

Для цитирования: Красных С. С. Имитационное моделирование социально-экономических процессов в территориальных системах // Журнал экономической теории. — 2020. — Т. 17. — № 2. — С. 503-508

<https://doi.org/10.31063/2073-6517/2020.17-2.22>

УДК 338

JEL: C53

С. С. Красных

Институт экономики УрО РАН (Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: sergeykrasnykh@yahoo.com)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ¹

Имитационное моделирование является одним из основных инструментов, позволяющих моделировать социально-экономические отношения внутри территориальных систем, способных прогнозировать различные процессы, протекающие в экономике и обществе, позволяющих принимать управленческие и иные решения в бизнес-процессах. Суть данного инструмента заключается в апробации реальной модели в компьютерной симуляции. Современное развитие информационно-коммуникационных технологий позволяет моделировать практически любой социально-экономический процесс. Целью данной работы является анализ теоретических подходов к сущности имитационного моделирования на современном этапе, а также оценка методов имитационного моделирования при прогнозировании социально-экономических процессов в территориальных системах.

В ходе исследования проанализирована эволюция развития методов имитационного моделирования, раскрыта их теоретическая сущность, выявлены преимущества и недостатки. Проведен обзор имитационных агент-ориентированных моделей, моделирующих социально-экономические процессы в территориальных системах. Выявлено, что оптимальным методом имитационного моделирования социально-экономических процессов в территориальных системах является агент-ориентированный подход.

Ключевые слова: имитационное моделирование, агент-ориентированное моделирование, метод системной динамики, дискретно-событийный метод, социально-экономические процессы, прогнозирование

Введение

Любая территориальная система характеризуется огромным количеством агентов, между которыми возникают различные социально-экономические отношения. В настоящее время без компьютерного моделирования не представляется возможным в полной мере оценить все отношения, возникающие между агентами, и тем самым принимать грамотные управленческие и аналитические решения. Данную проблему решает имитационное моделирование. Имитационное моделирование позволяет прогнозировать, сравнивать и оптимизировать поведение агентов за очень короткое время без затрат и рисков, делая возможным представление различных процессов, ресурсов, продуктов и услуг в динамичной модели. С помощью компьютерного моделирования имитационная модель может учитывать сложные задачи и моделировать их, выполняя множество комбинаций за считанные секунды. Кроме того, взаимодействие ресурсов с агентами, продуктами и услугами с течением времени приводит к большому количеству сценариев и возможных результатов, которые невозможно охватить и

оценить без помощи компьютеризированной имитационной модели.

Теоретические подходы к методам имитационного моделирования

Под имитационным моделированием принято понимать инструмент, позволяющий проводить эксперименты с детальной моделью реальной системы и прогнозирующий процессы, как именно система будет реагировать на изменения в ее структуре или среде (Harrell, Tumaу, 1995). Моделирование позволяет экспериментировать с моделью, чтобы лучше понимать процессы, происходящие в организации либо территориальной системе, и на основе полученных данных принимать правильные управленческие и исследовательские решения (Harrington, Tumaу, 1999). Таким образом, имитационное моделирование — это моделирование существующей системы, относительно которой можно прогнозировать отношения между объектами и различными процессами во времени.

В основе теории моделирования лежит метод системной динамики, изначально базирующийся на теории сервомеханизмов, фундаментальной особенностью которой является

¹ © Красных С. С. Текст. 2020.

наличие в ней информационной обратной связи, т. е. при воздействии на определенную систему непрерывно получается информация о результатах принятых решений и полученная информация может служить для принятия дальнейших решений. Теория сервомеханизмов имеет две основные характеристики: метод обратной связи и изучение динамического поведения систем, которое являлось основой для зарождения такого понятия, как системная динамика. Эти идеи были применены при изучении социально-экономических процессов и нашли там свое отражение, так как отношения среди агентов в моделируемых средах значительно колеблются и зачастую бывают случайны (Belda, Grande, 2009. P. 38). Основателем данной теории принято считать Джея Форрестера, который в 1958 году сформулировал ее основные принципы. Одной из особенностей его подхода являлось то, что моделируемая система характеризуется определенными абстрактными признаками, позволяющими описывать отношения между различными ее элементами (Forrester, 1958). Также им был разработан первый язык моделирования, получивший название Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations (SIMPLE).

