



УДК 338.27

Агент-ориентированная модель совершенной экономики

А. Н. Неверов, Ф. С. Голубев, М. А. Каткова

Неверов Александр Николаевич, доктор экономических наук, профессор, Лаборатория экономического поведения Центра психолого-экономических исследований, Поволжский институт управления имени П. А. Столыпина – филиал РАНХиГС при Президенте РФ, Саратов, neverov@ipei.ru

Голубев Федор Сергеевич, младший научный сотрудник Лаборатория экономического поведения Центра психолого-экономических исследований, Поволжский институт управления имени П. А. Столыпина – филиал РАНХиГС при Президенте РФ, Саратов, golubev@ipei.ru

Каткова Марина Андреевна, кандидат экономических наук, доцент, mkatkova@mail.ru

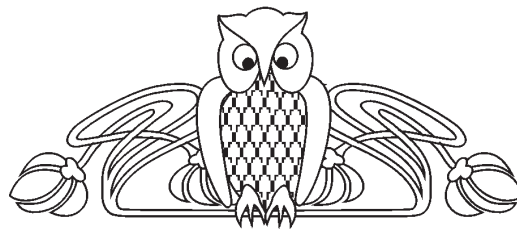
Введение. Современная экономическая теория в значительной степени строится на базе выдвижения в качестве нормативной или абстрактной модели концепции рыночного равновесия. Актуальны задачи эмпирической или экспериментальной проверки эффективности модели совершенной экономики с позиции ее реального функционирования. **Теоретический анализ.** Агент-ориентированное моделирование позволяет создать вычислительный инструмент, который характеризуется количеством агентов, их свойствами и свойствами их взаимодействия, все это позволяет проводить различные симуляции реальных явлений, тестируя при этом теоретические аспекты. Метод реализуется через взаимодействия агентов в сконструированной среде. **Эмпирический анализ.** Модель включает в себя три действующих агента – «Покупатель», «Продавец», «Рынок». Агенты действуют рационально согласно неоклассической экономической теории. Логика работы модели основывается на принципах работы психолого-экономического тренажера «Совершенная экономика», разработанного в Центре психолого-экономических исследований. Агент-ориентированная модель построена с использованием программной среды AnyLogic и представляет собой симуляцию теоретической модели «Совершенная экономика», принятой в неоклассической экономической теории. **Результаты.** Имитационная агент-ориентированная модель представляет собой реализацию теоретической модели неоклассической экономической теории в специально сконструированных идеальных условиях, что позволяет проверить параметры функционирования совершенной экономики с абсолютно рациональными агентами.

Ключевые слова: агент-ориентированная модель, неоклассическая экономическая теория, экономический агент, модель принятия экономических решений.

Поступила в редакцию: 15.04.2020 / Принята: 15.05.2020 / Опубликовано: 31.08.2020

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

DOI: <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2020-20-3-266-270>



Введение

Наука как сфера человеческой деятельности изначально строится на базовых логических постулатах, позволяющих получать принципиально новое знание. Экономическая теория не исключение. Исходя из практической задачи, которую бизнес и государственное управление ставили и ставят перед учеными-экономистами, главным для экономических теорий выступает возможность предсказания реальных изменений при заданных (или известных) стартовых условиях и известных закономерностях и факторах [1]. Методологически необходимой для прогнозирования выступает выработка общей модели изучаемой системы, которая бы содержала в себе основные законы и закономерности и одновременно с этим была достаточно проста для анализа.

Методологией науки выработан целый ряд принципов, позволяющих реализовать вышеуказанные задачи с научно обоснованных позиций [2]. В практике научных исследований экономическая наука чаще всего используют построение нормативных и позитивных моделей, разница между которыми задает направление для корректировки практических мер и действий в тактическом и стратегическом планах, а также работу на максимально доступном уровне абстракции.

В данном случае под нормативной моделью мы понимаем модель, которая выступает ориентиром для сравнения реально существующих моделей экономических систем (т.е. позитивных моделей). Абстрактная модель – это модель, которая очищена, в целях упрощения, от действия несущественных и преходящих (ситуативных) факторов, что позволяет на ее основе изучать особенности той или иной реальной социально-экономической системы.

