

## АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК АСПЕКТ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ

### AGENT MODELING AS AN ASPECT OF REGIONAL ECONOMIC POLICY

*M. Melnichuk  
A. Karaev*

#### Annotation

The concept of representation of the regional economy as an integrated evolving system of interconnected networks of interacting economic agents is described on the basis of an analysis of their behavior. On the example of agent-based modeling, it is proved that in the research methods the empirical approach should prevail, which emphasizes the inductive method of reasoning on the basis of real data, rather than the deductive method of reasoning based on abstract positions or assumptions.

**Keywords:** agent-based modeling, regional economic policy, heterogeneous agents.

*Мельничук Марина Владимировна  
Д.э.н., профессор,  
Финансовый университет  
при Правительстве РФ  
Караев Алан Канаматович  
Д.т.н., профессор, г.н.с.,  
Финансовый университет  
при Правительстве РФ*

#### Аннотация

Изложена концепция представления региональной экономики как комплексной развивающейся системы взаимосвязанных сетей взаимодействующих экономических агентов на основе анализа их поведения. На примере агентноориентированного моделирования доказано, что в методах исследования должен превалировать эмпирический подход, который ставит во главу угла индуктивный метод рассуждений на основе реальных данных, а не дедуктивный метод рассуждений, основанный на абстрактных положениях или предположениях.

#### Ключевые слова:

Агентноориентированное моделирование; региональная экономическая политика; гетерогенные агенты.

**Х**арактеризуя состояние современной отечественной и зарубежной науки, необходимо подчеркнуть тот факт, что глобализация мирового пространства не только не привела к унитарности и единообразию методов и подходов к исследованию экономических проблем, стоящих перед учеными-экономистами всего мира, но и к отсутствию императива в экономических стратегических исследованиях. Представители экономической мысли, тем не менее, сосредоточены на решении общей микрозадачи, осуществляя теоретический и эмпирический анализ региональных экономических процессов и на их основе вырабатывают практические рекомендации по управлению региональной экономикой.

Неоднородность и неравномерность регионального развития, которые присущи экономике Российской Федерации, требуют выстраивания такой социально-экономической политики, которая могла бы в полной мере гарантировать эффективную интеграцию каждого субъекта федерации в единое государственное пространство.

Краеугольное изменение российских экономических реалий, связанных с внешними шоками (падение цен на нефть на глобальных рынках, распространение среди аналитиков и инвесторов довлеющей убежденности о на-

ступлении эры низких цен на сырье, введение секторальных санкций против российской экономики, угроза стагнации мировой экономики) и избранной российскими денежными властями политикой (режим бюджетной экономики, идеологически выдержанная ("либеральная"), и реактивная денежно-кредитная политика) погрузили экономические субъекты российской экономики в состояние радикальной неопределенности.

На этом фоне решение задачи восстановления и увеличения экономического роста требует использования инновационного моделирования экономической стратегии и политики, которые могут гарантировать эффективное социально-экономическое развитие субъектов Российской Федерации с учетом их региональной дифференциации.

С точки зрения текущего момента ожидания экономических субъектов, в частности, регионов, связаны со стагнацией спроса и падением доходов населения. На этом фоне достоверность неоклассической парадигмы с ее концепциями рациональности и равновесия, подвергнутая ревизии теорией мейнстрима, требует замены подходами, которые исследуют процессы индивидуального принятия решений в ситуациях риска и неопределеннос-

ти. Только такие подходы, смещающие акценты с разработки формализованных моделей поведения индивида или регионального субъекта в дифференцированных имитационных ситуациях на конструирование процесса модельного соответствия эмпирическим данным, а также определения уровня соответствия традиционных подходов с фактами реальной действительности, дает возможность выработать формирование регионально дифференцированной стратегии экономического развития российского государства. Таким образом, решение формирования региональных стратегий различных типов регионов априори будут отличаться друг от друга, поскольку институциональная основа социально-экономической реальности, характеризующаяся высокой степенью неопределенности и не благоприятствующая выявлению ключевых индикаторов и механизмов, с помощью которых обрабатывается и оценивается получаемая информация, основными характеристиками которого являются совокупность, неоднородность и многосложность поведения экономических систем и ограниченная рациональность экономических агентов. Поиск новых точек роста в регионах и создания плодотворных региональных кластеров должен происходить на фоне изучения аспектов поведенческой экономики и теории хаоса, использования теории сетей, внедрения имитационного моделирования [1–3]. Чтобы добиться гармонии интересов региональных социумов, необходимо рассматривать их как нелинейные и неравновесные экономические системы на основе подходов, используемых в агентноориентированном моделировании [1].