Главным недостатком метода системной динамики при моделировании социально-экономических процессов является низкая точность модели, и интерпретация результатов моделирования больше направлена на применение управленческих решений, так как данный метод отображает структуру и динамику исследуемых процессов, а не взаимоотношения между конкретными объектами.

Следующим этапом эволюции имитационного моделирования принято считать начало 1960-х годов, когда Джеффри Гордоном был спроектирован собственный язык для имитационного моделирования — General Purpose Simulation System (GPSS). Сущность его метода заключается в том, что при моделировании используются определенные объекты, которые взаимодействуют между собой через дискретные промежутки времени, в связи с чем его метод стали относить к дискретно-событийному (Gordon, 1961). Данный метод активно используется при моделировании процессов логистики, производства. Главным недостатком данного метода является то, что моделируемые процессы должны иметь иерархическую последовательность действий.

Развитие информационно-коммуникационных технологий в 1990-х годах способство-

вало становлению агент-ориентированного моделирования, которое используется для моделирования сложных систем. Объектами данных систем выступают агенты, которые имеют свои уникальные свойства, и данный метод позволяет моделировать сложные социально-экономические отношения между ними, учитывая взаимодействия разного типа — линейные, нелинейные, дискретные и т. д.

Главным преимуществом данного метода является то, что агенты способны перемещаться в пространстве и изменять свои свойства во времени. Исследователь может добавлять новых агентов в эксперимент и наблюдать за их взаимоотношениями.

Существуют также и иные виды имитационного моделирования, например, моделирование динамических систем, но данный метод используется сугубо в инженерных областях, так как переменные этого метода являются непрерывными и имеют «физическую природу» (сила, скорость, и т. д.).¹

Проанализировав основные виды имитационного моделирования, автор выделил основные преимущества и недостатки данных методов (табл. 1).

Таким образом, проанализировав теоретические подходы к методам имитационного моделирования, делаем вывод: наиболее подходящим методом для моделирования социально-экономических процессов в территориальных системах является агент-ориентированное моделирование, так как данный метод позволяет производить сложные эксперименты, включающие различные группы агентов, со своими свойствами, позволяет наблюдать в отдельности за отношениями выбранных агентов, учитывать пространственную составляющую, характеризующую территориальную систему.

Обзор существующих имитационных агент-ориентированных моделей

Одной из наиболее глобальных и интегральных агент-ориентированных моделей является Агентная модель европейской экономики (EURACE (Agent-based Computational Economics)). Данная модель была разработана в 2006 году, и в ее рамках представлены все страны Евросоюза. Все агенты данной модели связаны между собой посредством транспортных, деловых, социальных сетей. Каждый

¹ Моделирование динамических систем // Anylogic [Электронный ресурс]. URL: <https://help.anylogic.ru/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fsd%2FSystem+Dynamics+Modeling.html> (дата обращения 18.02.2020).

Таблица 1

Основные преимущества и недостатки методов имитационного моделирования социально-экономических процессов территориальных систем

Наименование метода	Преимущества	Недостатки
Метод системной динамики	Возможность использовать многоцелевые критерии при проведении исследования; Возможность проводить эксперимент, имея неполные данные; Полученная модель удобно и информативно интерпретируется (Лычкина, 2009. С. 59)	Данный метод лучшим образом интерпретирует структуру и динамику экономических процессов. Определенные отношения между объектами (агентами) он показать не способен
Дискретно-событийный метод	Возможность анализировать данные на каждом этапе эксперимента, а не только в конце моделирования; Хорошо подходит для моделирования бизнес-процессов, производства, логистики	Данный метод способен моделировать только те процессы, которым свойственна последовательность действий; Невозможно учитывать особенности действий агента, например, сложность работы
Агент-ориентированный подход	Возможность отображать истинные действия агентов, добавляя им соответствующие атрибуты; Возможность обучения агента; Агент может адаптироваться и менять свое поведение; Учитывается пространственная составляющая модели; Возможность изменения правил работы модели на любом этапе эксперимента (Фаттахов, Фаттахов, 2015. С. 49)	Сложность построения качественной модели, учитывающей все возможные отношения между агентами территориальной системы

объект имеет свою географическую привязку (Маковеев, 2016. С. 281). Модель воспроизводит большинство статистических закономерностей, которые характеризуют реальную экономику, например, распределение размеров фирм, распределение доходов и благосостояния, различные аспекты пространственной структуры человеческой деятельности.

