке и анализе существенно увеличившихся объемов информации, повышении эффективности управленческих решений. В связи с этим большую актуальность приобретает метод агент-ориентированного моделирования (далее АОМ), который становится мощным инструментом поддержки принятия решений, т. к. его возможности практически безграничны. Использование метода АОМ позволяет создать очень сложные модели, в которых процесс принятия решений отражается детально. Кроме того, АОМ учитывает и иррациональные моменты принятия решений, что является значительным его преимуществом перед другими видами моделирования (методом системной динамики, дискретно-событийным и т. д.).

**Определение АОМ.** Для выработки наиболее эффективных и гуманных энергосберегающих решений целесообразно привлекать неких «когнитивных советчиков», которыми вполне могут быть компьютерные агент-ориентированные модели [4]. Они способны учитывать особенности поведения, характеристики, различные изменения в состоянии хозяйствующих субъектов и, соответственно, составлять прогноз изменений различных показателей на макроуровне.

Первоначально агент-ориентированный подход применялся в информатике и кибернетике при исследовании искусственного интеллекта. Свое начало этот метод берет в 1980-х годах XX века, но лишь компьютерный бум 1990-х годов позволил получить ему заслуженное признание [9].

На сегодняшний день мультиагентные системы используются не только в естественных, но и в общественных и когнитивных науках (психология, этнология, социология, философия, экономика) [13], а число статей, затрагивающих агент-ориентированное моделирование, неуклонно растет год от года. Некоторые ученые утверждают, что АОМ можно считать третьим способом получения знаний наряду с дедуктивными и индуктивными методами [15].

Ученые не пришли к единому мнению касательно определения агент-ориентированного моделирования, несмотря на его относительно долгую историю существования, и в современной науке этот вопрос остается дискуссионным, насчитывается множество вариантов таких определений. На наш взгляд, наиболее точным из возможных определений является формулировка, представленная А. Р. Бахтизиным в [2]. Согласно Бахтизину, АОМ – специальный класс моделей, основанных на индивидуальном поведении агентов и создаваемых для компьютерных симуляций.

По своей сути АОМ являются неким искусственным обществом, наполненным агентами, обладающими определенным набором характеристик и целевой функцией. Каждый агент самостоятелен и подчинен определенным критериям поведения, которые определяют его реакцию на различного рода изменения среды.

Единого определения «агента» также не существует. Подытоживая многочисленные определения, можно сделать вывод о том, что агентом является автономная сущность, как правило, имеющая графическое представление с определенной целью функционирования и возможностью обучения в процессе существования до некоего уровня, определяемого разработчиками соответствующей модели [3]. Кроме того, ведутся споры и по поводу качеств, которые должны быть присущи агентам: среди них упоминаются инициативность, способность обучаться, ориентация в пространстве и т. д. [14]. В качестве основы мы примем перечень, представлен-

ный в работе [1], где агенты обладают следующими свойствами: автономность, способность к социальному взаимодействию, реактивность, превентивность.

Тем не менее большинство ученых сходятся во мнении, что всем агентам присуще одно свойство – децентрализация, т. е. не существует места, где централизованно определялась бы динамика системы в целом. Проще говоря, моделирование происходит по схеме «снизу вверх», что означает, что общее поведение и изменения в системе определяются в результате деятельности множества агентов, число которых может варьироваться от нескольких десятков до тысяч и даже миллионов. Каждый агент взаимодействует с другими агентами и средой в соответствии с теми параметрами поведения, которые были заданы ему индивидуально и в рамках собственных правил.