Современная экономическая теория в значительной степени строится на базе выдвижения в качестве нормативной или абстрактной модели концепции рыночного равновесия. В наиболее явной форме данная модель представлена как модель совершенной экономики (А. Смит, Ф. Эджуорт, Л. Вальрас, А. Маршалл, Е. Е. Слуцкий, В. Парето, П. Самуэльсон и др.). Сегодня она выступает основой для всех курсов



микроэкономики на всех уровнях экономического образования. В то же время при изучении совершенной экономики указывается на то, что в реальной экономике ее параметры фактически не достижимы, и на практике можно наблюдать только различного рода приближения к ней.

Постулаты и принципы модели были первоначально выведены логическими методами из наблюдений, а затем, начиная со второй половины XIX в., формализованы с помощью математического аппарата. Эмпирической проверке в классическом виде она не подвергалась и подвергнуться не могла в силу абстрактного характера. Однако по мере того как совершенная экономика становилась все более фундаментальной для экономического знания, рос и ее нормативный статус.

В современной политике и экспертной аналитической мысли представлено целое направление, в РФ называемое либерально-экономическим, а в США представленное консервативной партией, которое считает оптимальной только экономическую систему, максимально приближенную к модели совершенной экономики.

В этой связи встает задача эмпирической или экспериментальной проверки эффективности модели совершенной экономики с позиции ее реального функционирования. Поскольку проведение полевых исследований ее работы требует первоначальной реализации модели на практике, что пока сделано не было, то остается только метод лабораторного или симуляционного эксперимента.

Теоретический анализ

В последние годы за счет развития вычислительных мощностей современных компьютеров и особенно с появлением суперкомпьютеров появилась возможность построения симуляционных моделей, включающих в себя множество акторов. Одним из наиболее перспективных методов, которые позволяют выходить на подобные модели, выступает метод мультиагентного или агент-ориентированного моделирования (АОМ). Основная идея АОМ – это создание вычислительного инструмента, который характеризуется количеством агентов, их свойствами и свойствами их взаимодействия; все это позволяет проводить различные симуляции реальных явлений, тестируя при этом теоретические аспекты [3]. Метод реализуется через взаимодействия агентов в сконструированной среде.

По мнению ведущих российских специалистов в данной сфере академика РАН В. Л. Макарова и чл.-корр. РАН А. Р. Бахтизина, началом

агент-ориентированного подхода можно считать 1940-е гг. и работы Джона фон Неймана, предложившего использовать машину для создания самой себя [4], поскольку машина воспроизводит агентов, действующих по заданному алгоритму с помощью программного кода. Под агентом в самом общем виде при этом понимается единица, автономно принимающая решение [5]. Результатом взаимодействия агентов между собой является среда.

Основное отличие мультиагентного моделирования, которое отмечают в своих работах сотрудники ЦЭМИ РАН, заключается в выстраивании взаимодействия агентов на микроуровне для получения результата на макроуровне. В этом смысле реализуются постулаты теории конфликта и взаимодействия, сформулированные в 1950-е гг. в США Т. Шеллингом [6]. К ключевым особенностям данного подхода можно отнести объединение преимуществ других подходов (описание поведения агентов через дискретно-событийное моделирование или когнитивное картирование, дифференциальные уравнения для расчетов, проводимых агентами, привязка к ГИС, возможность учета разноуровневых агентов), что в работах сотрудников ЦЭМИ РАН представлено как переход от мономоделей к мультимоделям, а также как системное представление взаимодействия агентов [3]. На основе данного подхода, например, рассматривая сценарии развития экономики РФ, можно прогнозировать не только макроэкономические показатели, но и отклик экономических агентов различного уровня (государство, фирмы, домохозяйства, индивидуальные агенты) на изменения среды, что позволяет поставить задачу «вернуть» экономику к человеку и в самое ближайшее время реализовать то, о чем часто говорят государственные деятели: реальный рост благосостояния населения. Стоит отметить, что поведение агентов не всегда статично, а может предусматривать эволюцию поведения агентов ввиду накопленного опыта.

