

**Карагодин Артем Максимович**

Кубанский государственный аграрный университет

**Белонучкин Артем Витальевич**

Кубанский государственный аграрный университет

**Осадчая Анастасия Викторовна**

Кубанский государственный аграрный университет

### **Агент-ориентированное моделирование как инструмент анализа сложных экономических процессов**

**Аннотация.** В данной статье рассматривается агент-ориентированное моделирование (АОМ), как современный метод исследования сложных экономических систем. АОМ дает возможность производить анализ взаимодействия различных автономных агентов, симулировать их поведение и составлять прогнозы дальнейшего развития экономических процессов. Этот метод особенно эффективен при симуляции различных нелинейных процессов, кризисных явлений и emergent-свойств при взаимодействиях агентов. Особое внимание уделяется использованию суперкомпьютерных технологий, благодаря которым значительно увеличиваются возможности АОМ, что в свою очередь позволяет увеличивать масштабы моделей, их точность и детализацию. Приведены примеры успешного использования АОМ в практике как мировой, так и российской, включая создание моделей финансовых рынков, распространение инноваций и оптимизацию логических систем. Также были обсуждены возможные перспективы развития данного метода для экономических исследований.

**Ключевые слова:** агент-ориентированное моделирование, экономика, суперкомпьютерные технологии, прогнозирование.

**Karagodin Artem Maksimovich**

Kuban State Agrarian University

**Belonuchkin Artem Vitalevich**

Kuban State Agrarian University

**Osadchaya Anastasia Viktorovna**

Kuban State Agrarian University

### **Agent-based modeling as a tool for analyzing complex economic processes**

**Abstract.** This article discusses agent-based modeling (ABM) as a modern method for studying complex economic systems. ABM makes it possible to analyze the interaction of various autonomous agents, simulate their behavior, and make forecasts for the further development of economic processes. This method is especially effective in simulating various nonlinear processes, crisis phenomena, and emergent properties in agent interactions. Particular attention is paid to the use of supercomputer technologies, which significantly increase the capabilities of ABM, which in turn allows increasing the scale of models, their accuracy, and detail. Examples of successful use of ABM in both global and Russian practice are given, including the creation of financial market models, the dissemination of innovations, and the optimization of logical systems. Possible prospects for the development of this method for economic research were also discussed.

**Keywords:** agent-based modeling, economics, supercomputer technologies, forecasting.

Современная экономика является сложной и динамической системой, в которой множество факторов взаимодействуют между собой. Традиционные методы

моделирования часто являются недостаточно гибкими для того, чтобы учитывать нелинейные взаимодействия. В данном контексте агент-ориентированное моделирование (АОМ) показывает себя как мощный инструмент, который может воспроизводить различные процессы экономики и прогнозировать их последствия.

Агент-ориентированное моделирование – это метод компьютерного моделирования, в котором сложные экономические системы представляют собой совокупность автономных агентов, взаимодействующих между собой. В отличие от традиционных моделей, АОМ фокусируется на взаимодействиях на микроуровне. Это в свою очередь позволяет воспроизводить экономические процессы с более высокой точностью [1].

Основой для АОМ является идея создания искусственного «общества», которое состоит из автономных агентов. Эти агенты имеют уникальные свойства, предназначения и поведение. Агенты могут представлять собой как физические лица (например потребители или работники), так и юридические (например компании или банки). Взаимодействие этих агентов между собой внутри специальной виртуальной среды позволяет изучать различные явления, которые возникают в результате сложных взаимодействий на низком уровне. Такие свойства называют emergent-свойствами.

Можно выделить несколько основных особенностей АОМ:

1. *Автономность* агентов выражается в том, что каждый из них принимает решения самостоятельно на основе собственных правил и определенных внешних условий.
2. *Гетерогенность* означает, что агенты могут быть различны по характеристикам и стратегиям.
3. *Динамическое взаимодействие* позволяет агентам влиять друг на друга и на окружающую среду. Это в свою очередь приводит к тому, что система эволюционирует.

Одной из главных проблем АОМ является то, что вычислительная сложность этой модели очень высокая. Обычные компьютеры имеют возможность работать с моделями, в которых присутствуют десятки тысяч различных агентов. Однако для более реалистичного моделирования требуется намного больше агентов, миллионы и миллиарды, каждый отличный друг от друга. Для решения этой проблемы подходят суперкомпьютерные технологии.

Суперкомпьютеры представляют собой вычислительные системы, которые имеют очень большую вычислительную мощность, и которые способны решать множество задач, недоступных обычным компьютерам. Такие компьютеры играют ключевую роль в большом количестве научных и прикладных областях. Основное отличие их от обычных компьютеров это архитектура. Они используют тысячи вычислительных ядер, которые объединены в одну систему с помощью специальных соединений. Данная архитектура дает возможность распределять нагрузку между большим количеством процессоров, и это делает возможным решения таких задач, как в АОМ. В контексте экономического моделирования суперкомпьютеры открывают большое количество новых возможностей. Они позволяют создавать модели, где каждый экономический агент является индивидуальным объектом со своими свойствами, характеристиками и правилами поведения.

