



Artificial societies. 2013-2020

ISSN 2077-5180

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

All right reserved

Issue 4 Volume 13. 2018

Agent based and simulation modeling: prospects in the field of information technology and implementation in the economy

V. Abramov

CEMI RAS

Moscow, 117418, Nakhimovski prospect, 47

Abstract

This paper is devoted to the analysis of integration of simulation into economic science, from 1969 to 2004, Initially the simulation performed the task of finding numerical solutions to complex mathematical models. However, with the development of more complex and powerful programming languages, the scope of simulation has greatly expanded. In most of the literature on this subject simulation is perceived as a special method of creation and development of scientific theories. With the most advanced methods (for example, agent-based modeling) it is possible to obtain their content, and at the same time a strict description, which can not be achieved with the help of mathematical and verbal modeling. However, the possibility of combining methods, the recent emergence of simulation as a methodology, as well as a variety of methods creates some difficulties in the analysis of literature on the topic in terms of determining the role and potential of the use of simulation in economic research.

Keywords list (en): agent-based modeling, simulation modeling, information technologies

Date of publication: 08.11.2018

Citation link:

Abramov V. Agent based and simulation modeling: prospects in the field of information technology and implementation in the economy // Artificial societies. 2018. V. 13. Issue 4 [Electronic resource]. Access for registered users. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800000140-3-1/> (circulation date: 24.01.2020). DOI: 10.18254/S0000140-3-1

1 Имитационное, а также агент-ориентированное моделирование является молодым и перспективным подходом для анализа сложных систем. С развитием компьютерных технологий все чаще применяются методы имитационного моделирования (далее – ИМ). Данная статья посвящена анализу эволюции исследований и коммуникации между учеными, занятыми в этой области. Для исследования степени интеграции имитационного моделирования в экономическую науку были проанализированы публикации по данной тематике, включенные в базу EconLit (The American Economic Association’s electronic bibliography) в период с 1969 по 2004 г. Особое внимание в работах было уделено аннотациям, а также ссылкам и цитатам как способам привлечения читателей, т.е. обеспечивающих диффузию знаний о имитационном моделировании в общество. В соответствии с классификацией [1], модели можно разделить на:

- 2 • модели системной динамики;
 • микромоделирование;
 • дискретно-событийные модели;
 • многоуровневые модели;
 • агент-ориентированные вычислительные модели;
 • обучающиеся системы (нейронные сети, генетические алгоритмы, системы классификаторов и т. д.).

3 Изначально имитационное моделирование выполняло задачи нахождения численного решения сложных математических моделей [2]. Однако, с развитием более сложных и мощных языков программирования, область применения ИМ сильно расширилась. Стало возможным моделирование диффузии новых экономических теорий с высокой степенью описания результатов. Однако степень детализации является неоднородным параметром. Поэтому важно понимать различия между моделированием, расширяющим возможности математического моделирования и статистического анализа, и моделированием, создающим самостоятельную теорию или концепцию. Кроме того, рассматривая моделирование в качестве автономного способа проведения исследования, следует учитывать, что каждая отдельная методика подразумевает разные взгляды на функционирование моделируемых явлений [3, 4].

4 В приведенной ниже таблице приведены основные свойства методов моделирования в соответствии с классификацией.

5 **Таблица 1 Особенности теоретических методов имитационного моделирования**

6

Метод	Описательная способность	Аналитическая база	Преимущества перед аналитическими методами	Взаимодействие между агентами	Сложность агентов	Количество агентов
Системная динамика	высокая	Дифференциальные уравнения	Дискретное время, разрывные нелинейные функции	Нет	Низкая	Один
Микромоделирование	низкая	Математическое решение существует только для простейших случаев	Покрывает весь диапазон распределений вероятностей	Нет	Высокая	множество
Дискретно-событийные модели	низкая	Математическое решение существует только для простейших случаев	Покрывает весь диапазон распределений вероятностей	Нет	Низкая	Множество
Многоуровневое моделирование	высокая	Математическое решение существует только для простейших случаев	Основывается на индивидуальных вероятностях перехода	Да	Низкая	Множество
Агент-ориентированное моделирование	высокая	Возможность изучения только в компьютерной среде	Детализация до уровня отдельных агентов	Да	Низкая или высокая	Множество
Обучающиеся системы	высокая	Возможность изучения только в компьютерной среде	Способность приспособления к изменениям среды в модели	возможно	высокая	Множество

7 Системная динамика [5], родоначальником которой является кибернетика [6],

стремится заменить линейную концепцию причинности круговой. Система является целостной, и ее динамика выражается через уровень и темпы.

8 Дискретное моделирование событий (например, порядковые модели) имеет схожую концепцию. При помощи такого метода предпринимаются попытки моделирования динамики системы в условиях дискретного времени. Каждый элемент системы имеет активность, и изменяет свое состояние в зависимости от времени.