Исходя из возможностей данного метода, нами была поставлена задача построения агент-ориентированной модели совершенной экономики, которая должна симулировать основные принципы функционирования реальных экономических агентов в социально-экономической системе, соответствующей заданным теорией параметрам. В качестве среды для реализации модели была выбрана программная среда AnyLogic, выступающая одним из основных инструментов, которым пользуются разработчики при построении агент-ориентированных моделей.



Эмпирический анализ

Агент-ориентированная модель совершенной экономики исходит из существования в экономической системе двух типов агентов: фирм, выступающих в качестве продавцов товаров и услуг; домохозяйств, выступающих в качестве покупателей. Взаимодействие между данными типами агентов должно быть выражено в качестве обмена. В связи с этим модель предполагает наличие рынка как дизайнера обмена; среды, в которой осуществляется физическое движение благ, в том числе их генерация и потребление, две популяции индивидуальных экономических агентов – продавцы и покупатели и экономические блага. Сами блага подразделяются на: а) товары первой необходимости; б) товары повседневного спроса; в) товары длительного пользования; г) товары престижного потребления; д) товары, относящиеся к роскоши; е) деньги, как отдельное благо, выступающее в качестве всеобщего эквивалента. Основным верификатором для модели и показателем ее теоретической и эмпирической валидности является ее соответствие неоклассической экономической теории.

Построенная модель представляет собой воплощение теоретической модели неоклассической экономической теории, в которой агенты поступают рационально, государство не представлено, поскольку взаимодействие регулируется «невидимой рукой рынка». Принцип «невидимой руки», в полном соответствии с постулатами неоклассики, реализуется через законы спроса и предложения, взятые в рамках долгосрочного периода. Последнее означает, что в конце каждого кругооборота товаров объем спроса и предложения будет уравновешен либо за счет роста производства, либо за счет выхода новых агентов на рынок (уход избыточных агентов с рынка), либо за счет экспорта и импорта.

Результаты

Модель включает в себя: а) среду, в которой отражаются решения агентов, далее «Склад»; б) агент «Рынок», который является координатором механизма взаимодействия индивидуальных агентов через механизм цен; в) два типа экономических агентов, которые принимают решения о покупке и продаже товаров, «Покупатель» и «Продавец».

В модели была реализована следующая иерархия: Склад – Рынок – Экономический агент (рисунок).

Экономические агенты принимают решения руководствуясь следующей логической схемой.

1. Сортировка предметов внутреннего рынка согласно закону выявленных предпочтений



Иерархия агентов модели
Hierarchy of agents in the model

(П. Самуэльсон). Тогда для ситуации покупки предпочтения будут использованы от минимального значения к максимальному, а для ситуации продажи, наоборот, от максимального значения к минимальному.

2. Расчет средней (прогнозируемой) цены, опираясь на три предыдущие итерации, согласно которой агент будет выстраивать коэффициенты для покупки и продажи:

$$P_{avg} = \frac{P_{n-3} + P_{n-2} + P_{n-1}}{3}$$

3. Расчет коэффициента покупки и/или продажи по каждому товару:

$$p_k = \frac{P_{avg(k)}}{P_{0(k)}}$$

где k – товар, $P_{avg(k)}$ – средняя цена товара k по каждой итерации, $P_{0(k)}$ – равновесная цена товара k .

4. Решение покупки и/или продажи исходя из условия по каждому товару.

4.1. Если $p_k < 1$, то купить на сумму $Q_m * (1 - p_k)$ в зависимости от предпочтений, выявленных на первом шаге.

4.2. Если $p_k = 1$, то агент должен продать и купить по одной единице товара k .

4.3. Если $p_k > 1$, то продать в количестве p_k с округлением в меньшую сторону, причем если $p_k > Q_k$, максимальным может быть только число, равное числу товаров, имеющихся у агента. Продажа также осуществляется согласно выявленным предпочтениям.

5. Отправить данные на обработку агенту «Рынок».