Между собой агенты могут взаимодействовать различными способами [16]:

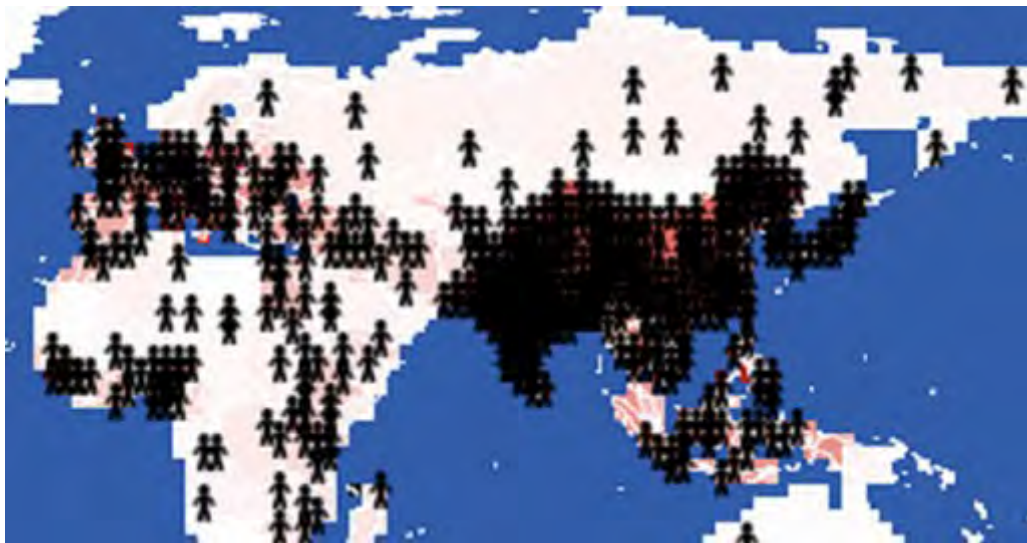
- коммуникация – ситуация, при которой агенты производят обмен информацией между собой через средства общения;
- кооперация – при этом происходит взаимодействие агентов друг с другом, что дает возможность реализовать поставленные задачи совместными действиями;
- управление – в случае, когда один агент подчиняет и контролирует действия и поведение другого.

Стоит также отметить, что в процессе передачи информации между агентами часть ее может быть скрыта (инструмент скрытия информации), что может привести к некой неопределенности в поведении агентов. Ведь в такой ситуации нельзя предугадать его поведение даже в условиях соответствия с фиксированными методами. Поведение и реакция агента может меняться по отношению к тому или иному агенту в зависимости от временного промежутка, что делает метод АОМ еще более схожим с реальной жизнью.

В качестве агента могут выступать различные существующие в реальном мире объекты – люди, институты, домохозяйства, регионы или целые отрасли и т. д.

Между тем стоит отметить, что среда представляет собой пространство (совокупность объектов, ландшафта), окружающее множество агентов одного или нескольких видов, определяющее их условия функционирования и оказывающее на них прямое или косвенное воздействие. Она может быть как полностью нейтральной, с минимальным или нулевым воздействием на агентов, так и тщательно детализированной. В ряде случаев среда может быть представлена в качестве дискретной решетки, которая состоит из квадратов, треугольников или шестиугольников, или как пассивная платформа для агентов, что существенно ограничивает потенциал такой модели.

Для удобства многие ученые представляют среду в качестве географического пространства. В этом случае модель называют пространственно определенной, а агенты приобретают координаты и определяют свое положение в пространстве.



*Рис. 1. Агенты в ГИС.*

**Инструменты.** Как уже было отмечено выше, интерес к агентным моделям возрастает с каждым днем, соответственно, возникает необходимость в программном обеспечении для построения АОМ, которые мы рассмотрим в это разделе.

SWARM – универсальный пакет для моделирования параллельно распределенного искусственного мира [6]. Основу пакета составляют различного рода библиотеки, расположенные в исходной директории.

Целью создания данного пакета было облегчение работы исследователей при построении и имитации искусственного мира и обеспечение стандартизированными инструментальными средствами для управления и анализа результатов моделирования [10].



**Рис. 2.** Прикладной пакет для моделирования параллельно распределенного виртуального мира SWARM.

Непосредственно процесс разработки реализуется в 2 этапа: на первом – создание среды, в которой будут функционировать агенты, которые, в свою очередь, создаются уже на втором этапе построения модели [4]. Информация о данном пакете находится в свободной доступе в сети Интернет (<http://www.swarm.org>).