9 Предпосылкой создания такого метода, как микромоделирование [7], являлось неудовлетворительное качество сбора и интерпретации экономических данных, в будущем используемых в политических целях. Важным фактором в политике является учет особенностей разных групп населения (например, пол, возраст, доход и т. д.). Метод позволяет выявлять экономические факты с высокой детализацией поведения индивидов, которые в значительной степени зависят от характеристик микро-единиц и способа моделирования. Микромоделирование генерирует гипотетические панельные данные, в которых характеристика каждой единицы данного населения определяется из заранее определенного набора вероятностей перехода. Однако, микромоделирование, позволяющее создавать инновационные событийные модели на уровне индивидов с учетом неоднородности поведения людей, не показывает фактического взаимодействия, и не имеет основополагающей теории наблюдаемых явлений.

10 Многоуровневое моделирование имеет общие черты с микромоделированием, однако в данном методе вводятся косвенные взаимодействия, имитирующие взаимодействия всего населения.

11 Агент-ориентированные модели (далее – АОМ) создают новые теории с децентрализованным взаимодействием. Исследования, осуществляемые при помощи АОМ, позволяют интерпретировать экономические явления с учетом самостоятельности агентов. При этом критике подвергается идея экономических агентов, действующих абсолютно рационально.

12 Наконец, обучающиеся системы были заимствованы из биологических [8] и сетевых [9] систем. При помощи таких систем можно создавать структуры, способные приспосабливаться к изменениям среды в модели.

13 Тенденция стремительного увеличения количества опубликованных работ (более чем в 6 раз) в области ИМ прослеживается с 1989 по 1996 гг. Это связано с увеличением неудовлетворенности качеством результатов стандартных методов классического моделирования в 90-х гг. В то же время, стоимость компьютерных вычислений стала быстро сокращаться.

14 В анализируемый период наиболее активное использование ИМ прослеживается в государственном, промышленном и финансовом секторах; самые низкие показатели наблюдаются в сфере экономического роста и интернациональной экономики. С точки зрения методов, системная динамика в основном используется в экономике государственного и промышленного секторов, а также в стратегическом анализе; микромоделирование особенно интегрировано в исследованиях государственного сектора. Обучающиеся системы представлены практически во всех секторах, причем особенно активно используются в форме нейронных сетей в промышленности, финансах и теории потребительского выбора. Дискретно-событийное моделирование встречается практически в одинаковом количестве в государственном и промышленном секторах, городской экономике и в остаточной категории. Наконец, АОМ используется в теории потребительского выбора, промышленном производстве, государственном секторе и демографии.

15 Стоит помнить, что, не смотря на активную интеграцию ИМ в экономику, теории по-прежнему являются сильно ограниченными. Только статистические и эконометрические методы имеют возможность тестирования и верификации ими теорий, смоделированных при помощи традиционной методологии. Именно поэтому ИМ все еще занимает малую долю в экономических исследованиях.

16 При сравнении уместности использования различных методов ИМ выясняется, что самыми успешными являются модели, способные к обучению. Однако часто интерпретация полученной информации является спорной. С одной стороны, некоторые видят в генетических алгоритмах и нейронных сетях альтернативу моделям с парадигмой абсолютной рациональности агентов и поэтому делают вывод, что их активное распространение свидетельствует об устаревании такого типа экономического агента, как человека экономического (*homo economicus*). С другой стороны, обучающиеся системы часто используются в задачах оптимизации с различными условиями, а поэтому имеют право включаться в передовое развитие экономической теории.

17 В таблице 2 приведена относительная значимость методов, подразумевающих теоретическое использование ИМ. В общей сложности 6 перечисленных методов отвечает за 17% исследований, а в категории "статистика, эконометрика и численные решения" и "необъяснимые системы", для которой невозможно определить вид использованных методов ИМ - соответствует 39% и 44% исследований соответственно.

18 **Таблица 2 Количество теоретических ИМ, используемых в исследованиях.**

Метод ИМ	Доля (в %)
Системная динамика	6%
Микромоделирование	23%
Дискретно-событийное моделирование	5%
Многоуровневое моделирование	1%
АОМ	18%
Обучающиеся системы	47%

19 После анализа внедрения ИМ в экономику следует перейти к вопросу передачи знаний внутри научного сообщества. Данный вопрос очень важен ввиду сложности методов ИМ. Часто возникают ситуации, когда в опубликованной работе невозможно выяснить, какие методы и источники были использованы. Таким образом, вводится понятие «необъясненности» в таких работах. Как видно из таблицы 3, обнаруживается, что доля необъясненного в работах становится все меньше на протяжении времени.