Демографическая модель «Россия», разработанная В.Л. Макаровым, Е.Д. Сушко, А.Р. Бахтизиным (исследователи ЦЭМИ РАН), позволяет моделировать репродуктивное поведение людей. Люди-агенты в данной модели имеют определенные внутренние установки, которые характеризуются репродуктивными отношениями, а именно, количеством детей, которое пара готова родить, в каком возрасте и др. Из полученных результатов моделирования можно сделать вывод, что модель адекватно моделирует такие процессы, как: снижение общей численности населения территории, старение населения и увеличение доли пожилых людей¹.

¹ Общее описание демографической «Россия» // Лаборатория агентного моделирования [Электронный ресурс]. URL: <http://abm.center/publications/index.php?ID=278> (дата обращения 19.02.2020).

Региональная модель «Губернатор» также разработана сотрудниками ЦЭМИ РАН. Данная модель имитирует социально-экономическое положение региона и предназначена для апробации воздействий, связанных с бюджетным управлением региона. Модель включает в себя следующие элементы: демография, трудовой потенциал человека, поведение человека, производство, формирование и распределение бюджета. Апробация модели заключалась в проведении экспериментов на примере муниципальных районов и предприятий Вологодской области, и адекватность модели подтверждена экспериментами по имитации динамики состояния населения региона².

Демографическая модель Санкт-Петербурга воспроизводит естественное движение населения города, а также половую и возрастную структуру населения территории. Главной особенностью данной модели является то, что она позволяет оценивать критерии целевых программ. Так, в ходе данного эксперимента был оценен критерий «повышение уровня образования для всех слоев населения», закреп-

² Общее описание модели Вологодской области — «Губернатор» // Лаборатория агентного моделирования [Электронный ресурс]. URL: <http://abm.center/publications/index.php?ID=276> (дата обращения 19.02.2020).

Характеристика агент-ориентированных моделей, симулирующих социально-экономические процессы внутри территориальной системы

Название модели	Описание модели	Авторы
Агентная модель европейской экономики EURACE (Agent-based Computational Economics)	Данная модель включает в себя следующих агентов: фирмы, банки, домашние хозяйства. Существуют агенты-институты, например такие, как правительство, центральный банк. Взаимоотношения между агентами возникают на финансовых, трудовых, кредитных и иных рынках. Учитываются различные налоги и взносы (Маковеев, 2016. С. 281)	Дэвид Х., Жемков С., Хартинг Ф., и др.
Демографическая модель «Россия»	Модель симулирует репродуктивное поведение людей. Имитирует следующие действия: 1. Вымирание агентов; 2. Образование семейных пар; 3. Рождение детей. Существуют агенты двух типов, которые отличаются репродуктивными стратегиями (традиционная и современная)*	Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Сушко Е. Д.
Региональная модель «Губернатор»	Региональная модель «Губернатор» включает в себя: прогнозирование демографической ситуации региона и его муниципалитетов; модель трудового потенциала агента и его поведение на рынке труда; модель производства и формирования бюджета. В данной региональной модели представлены агенты-люди, которые имеют особые характеристики, такие как характер, профессиональные качества, психоэмоциональное состояние и т. д., которым свойственно определенное поведение. Существуют агенты-юридические лица и агенты-муниципалитеты**	Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Сушко Е. Д.
Демографическая модель Санкт-Петербурга	Модель воспроизводит естественное движение населения города, а также его половую и возрастную структуру. Существуют классы муниципальных районов, агентов-людей, детских образовательных организаций и проектов (муниципальных, региональных и федеральных)***	Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Макаров С. В., Наумов В. Н., Сушко Е. Д.