Основной задачей при таком подходе становится построение региональных моделей, которые базируются на объективных многопродуктивных эмпирических показателях, характеризующих поведение экономических агентов и их сетевое взаимодействие, которые априори обуславливаются адаптивностью в поведении экономических агентов и их ограниченной рациональностью. Только создав такие предпосылки для построения максимально приближенных к реалиям современной экономики с ее волатильностью и неоднородностью моделей, можно говорить о системности подхода при анализе регионального развития, которое, несмотря на общность стратегических задач, представляется собой множество неравновесных динамических систем, которая поддерживается эндогенно.

С целью построения инновационной страны и принципа "инновации, прорыв в отдельных сферах, поддержание развития и направление продвижения в будущем", мы должны, не жалея сил, строить национальную инновационную систему, известную точным позиционированием, четким разделением труда, конкурентным сотрудничеством и эффективной работой. Эта система должна включать следующие компоненты: технологическую инновационную систему, ориентированную на рынок и основан-

ную на сотрудничестве регионов; знание инновационной системы, базирующееся на инновационных методах исследований; региональные инновационные системы, обладающие различными преимуществами и социальная и сетевая системы для научно-технических услуг.

Таким образом, переход к построению новых инновационных – агентноориентированных – моделей связан, прежде всего, с необходимостью учета ограниченной рациональности экономических агентов и их неоднородностью создает предпосылки для обоснования дифференцированных подходов при разработке региональной экономической политики любого государства.

*Основными элементами агентноориентированных моделей построения эффективной региональной политики должны стать следующие [1]:*

- ◆ взгляд "снизу вверх". Агрегированные свойства региональной экономики получаются в результате комплексности при взаимодействии экономических агентов;

- ◆ неоднородность. Данная характеристика экономических агентов обуславливает своеобразие развития отдельно взятого региона;

- ◆ эволюционность и комплексность региональной экономики. Характерной чертой сложившихся экономических взаимодействий является их разнотипность, разнохарактерность и разнокалиберность, которые, к тому же, эволюционируют во времени и не могут соответствовать искусственно определяемым законам динамического равновесия и рациональности поведения;

- ◆ нелинейная среда. Особенность взаимодействия экономических агентов носит нелинейный характер вне зависимости от уровня взаимодействия – межгосударственного, общенационального или регионального;

- эндогенность взаимодействия между агентами. Решения, принимаемые агентом в текущий момент времени через механизм адаптивного ожидания, зависит от решений остальных агентов в предыдущие моменты времени;

- ◆ лимитированная рациональность. Экономические агенты в агентноориентированных моделях вовлечены в неформализованный никакими рамками поиск оптимальных отношений в развивающейся среде, что, в свою очередь, приводит к возникновению агентов, обладающих принципиально новым стилем поведения, характеризующимся быстрой адаптацией к возникающим изменениям;

- ◆ динамичность. практика динамического выравнивания системы противоречит законам ее развития, поэтому прогноз развития социально-экономической инфраструктуры региона будет основываться на полученной эмпирическим путем траектории его развития на основе обобщения данных предполагаемых ожиданий;

- ◆ эндогенная инновационность. Социально-экономические региональные системы являются "живым и подвижным организмом". Постоянное развитие и интег-

рация системы во вновь возникающие сети взаимодействия экономических субъектов приводят к технологическим и поведенческим изменениям экономических агентов;

◆ селекционность рыночных механизмов. Экономические агенты вне зависимости от сложившейся социально-экономической ситуации сталкиваются с механизмом рыночной селекции, параметры которой полимеры.

Можно с уверенностью говорить о том, что агентно-ориентированные модели регионального развития, которые имеют в своей основе вышеуказанные характеристики, базируются на следующей структуре: начальные условия в виде микро- и макропараметров; генерирование временного ряда при помощи симуляции; подсчет набора статистик по микро- и макровременным рядам; генерация распределения Монте-Карло для каждой статистики; анализ поведения распределений Монте-Карло при изменении начальных условий микро- и макропараметров; статистические тесты на различия между моментами. Выдвигается гипотеза о существовании системы экономических агентов, которые являются инноваторами и темпорально системно подчиненными элементами структуры, подвергающимися перманентным изменениям, при этом время является дискретной переменной. В интересующее нас время  $t$  экономический агент  $i$  можно охарактеризовать определенным количеством микроэкономических переменных  $x_{i,t}$  и вектором макроэкономических параметров  $\theta_i$ .