Можно привести большое количество примеров использования данной модели. Так, с помощью АОМ были произведены расчеты для трех сценариев изменения численности населения Санкт-Петербурга до 2030 года [3]. Модель учитывала такие факторы, как уровень заработной платы, рождаемость и политику миграции. Результаты показали, что при сохранении текущих тенденций население города вырастет на 22%. Также АОМ может применяться для моделирования аукционов, слияний корпораций, изучения конкуренции рынка. Например, была сделана модель автомобильных пробок в Москве, которая позволила сделать анализ влияния транспортной инфраструктуры на активность экономики [2].

**Таблица 1 – Сравнения АОМ с другими методами моделирования в экономике**

| Критерий                 | Агент-ориентированные модели | Эконометрические модели | Динамические стохастические модели (DSGE) |
|--------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|
| Уровень анализа          | Микро (агенты)               | Макро                   | Макро                                     |
| Гибкость                 | Высокая                      | Ограничена              | Жёсткая структура                         |
| Учёт нелинейностей       | Да                           | Частично                | Ограниченно                               |
| Вычислительная сложность | Высокая                      | Низкая                  | Средняя                                   |

Данная таблица демонстрирует отличия между различными экономическими моделями по сравнению с АОМ. Она показывает, что агент-ориентированные модели являются очень гибкими и точными для моделирования экономических процессов, однако имеет высокие требования на вычислительную мощность.

Несмотря на многочисленные преимущества, АОМ также имеет некоторые недостатки. В первую очередь требования к высокой вычислительной мощности и большому количеству симулируемых агентов приводит к значительному увеличению времени, нужного для проведения расчетов. Также нет определенных общих правил для построения агентных моделей, что приводит к трудности сравнения различных агентных моделей между собой.

Для создания и настройки моделей требуется различное специализированное программное обеспечение. Одним из наиболее распространенных инструментов можно выделить NetLogo. Это язык программирования и среда моделирования, которая часто используется в образовательных целях и при быстрой разработке прототипов моделей. Этот инструмент содержит многочисленные готовые модели из различных областей в своей библиотеке, включая экономическую область. Однако данный инструмент имеет ограничения в производительности. Обычно NetLogo не может работать с большим количеством агентов (10 000 и более), поэтому может не подходить для создания больших и сложных моделей.

Для более сложных задач можно использовать Repast Suite. Это набор инструментов, который предоставляет большие возможности для создания более сложных моделей. Он разрабатывается уже долгое время и включает версии для разных языков программирования (Java, Python, C++). Repast особенно полезен для создания моделей экономических систем с высокой гибкостью и производительностью. Основным недостатком является более высокий порог вхождения в виде необходимости знания определенных языков программирования.

В заключение можно отметить, что применение агент-ориентированных моделей в экономике является основным способом создания, настройки и симуляции различных сложных и глубоких экономических процессов. АОМ позволяет рассматривать эти процессы на более низком уровне, что приносит более точные результаты расчетов и дает возможность прогнозирования дальнейшего развития процессов. Основными недостатками этих моделей являются требования к высокой производительности систем.

#### **Список источников**

1. Агент-ориентированные модели: мировой опыт и технические возможности реализации на суперкомпьютерах / В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин, Е.Д. Сушко, В.А. Васенин, В.А. Борисов, В.А. Роганов // Вестник РАН. – 2016. – № 3. – С. 253-254.
2. Ивантер, В.В. Стратегия перехода к экономическому росту / В.В. Ивантер // Проблемы прогнозирования. – 2016. – № 1. – С. 3-8.

3. Применение суперкомпьютерных технологий для моделирования социально-экономических систем [Текст] / В.В. Окрепилов, В.Л. Макаров, А.Р. Бахтизин и др. // Экономика региона. – 2015. – № 2. – С. 301-313.

4. Лаборатория агентного моделирования / [Электронный ресурс] // abm: [сайт]. — URL: <https://www.abm.center> (дата обращения: 26.03.2025).

#### **Сведения об авторах**

**Карагодин Артем Максимович**, бакалавр, Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия.

**Белонучкин Артем Витальевич**, бакалавр, Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия.

**Осадчая Анастасия Викторовна**, ассистент кафедры экономической кибернетики, Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия.

#### **Information about the authors**

**Karagodin Artem Maksimovich**, Bachelor's degree, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.

**Belonuchkin Artem Vitalevich**, Bachelor's degree, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.

**Osadchaya Anastasia Viktorovna**, assistant of the Department of Economic Cybernetics Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.