20 **Таблица 3 Доля необъясненного по годам (1969-2004)**

Годы	Доля необъясненного (в %)
1969-74	69%
1975-80	75%
1981-86	58%
1987-92	51%
1993-98	44%
1999-04	35%

21 Тем не менее, такой тренд подтверждается лишь на временном промежутке с 1987 по 2004 гг., а поэтому нуждается в дальнейшей проверке.

22 Таблица 4 отражает долю объясненного в работах с точки зрения секторальной группировки. Секторы при этом разделены по важности в экономике. Самой приоритетной и объясненной областью являются количественные методы. История не считается сектором, так как в этой категории отсутствует методологическая составляющая. Тем не менее, история была включена в таблицу, так как большинство статистических и эконометрических публикаций (которые составляют 39% всех наблюдений) были использованы именно в этой категории.

23 **Таблица 4 Степень объясненности работ и относительна важность секторов в экономике**

Сектор		Степень объясненности	Количество публикаций	Важность (в %)
Количественные методы	Хорошо объясненные	98%	1821	25%
Финансы		54%	610	8%
Теория потребления		53%	295	4%
Налоговая и валютная политика		47%	617	8%
Городской и региональный уровень		43%	175	2%
Рост		42%	168	2%
экономика государственного хозяйствования		42%	413	6%
Потоки	Средне объясненные	42%	81	1%
Государственная политика		41%	379	5%
экономика народонаселения		40%	135	2%
Бухгалтерский учет		38%	590	8%
Труд		37%	221	3%
НТП		36%	48	1%
Глобализация		33%	354	5%
Образование		33%	53	1%
Экономика внешней среды		32%	282	4%
Медицина		31%	140	2%
Другое	Плохо объясненные	27%	499	7%
Агропромышленность		26%	334	5%
Развитие		12%	10	0%
История		11%	35	0%

24 Приведенные выше данные подтверждают предположение [1], согласно которому наличие однородной терминологии у ученых существенно облегчает их коммуникацию. Стоит отметить, что доля объясненных работ практически всегда не превышает порога в 50%. Кроме того, среди наиболее объясненных секторов в наибольшей степени представлены АОМ.

25 Высокая доля необъясненных работ может также объясняться их дифференциацией. Необходимость объяснения работ может возникнуть при их размещении в СМИ. К примеру, достаточно хотя бы приводить журнал, где была опубликована статья, или издательство, в котором была издана книга или серия книг по данной тематике. В таком случае информация начнет циркулировать через такие неофициальные каналы, как репутация источника, и будет представлена общественности более структурированно. Таблица 5 отражает распределение статей в разных источниках.

Источник	Количество работ	Объясненность (в %)	Доля работ без эконометрики и статистики	Доля работ с АОМ
Статьи	63%	60%	63%	48%
Working Paper	23%	25%	18%	13%
Сборники статей	9%	9%	12%	8%
Книги	5%	5%	7%	29%
Диссертации	1%	2%	1%	1%
Всего	100%	100%	100%	100%

27 Большинство публикаций, даже если исключить работы с эконометрическими и статистическими методами, были изданы в журналах, причем такая же тенденция сохраняется и для работ, где использовано несколько методов. К примеру, в последнем столбце приведены цифры по АОМ (224 работы). Можно сказать, что публикации в основном циркулируют в виде статей. Для точности также была проанализирована доля необъясненности во всех работах по типам источников (см. таблицу ниже).

28 *Таблица 6 Доля необъясненности в работах, распределенных по источникам*

Источник	Доля необъясненности
Статья	50%
Книга	48%
Сборник статей	50%
Working paper	84%
Диссертации	58%

29 В таблице видно, что результат незначительно меняется при подобном распределении (исключая working paper), поэтому можно сказать, что в среднем предпочтения авторов не оказывают сильного влияния на результат.

30 Необходимо также проверить, являются ли журналы узкоспециализированными или предназначены для широкого круга читателей. В первом случае данные из таблицы 6 не будут иметь корреляции между источником публикации и предпочтениями авторов. Для проверки была рассчитана степень влияния работ на науку при помощи специального индекса [10]. Таблица 7 демонстрирует долю статей о ИМ первых 80 позиций рейтинга степени влияния.

31 *Таблица 7 Доля работ в первых позициях рейтинга значимости*

Рейтинг	Доля работ
1-10	2%
11-20	3%
21-30	4%
31-40	5%
41-50	3%
51-60	3%
61-70	2%
71-80	2%

32 Из проведенного в работе анализа вытекает 2 вывода. В большинстве литературных источников по исследуемой тематике ИМ воспринимается как особый метод создания и развития научных теорий. С наиболее продвинутыми методами (например, АОМ) возможно

получать их содержательное, и в то же время строгое описание, которого невозможно достичь с помощью математического и вербального моделирования. Однако, возможность сочетания методов, недавнее возникновение ИМ как методологии и многообразии методов делает литературу по соответствующей теме довольно невнятной и смутной с точки зрения доказательства важной роли и большого потенциала ИМ.