Начальные условия  $x_{i,0}$  и микроэкономические параметры задаются для каждого момента времени, затем выбираются экономические агенты и обновляются их микроэкономические переменные. Необходимо особо подчеркнуть, что данный процесс сопровождается сбором информации о подмножестве других экономических агентов, которые находятся в непосредственной взаимосвязи с заранее намеченными и "отфильтрованными" агентами, в частности, сбор информации распространяется на поиск знаний о локальном состоянии системы, для того чтобы получить сведения на предварительном этапе анализа. Чтобы провести следующую итерацию после окончания этапа обновления, в модели используется новая комплектация микроэкономических переменных: совокупные значения переменных  $X_t$  определяются как среднестатистическое значение отдельно взятых индивидуальных характеристик. Вычисление таких агрегированных переменных сродни с определениями статистических агрегатов (валового продукта, занятости, денежной массы и т.д.).

Наличие неоднородной стохастической компоненты при моделировании процесса регионального развития позволяет прийти к выводу, что комбинация взаимодействующих микро- и макропеременных может быть опи-

сана случайными процессами. Однако, вышеупомянутое наличие нелинейности, обусловленное невозможностью использовать законополагающие принципы и аксиомы нормативной теории выбора, приводит к невозможности получить вероятностные распределения для неопределенных процессов. Решение заключается в использовании компьютерной модели, которая дает возможность проанализировать "поведение" совокупности данных экономических агентов и динамику их изменений со временем [11,12]. К сожалению, получить аналитическое решение задачи возможно лишь для очень простых случаев, в которых не используются подмножества экономических агентов. Необходимо подчеркнуть, что, чем больше уточняющих предпосылок вводится в модель, тем менее прозрачной она становится и тем насущнее необходимость компьютерной симуляции, которая должна использоваться конструктивно, в духе объектно-ориентированного программирования.

Изучая результаты, получаемые при помощи агентно-ориентированных моделей, необходимо помнить о том, что имитация социально-экономического развития региона предполагает неравновесность состояния его экономики, поскольку она не является универсальным форумом агентных взаимодействий, свободных от специфических правил, присущих определенному региону. Статистическое равновесие можно искать только в долгосрочной перспективе, обладая данными динамики агрегированных показателей. С другой стороны, огромная проблема заключается в определении периода времени, которое необходимо системе для приобретения свойств антиволатильной системы.

Предположим, исследователю известно (например, после изучения некоей симуляции или анализа конкретной агентной модели), что динамические характеристики системы становятся достаточно устойчивыми почти для всех параметров после некоторого момента времени. Система работает до тех пор, пока мы не получим стабильного поведения при некоторых заданных начальных условиях, микро- и макропараметрах. Допустим, что нам необходимо подсчитать набор статистик для микро- и макропеременных, полученных путем симуляции. После каждого запуска системы программа будет подсчитывать значение каждой статистики. С учетом стохастической природы процессов после каждого запуска мы будем получать другие значения статистик. Поэтому после ряда независимых экспериментов для каждой статистики будет существовать распределение, основанное на том же количестве наблюдений, и можно будет подвести итоги, посчитав моменты для каждого распределения. Но следует помнить, что моменты будут зависеть от выбора начальных условий и параметров. Проанализировав достаточно большое количество точек в исследуемом пространстве, где начальные условия и параметры могут варьироваться, рассчитав моменты интересующих нас ста-

тистик и оценив, как именно моменты зависят от параметров, мы можем получить достаточно глубокое дескриптивное знание о поведении данной системы. Как следствие, при решении задачи использования в агентноориентированных моделях максимального количества приближенных к реальности предпосылок возникает проблема усложнения симуляции системы и объяснения ее причинно-следственных связей на фоне и так неоднородного регионального пространства [9].

Однако, неоспоримым преимуществом данного вида моделей является то, что они дают возможность сравнить полученные при агентной симуляции результаты с теми, которые мы имеем и наблюдаем в действительности. Таким образом, при анализе региональной экономической политики мы имеем возможность достичь компромисса между теоретическим и эмпирическим состоянием социально-экономического развития региона.

Если обратиться к теории, то, вспоминая вышесказанное, можно еще раз подчеркнуть отсутствие строгих ограничений в моделях агентноориентированного типа: априори не заявляется о репрезентативности экономического агента, о равновесности системы и обоснованных ожиданиях. Это обеспечивает значительную свободу действий при построении модели. В качестве важнейшего инструмента компромиссного решения по сравнению с неоклассической моделью является необходимость соответствия агентноориентированной модели эмпирическим данным, наблюдаемым в реальной жизни [8–10].