* Общее описание демографической России // Лаборатория агентного моделирования [Электронный ресурс]. URL: <http://abm.center/publications/index.php?ID=278> (дата обращения 19.02.2020 г.).

** Общее описание модели Вологодской области — «Губернатор» // Лаборатория агентного моделирования [Электронный ресурс]. URL: <http://abm.center/publications/index.php?ID=276> (дата обращения 19.02.2020).

*** Общее описание демографической модели Санкт-Петербурга — Social Petersburg // Лаборатория агентного моделирования [Электронный ресурс]. URL: <http://abm.center/publications/index.php?ID=283> (дата обращения 19.02.2020).

пленный в Стратегии экономического и социального развития города Санкт-Петербург на период до 2030 года¹.

В ходе анализа существующих агент-ориентированных моделей была проведена их систематизация по масштабу хозяйственных систем (табл. 2).

Проанализировав представленные агент-ориентированные отечественные и зарубежные модели, моделирующие социально-экономические процессы, можно сделать вывод, что агент-ориентированный подход позволяет имитировать системы любого уровня, начиная

от крупных интеграционных объединений и заканчивая локальными бизнес-процессами, происходящими на предприятии. Главным ограничением данного метода является необходимость сбора огромного массива данных, характеризующих агентов, а также определения социально-экономических отношений, возникающих в процессе взаимодействия между агентами и, соответственно, экспорта этих данных в предлагаемую модель.

Заключение

Таким образом, рассмотрев основные методы имитационного моделирования, можно отметить следующее.

Наиболее подходящим методом для моделирования социально-экономических процессов в территориальных системах является

¹ Общее описание демографической модели Санкт-Петербурга — Social Petersburg // Лаборатория агентного моделирования [Электронный ресурс]. URL: <http://abm.center/publications/index.php?ID=283> (дата обращения 19.02.2020).

агент-ориентированное моделирование, так как данный метод позволяет производить сложные эксперименты, включающие различные группы агентов, со своими свойствами, позволяет наблюдать в отдельности за отношениями выбранных агентов, учитывать пространственную составляющую, характеризующую территориальную систему.

Агент-ориентированный подход не лишен недостатков, главным из которых является необходимость сбора огромного количества данных, зачастую эти данные являются неформальными, такие как, например, харак-

тер, личные качества моделируемого агента. Решить данную проблему могут социологические опросы, но их проведение подразумевает большие временные и денежные затраты.

Обобщая вышесказанное, можно утверждать, что агент-ориентированный подход на современном этапе является одним из ключевых методов имитационного моделирования для прогнозирования социально-экономических процессов в территориальных системах, позволяющих воспроизводить и анализировать реальные процессы, протекающие в обществе и экономике.

Благодарность

Статья выполнена в рамках государственного задания для Института экономики УрО РАН на 2020–2021 гг.

Список источников

- Лычкина Н. Н.* Ретроспектива и перспектива системной динамики. Анализ динамики развития // Бизнес-информатика. — 2009. — № 3. — С. 55–67.
- Маковеев В. Н.* Применение агент-ориентированных моделей в анализе и прогнозировании социально-экономического развития территорий // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. — 2016. — № 5 (47). — С. 272–289. — DOI: 10.15838/esc.2016.5.47.15.
- Суслов В. И., Новикова Т. С., Цыплаков А. А.* Моделирование роли государства в пространственной агент-ориентированной модели // Экономика региона. — 2016. — № 3. — С. 951–965. — DOI: 10.17059/2016–3–28.
- Фаттахов Р. В., Фаттахов М. Р.* Ориентированный подход: новое средство получения знания // Региональная экономика: теория и практика. — 2015. — № 10 (385). — С. 47–62.
- Belda C., Grande E.* Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación // Encuentros multidisciplinares. — 2009. — Vol. 11. — No. 32. — P. 37–48.
- Forrester J.* Industrial Dynamics — A Major Breakthrough for Decision Makers // Harvard Business Review. — 1958. — Vol. 36. — No. 4. — P. 37–66.
- Gordon G.* General Purpose Systems Simulation Program // Proceedings of EJCC. — 1961. — Vol. 20. — P. 87–104.
- Harrell C., Tumay K.* Simulation Made Easy. A Manager's Guide: Norcross, GA: Industrial Engineering and Management Press, 1995. — 311 с.
- Harrington H., Tumay K.* Simulation modeling models: McGraw Hill New York. — USA. High Performance Systems, 1999. — 379.