Еще одной доступной и простой в использовании программой является NetLogo. Ее появление датируется 1999 годом как результат дальнейшего развития языка Logo [11].

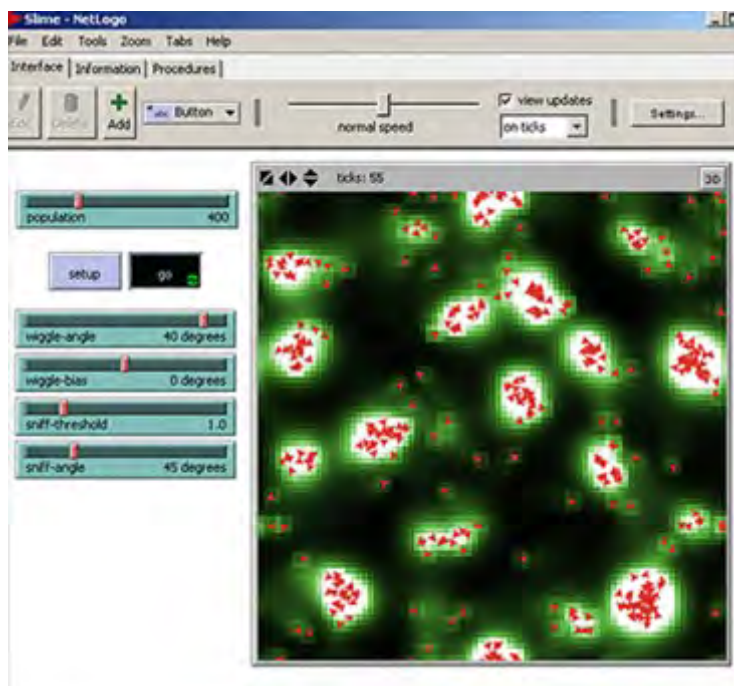
Программа содержит множество специализированных библиотек элементов моделей, которые представлены в качестве законченных блоков. Эти блоки могут быть использованы при создании конкретных моделей либо для модификации имеющихся. Данную программу успешно эксплуатируют при создании АОМ, ведь по своей сути она и состоит из агентов, которые могут быть представлены четырьмя типами, которые выполняют задания и функционируют параллельно во времени [12]:

- «черепашки»;
- точки, по которым передвигаются «черепашки»;
- связи, которые соединяют 2 «черепашек»;
- «наблюдатель», создающий «черепашек».

Простота использования позволяет применить NetLogo и при обучении студентов в ВУЗах. Именно поэтому тысячи исследователей отдают ей свое предпочтение.

Еще одна система моделирования Mason представляет собой мультиагентную среду в виде набора библиотек на Java [7]. Программа поддерживает дискретно ориентированную парадигму моделирования, дает возможность использования средств визуализации 2D и 3D, однако для ее использования необходим достаточно высокий уровень владения языком Java. Стоит также отметить, что именно при помощи Mason были реализованы такие известные агент-ориентированные модели, как игра «Жизнь», «Сахарная модель» и т. д. [4].

Непосредственно для агентного моделирования долгое время существовали лишь библиотеки на языках Java или C++. Поэтому стоит отдельно рассмотреть пакет AnyLogic ([www.anylogic.com](http://www.anylogic.com)) – инструмент, разработанный российскими специалистами по computer science, в частности по распределенным системам. На сегодняшний день это один из немногих российских продуктов в области имитационного моделирования, который смог получить признание за рубежом [4].



*Рис. 3. Пример симуляции в NetLogo.*

Концепция AnyLogic – объектно-ориентированная, модель представляется как набор взаимодействующих, параллельно функционирующих «активностей».