6. Получить цену P_n от агента «Рынок».

7. Завершить покупку и/или продажу и провести перерасчет купленных и/или проданных товаров по цене P_n (отдать и/или принять товары, включая зависимый товар-деньги).



Для «Экономического агента» такими переменными являются:

- количество товара по каждой товарной группе;
- количество денег;
- маркер товара;
- средняя цена;
- коэффициент покупки и/или продажи;
- количество товаров для покупки и/или продажи.

Агент «Рынок», в свою очередь, является регулятором экономических отношений между агентами. В его задачи входит выработка информации для работы других агентов, контроль работы агентов в среде. Агент «Рынок» работает по следующей логической схеме:

- 1) проверить «жизнеспособность» экономических агентов;
- 2) отправить «жизнеспособным» агентам сообщение о начале работы итерации;
- 3) по получению сообщения от экономических агентов рассчитать цену итерации;
- 4) отправить экономическим агентам информацию о цене итерации;
- 5) ожидать до завершения перемещения товаров между агентами рынка.

Переменными составляющими, которые характеризуют агента «Рынок», являются:

- равновесная цена по каждой товарной группе;
- цена итерации по каждой товарной группе;
- суммарный спрос по каждой товарной группе;
- суммарное предложение по каждой товарной группе.

Результатом взаимодействия и визуальным отражением принятых решений всех агентов является «Склад», который представляет собой набор накопителей и потоков, что, в свою очередь, моделирует процесс движения товаров на рынке.

Для «Склада» переменными являются:

- количество товара, который покупают и продают агенты по каждому из экономических благ, как отдельный субъект рыночных отношений;
- количество товара, поступающего от экспорта и уходящего на импорт по каждому из экономических благ.

Экономические агенты, «Покупатель» и «Продавец», могут и покупать, и продавать, они обозначены такими именами строго из-за ограничений стартовых условий: «Покупатель» на момент начала работы модели имеет только денежные средства в размере n , «Продавец» имеет только товары на сумму m . Остановка модели происходит в момент остановки принятия решений или в момент «смерти» одного из агентов.

Стартовые условия модели могут варьироваться по разным соотношениям m и n , что позволяет моделировать влияние различных соотношений сил спроса и предложения.

Таким образом, имитационная агент-ориентированная модель представляет собой реализацию теоретической модели неоклассической экономической теории в специально сконструированных идеальных условиях, что позволяет проверить параметры функционирования совершенной экономики с абсолютно рациональными агентами. Таким образом, создаются условия для проведения симуляционных экспериментов граничных условий функционирования совершенной экономики и оценки эффективности каждого из режимов ее работы.

В перспективе это позволит выйти на выделение слабых и сильных сторон модели совершенной экономики как нормативной модели построения социально-экономических систем и тем самым скорректировать на строго научной основе базовые постулаты экономической политики.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект «Конкурс проектов 2018 года фундаментальных научных исследований на тему: “Психологические особенности экономической активности личности в условиях совершенной экономики”» № 18-013-00952).

Список литературы

1. Friedman M. The Methodology of Positive Economics // Friedman M. Essays in Positive Economics. Chicago : University of Chicago Press, 1953. P. 3–43.
2. Колядин Н. П., Русановский В. А. Философия экономического анализа. Саратов : ИЦ СГСЭУ, 2005. 240 с.
3. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Васенин В. А., Борисов В. А., Роганов В. А. Агент-ориентированные модели : мировой опыт и технические возможности реализации на суперкомпьютерах // Вестн. РАН. 2016. Т. 86, № 3. С. 252–262. DOI: 10.7868/S0869587316030075
4. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Новый инструментарий в общественных науках – агент-ориентированные модели : общее описание и конкретные примеры // Экономика и управление. 2009. № 12 (50). С. 13–25.
5. Bonabeau E. Agent-based modeling : Methods and techniques for simulating human systems // PNAS. 2002. Vol. 99, suppl. 3. P. 7280–7287. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.082080899>
6. Шеллинг Т. К. Микромотивы и макроповедение / пер. с англ. И. Кушнаревой ; ред. пер. Д. Шестаков. М. : Изд-во Ин-та Гайдара, 2016. 344 с.