Информация об авторе

Красных Сергей Сергеевич — младший научный сотрудник лаборатории моделирования пространственного развития территорий, Институт экономики УрО РАН (Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: sergeykrasnykh@yahoo.com).

For citation: Krasnykh, S. S. (2020). Simulation Modeling of Socio-Economic Processes in the Territorial Systems. Zhurnal Ekonomicheskoy Teorii [Russian Journal of Economic Theory], 17 (2), 503-508

Krasnykh S. S.

Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
(Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: sergeykrasnykh@yahoo.com)

Simulation Modeling of Socio-Economic Processes in the Territorial Systems

Simulation modeling is one of the main tools which enable to model socio-economic relations within territorial systems and make managerial and other decisions in business processes, is able to predict various processes in the economy and society. The instrument's essence lies in approbation of a real model in the computer simulation. The modern development of information and communication technologies allows to model almost any socio-economic process. In this connection, the purpose of this work is to analyze theoretical approaches to the essence of simulation at the present stage, as well as to evaluate methods of simulation when forecasting socio-economic processes in territorial systems.

During the study, we have analyzed the evolution of the development of the simulation modeling methods, identified advantages and disadvantages. We review the simulation agent-based models, which create the socio-economic processes of territorial systems. We found out that the agent-oriented approach is the most optimal method of simulation of socio-economic processes in territorial systems.

Keywords: simulation modeling, agent-based modeling, system dynamics method, discrete event method, socio-economic processes, forecasting

Acknowledgments

The article has been prepared in the framework of a state assignment for the Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for 2020–2021.

References

Lychkina, N. N. (2009). Retrospektiva i perspektiva sistemnoy dinamiki. Analiz dinamiki razvitiya [Retrospective and perspectives of system dynamics. Analysis of Dynamics of the SD Development]. *Biznes-informatika [Business Informatics]*, 3, 55–67. (In Russ.)

Makoveev, V. N. (2016). Primenenie agent-orientirovannykh modeley v analize i prognozirovanii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya territoriy [Using Agent-Based Models in the Analysis and Forecast of Socio-Economic Development of Territories]. *Ekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz [Economic and social changes: facts, trends, forecast]*, 5(47), 272–289. DOI: 10.15838/esc.2016.5.47.15. (In Russ.)

Suslov, V. I., Novikova, T. S., & Tsyplakov, A. A. (2016). Modelirovanie roli gosudarstva v prostranstvennoy agent-orientirovannoy modeli [Simulation of the Role of Government in Spatial Agent-Based Model]. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 3, 951–965. DOI: 10.17059/2016–3-28. (In Russ.)

Fattakhov, R. V., & Fattakhov, M. R. (2015). Orientirovanny podkhod: novoe sredstvo polucheniya znaniya [Agent-oriented approach as a new way of obtaining knowledge]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika [Regional economics: theory and practice.]*, 10(385), 47–62. (In Russ.)

Belda, C., & Grande E. (2009). Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación. *Encuentros multidisciplinares*, 32(11), 37–48.

Forrester, J. W. (1958). Industrial Dynamics — A Major Breakthrough for Decision Makers. *Harvard Business Review*, 36(4), 37–66.

Gordon, G. A. (1961). General Purpose Systems Simulation Program. *Proceedings of EJCC*, 20, 87–104.

Harrell, C., & Tumay, K. (1995). *Simulation Made Easy. A Manager's Guide*. Norcross, GA: Industrial Engineering and Management Press, 311.

Harrington, H. J. & Tumay, K. (1999). *Simulation modeling models*. New York: High Performance Systems, 379.

Author

Sergey Sergeevich Krasnykh — Junior Research Associate, Spatial Development Modeling Laboratory of Territories, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: sergeykrasnykh@yahoo.com).