К основным преимуществам использования пакета AnyLogic можно отнести [www.anylogic.ru]:

1. В первую очередь, удобный интерфейс, который делает доступным создание моделей не только для профессионалов, но и для начинающих исследователей. Этому способствуют и многочисленные средства поддержки, огромное количество информации в сети Интернет, вебинары непосредственно на сайте программы.

2. Возможность достаточно быстро адаптировать модель к изменяющимся условиям, увеличение ее жизненного цикла.

3. AnyLogic поддерживается как процессно-ориентированный, системно-динамический, так и агентный подходы. Также имеется возможность комбинировать и модифицировать различ-



*Рис. 3. Пример моделирования в AnyLogic.*



ные подходы для получения более точных результатов.

4. Мультиплатформенность программы.

5. Детализация любого уровня.

6. Интерактивная анимация, которая позволяет «эффектно» продемонстрировать результаты разработки модели.

7. Возможность применения во множестве областей, будь то оборона, логистика, здравоохранение, социальные системы и т. д.

8. Уникальность продукта, которая заключается в возможности создания модели любой сложности, масштаба, уровня абстракции, решения поставленных перед исследователем задач, проведения экспериментов.

Иными словами, AnyLogic позволяет добиться существенных результатов при наименьших трудозатратах.

**Заключение.** АОМ является относительно новым методом моделирования, но, не смотря на это, уже успел зарекомендовать себя как эффективный и простой в построении метод для анализа, моделирования и имитации сложных систем. Спектр применения АОМ достаточно обширен, что позволяет использовать его инструменты практически во всех сферах экономики, изучения особенности развития объектов, решая сверхсложные задачи в условиях «простоты» взаимодействия агентов.

На сегодняшний день в России уже существует отдельный сайт, посвященный разработкам в области АОМ ([www.artsoc.ru](http://www.artsoc.ru)), и ежеквартальный научный журнал «Искусственные общества» на базе Центрального экономико-математического института РАН.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод о перспективности применения имитационного и агент-ориентированного подходов к преобразованию институциональной структуры экономики страны в процессе перехода к новому типу экономики – цифровой экономике.

#### *Литература*

1. Абрамов В. И. Агент-ориентированное и имитационное моделирование: перспективы в области информационных технологий // *Региональные проблемы преобразования экономики*. – 2018. – № 11.
2. Бахтизин А. Р. Агент-ориентированные модели экономики. – М.: Экономика 2008.
3. Макаров В. Л. Агент-ориентированные модели как инструмент апробации управленческих решений [Текст] / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко // *Управленческое консультирование*. – 2016. – № 12. – С. 16–25.
4. Макаров В. Л. Новый инструментарий в общественных науках – агент-ориентированные модели: общее описание и конкретные примеры / Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. // *Экономика и управление*. – № 12 (50). – 2009.
5. Мусаев А. Тихая когнитивная революция [A Quiet Cognitive Revolution] / А. Мусаев, А. Шевчик // *Эксперт*. – 2016. – № 4. – С. 45–51.
6. Официальный сайт SwarmDevelopmentGroup(SDG) [Электронный ресурс] [Режим доступа: <https://www.swarm.org/community.html>, свободный. – Загл. с экрана.
7. Официальный сайт Системы моделирования «MASON» [Электронный ресурс]. [Режим доступа: <http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason>, свободный. – Загл. с экрана.
8. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. [Режим доступа: <http://www.swarm.org>, свободный. – Загл. с экрана.
9. Официальный сайт AnyLogic. [Электронный ресурс]. [Режим доступа: <http://www.anylogic.com>, свободный. – Загл. с экрана.
10. Фролова Ю. Ф. Мультиагентное моделирование // *Математические структуры и моделирование*. – 2000. – № 5.
11. Якимов И. М., Кирпичников А. П., Мингараева А. И., Буйнова Е. Л. Имитационное моделирование в системе NetLogo // *Вестник технологического университета*. – 2017. – Т. 20. – № 10. – С. 104.
12. Barros, J., Alves Jr., S. Simulating Rapid Urbanisation in Latin American Cities. Eds. P. Longley, M. Batty. London : ESRI Press, 2003.
13. Castelfranchi, C. Modelling social action for AI agents. *Artificial Intelligence*. 1998. T. 103(1–2).
14. Chen S.-H. Fundamental issues in the use of genetic programming in agent-based computational economics. Taipei, Taiwan : Working Paper, AI-Econ Research Center, National Chengchi University, 2001. [An electronic resource]. Access mode: [www.aiecon.org/staff/shc/vita/ios2001.pdf](http://www.aiecon.org/staff/shc/vita/ios2001.pdf), free. Heading from the screen.
15. Pines T. Urban Systems: Market And Efficiency. *Journal of Public Economic Theory*, 2001. T. 3(1).
16. Railsback S. Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction. Cambridge: Princeton University Press, 2011. ISBN 978-0-691-13674-5.
17. Torrens P. New Advances in Urban Simulation: Cellular Automata and Multi-Agent Systems as Planning Support Tools. London: CASA, 2001.