Образец для цитирования:

Неверов А. Н., Голубев Ф. С., Каткова М. А. Агент-ориентированная модель совершенной экономики // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право. 2020. Т. 20, вып. 3. С. 266–270. DOI: <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2020-20-3-266-270>

Agent-Based Model of Perfect Economy

A. N. Neverov, F. S. Golubev, M. A. Katkova

Alexander N. Neverov, <https://orcid.org/0000-0003-4219-5291>, Stolypin Volga Region Institute of Administration of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 23/25 Sobornaya St., Saratov 410031, neverov@ipei.ru

Fedor S. Golubev, <https://orcid.org/0000-0002-5726-5574>, Stolypin Volga Region Institute of Administration of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 23/25 Sobornaya St., Saratov 410031, golubev@ipei.ru

Marina A. Katkova, <https://orcid.org/0000-0002-3437-2369>, mkatkova@mail.ru

Introduction. Modern economic theory is the basis for market equilibrium. The tasks of empirical or experimental verification of the perfect economy model effectiveness from the standpoint of its real functioning are relevant. **Theoretical analysis.** Agent-based models allow to create computing tools that are characterized by the quantity of agents, their capabilities, and their ability to interact with each other. All this makes it possible to perform different simulations of real situations, with theoretical aspects being tested at the same time. The method is carried out through agents interacting in a designed environment. **Empirical analysis.** The model includes three active agents: “Buyer”, “Seller”, “Market”. Agents act rationally according to neoclassical economic theory. The logic of the models is based on the principles of the psycho-economic simulators “Perfect Economics” developed at the Center for Psychological and Economic Research. The agent-oriented model was built using the AnyLogic software environment (hereinafter AL) and is a simulation of the theoretical model of “Perfect Economics”, adopted in neoclassical economic theory. **Results.** The imitation agent-oriented model is the implementation of theoretical models of neoclassical economic theory in specially designed ideal conditions, which allows you to check the functioning parameters of a perfect economy with absolutely rational agents.

Keywords: agent-based model, neoclassical economic theory, economic agent, economic decision-making model.

Received: 15.04.2020 / Accepted: 15.05.2020 / Published: 31.08.2020

This is an open access distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project “Competition of the projects of 2018 fundamental research on the topic: Psychological features of an individual’s economic activity in a perfect economy” No. 18-013-00952).

References

1. Friedman M. The Methodology of Positive Economics. In: Friedman M. *Essays in Positive Economics*. Chicago, University of Chicago Press, 1953, pp. 3–43.
2. Koliadin N. P., Rusanovskiy V. A. *Filosofiya ekonomicheskogo analiza* [Philosophy of Economic Analysis]. Saratov, Izd. tsentr Sarat. gos. sotsial.-ekonom. universiteta, 2005. 240 p. (in Russian).
3. Makarov V. L., Bahtizin A. R., Sushko E. D., Vasev V. A., Borisov V. A., Roganov V. A Agent-based models: world experience and technical feasibility of implementation on supercomputers. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2016, vol. 86, no. 3, pp. 252–262 (in Russian). DOI: 10.7868/S0869587316030075
4. Makarov V. L., Bahtizin A. R. New instruments in social sciences – agent-oriented models: general description and specific examples. *Ekonomika i upravlenie* [Economics and Management], 2009, no. 12 (50), pp. 13–25 (in Russian).
5. Bonabeau E. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *PNAS*, 2002, vol. 99, suppl. 3, pp. 7280–7287. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.082080899>
6. Shelling T. K. *Mikromotivy i makropovedenie* [Micro-motives and Macrobehavior]. Moscow, Izd-vo Instituta Gajdara, 2016. 344 p. (in Russian).

Cite this article as:

Neverov A. N., Golubev F. S., Katkova M. A. Agent-Based Model of Perfect Economy. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Economics. Management. Law*, 2020, vol. 20, iss. 3, pp. 266–270 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2020-20-3-266-270>