33 В области экономики эта ситуация часто усугубляется привычкой авторов не раскрывать свой способ моделирования. Касательно теоретического аспекта, ведущие экономисты направили свои силы на доказательство теорем и нахождение условий равновесия. В такой ситуации ИМ с его экспериментальным уклоном является недостаточно строгим в связи с активным внедрением математики в экономическую теорию. ИМ в большинстве случаев предлагает объяснение исследуемого феномена в экономике на «языке» чисел и графиков. Необходимость регулирования и измерения часто приводит к утрате реалистичности и применимости модели. Особый вклад в решение этой проблемы внес Деидре МакКлоски [11, 12]. В качестве аргумента в пользу необходимости использования ИМ в экономике он приводил микромоделирование. С точки зрения истории экономической мысли [13], ученый обращал внимание на тот факт, что особенно эффективно укрепляются модели, заимствованные из физики (нейронные сети и т. п.). Наконец, ИМ является «путеводной нитью», связывающей большую часть работ, имеющих дело с парадигмой сложных адаптивных систем [14]. Это является особенно важным обстоятельством, так как интерпретация экономических явлений с точки зрения децентрализации и неоднородности приводит к нелинейности, не поддающейся объяснению при помощи традиционных аналитических инструментов.

References:

1. R. Axelrod, "Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences" // *Simulating Social Phenomena, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Berlin, Springer - Verlag., 1997, стр. 21-40.
2. N. Gilbert, K.G. Troitzsch, "Simulation for the Social Scientist" / Buckingham, OpenUniversity Press, 1999.
3. J.M. Epstein, "Agent-based Computational Models and Generative Social Science" // *Complexity*, 9, 4, 1999, стр. 41-60.
4. J.M. Epstein, R. Axtell, *Growing Artificial Societies* / Cambridge (Mass.), MIT Press 1999.
5. J.W. Forrester, "Industrial Dynamics - A Major Breakthrough for Decision Makers" // *Harvard Business Review*, 36(4), 1958, стр. 37-66.
6. N. Wiener, *I am a Mathematician* / New York, Doubleday, 1956
7. G.H. Orcutt, "A New Type of Socio-Economic System" // *Review of Economics and Statistics*, 58, 1957, стр. 773-97.
8. J.H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems* / Ann Arbor, University of Michigan Press, 1975.
9. J. McClelland, D. Rumelhart, *Parallel Distributed Processing* / Cambridge, Harvard University Press, 1986.

10. P. Kalaitzidakis, T. Mamuneas, T. Stengos T, "Ranking of Academic Journals and Institutions in Economics" // Journal of the European Economic Association, 1, 2003, стр. 1346-1366.
11. D. McCloskey, *The Rhetoric of Economics* / Wisconsin, University of Wisconsin Press, 1985.
12. D. McCloskey D, "Simulating Barbara" // Feminist Economics, 4(3), 1998, стр. 181-186.
13. D. Colander, "The Complexity Revolution and The Future of Economics" / Middlebury College Discussion Paper, No. 03/19, 2003.
14. M. Fontana, *Simulation in Economics: Evidence on Diffusion and Communication* // Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 9(2)8, 2006.

Агент-ориентированное и имитационное моделирование: внедрение в экономику и коммуникация между учеными, занятыми в данной области

Абрамов В. И.

ЦЭМИ РАН

Москва, 117418, Нахимовский пр-т, д. 47

Аннотация

Работа посвящена анализу интеграции имитационного моделирования в экономическую науку в период с 1969 по 2004 гг. Изначально имитационное моделирование выполняло задачи нахождения численного решения сложных математических моделей. Однако, с развитием более сложных и мощных языков программирования, область применения имитационного моделирования сильно расширилась. В большинстве литературных источников по данной тематике имитационное моделирование воспринимается как особый метод создания и развития научных теорий. С наиболее продвинутыми методами (например, агент-ориентированное моделирование) возможно получать их содержательное, и в то же время строгое описание, которого невозможно достичь с помощью математического и вербального моделирования. Однако, возможность сочетания методов, недавнее возникновение имитационного моделирования как методологии, а также многообразие методов создает определенные трудности при анализе литературных источников по соответствующей теме с точки зрения определения роли и потенциала применения имитационного моделирования в экономических исследованиях.

Ключевые слова: агент-ориентированное моделирование, имитационное моделирование, информационные технологии

Дата публикации: 08.11.2018

Ссылка для цитирования:

Абрамов В. И. Агент-ориентированное и имитационное моделирование: внедрение в экономику и коммуникация между учеными, занятыми в данной области // Искусственные общества. 2018. Т. 13. Выпуск 4 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800000140-3-1/> (дата обращения: 24.01.2020). DOI: 10.18254/S0000140-3-1