**References:**

1. In Abramov. I. *Agent-oriented and simulation modeling: prospects in the field of information technology* // *Regional problems of economic transformation*. – 2018. – № 11.
2. The Bakhtizin A. R. *Agent-oriented economic model*. – Moscow: Economy 2008.
3. In Makarov. L. *Agent-oriented models as a tool for testing management decisions [Text]* / V. L. Makarov, A. R. Bakhtizin, E. D. Sushko // *Management consulting*. – 2016. – № 12. - P. 16-25.
4. In Makarov. L. *New tools in social Sciences – agent-oriented models: General description and concrete examples* / Makarov V. L., bakhtisin A. R. // *Economics and management*. – № 12 (50). – 2009.
5. Musaev A. *Quiet cognitive revolution [Quiet cognitive revolution]* / and. Musaev, A. Szewczyk // *Expert*. – 2016. – № 4. – Pp. 45--51.
6. Official website of SwarmDevelopmentGroup(SDG) [Electronic resource] [Access mode: <https://www.swarm.org/community.html>, free. The title. from the screen.
7. Official website of the modeling System "Mason"[Electronic resource]. [Access mode: <http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/Mason>, free. The title. from the screen.
8. Official site. [Electronic resource.] [Access mode: <http://www.swarm.org>, free. The title. from the screen.
9. The official website of our company. [Electronic resource.] [Mode of access: <http://www.anylogic.com> free. The title. from the screen.
10. Frolov, Y. F. *multi-agent modelling* // *Mathematical structures and modeling*. – 2000. – № 5.
11. Yakimov I. M., Kirpichnikov A. P., And Mangareva. I., Buynova E. L. *simulation modeling system netlogo* // *Bulletin of technological University*. – 2017. – Vol. 20. – № 10. – P. 104.
12. Barros, Jr Alves, S. *modeling the rapid urbanization of Latin American cities*. EDS. P. Longley, M. Batty. London: ESRI Press, 2003.
13. Castelfranchi, C. *modeling of social actions for AI agents*. *Artificial intelligence*. 1998. T. 103 (1-2).
14. Chen S.-H. *fundamental issues of usage of genetic programming in agent-based computational Economics*. Taipei, Taiwan: working paper, AI-Econ research centre, changchi national University, 2001. [Electronic resource.] Mode of access: [www.aiecon.org/staff/shc/vita/ios2001.pdf](http://www.aiecon.org/staff/shc/vita/ios2001.pdf)-бесплатно. The title of the screen.
15. Pine T. *Urban Systems: Market And Efficiency*. *Journal of public economic theory*, 2001. T. 3 (1).
16. Railsback, S. *agent-based and individual-based modeling: a practical introduction*. Cambridge: Princeton University Press, 2011. ISBN 978-0-691-13674-5.
17. Torrence p. *New advances in urban modeling: cellular Au-tomata and multi-agent systems as planning support tools*. London: CASA, 2001.