Если говорить об эмпирической категории, то обобщенные рациональные предпочтения, замененные на прикладные правила, специфичные для конкретной структуры и задачи, которую нужно решить в настоящий момент, безусловно, легче использовать при работе с агентными моделями. Прежде всего, есть возможность регулярной корректировки используемых в модели начальных параметров с учетом реальных данных и, как следствие, выявления наиболее вероятностных предпосылок прогнозируемого взаимодействия агентов и их иррационального поведения. Полученные с помощью агентноориентированной модели результаты проверяются на соответствие реальным, наблюдаемым в действительности, данным. Если становится понятно, что результаты не совпадают с реальными, на начальные условия накладываются определенные ограничения, с тем чтобы модель могла воспроизводить интересующие нас стилизованные факты [4–7].

Рассмотрим процедуру дескриптивного анализа агентных моделей, на основе которой проводятся экспериментальные проверки различных вариантов региональной экономической политики. Микро- и макропараметры можно задать таким образом, чтобы отражать ключевые переменные экономической политики реаль-

ного мира: налоговые ставки, субсидии, процентные ставки, деньги и другие поведенческие факторы, влияющие на индивидуальные стимулы при осуществлении определенной региональной политики, направленной на формирование эффективных региональных кластеров. В качестве исходных условий может выступать изначальное распределение ресурсов, что позволяет проанализировать различные варианты распределения национального дохода. Кроме того, используемые экономическими агентами правила поведения и взаимодействия можно построить так, чтобы изучить альтернативные институциональные структуры, ситуации в отрасли или регионе. Поскольку все эти элементы легко заменяемы, появляется возможность исследовать огромное количество альтернативных вариантов региональной экономической политики или правил, последствия которых затем можно оценить качественно или количественно. Например, можно статистически проверить, как изменение ставки налога на потребление влияет на моменты (среднее и т. д.) распределения индивидуального потребления, какова динамика этого воздействия. Наиболее важно, что все эти манипуляции можно проводить, сохраняя при этом способность модели воспроизводить существующие стилизованные факты, например определенные свойства временных рядов наблюдаемых агрегированных переменных (в частности, колебания темпов роста выпуска) или некоторую связь между ними (например, кривая Филлипса) [13].

Используя агентноориентированное моделирование, можно удовлетворить национальный и региональный стратегический спрос на научно подтвержденное прогнозирование скоординированного и устойчивого социально-экономического развития регионов России [13, 14].

Непрекращающиеся споры о научном статусе экономической политики позволили некоторым авторам называть новый неоклассический синтез, вооруженный сложными инструментами моделирования, окончательным и непревзойденным научным достижением. Однако реально применявшиеся центральными банками и другими субъектами, принимающими решения, варианты экономической политики были успешны не благодаря сложности лежащих в их основе техник моделирования, а скорее, благодаря соединению опыта и искусности. Как показывает обзор альтернативной парадигмы, агентноориентированное моделирование может успешно применяться для стратегической разработки осуществляемой региональной социально-экономической политики, несмотря на наличие определенных проблем, в качестве примера которых можно привести следующие: большое количество микро- и макропараметров, вводимых для максимально полного соответствия данной модели наблюдаемым экономическим реалиям, и значимость начальных условий.

Основная предпосылка использования агентноориентированных моделей заключается в том, что они могут прогнозировать вероятностный процесс генерирования данных, который дает возможность эффекта приближения к существующим в действительности реалиям. Для исследователей принципиальным является вопрос эргодичности, т.е. какими будут средние значения из всех возможных сценариев реализации заданного процесса и сводятся ли они к одной и той же величине. Если выходные данные говорят о наблюдаемом эргодичном случайном процессе, значимость начальных задаваемых условий существенно снижается. Если же становится понятно, что процесс можно охарактеризовать как неэргоди-

ческий, то задача ввода корректных исходных данных усложняется на порядок: очень трудно определить временные рамки даже для идеально выявленных и скорректированных значений принципиально необходимых макро- и микропоказателей.

Все указанные проблемы – предмет перманентных дискуссий, в которых обсуждаются фундаментальные положения, затрагивающие вопросы связанные с возросшей актуальностью агентного моделирования, но, безусловно, предлагаемая парадигма является весьма многообещающей с точки зрения прогнозирования и разработки региональной экономической политики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Караев А.К., Мельничук М.В. Финансовая неустойчивость и макроэкономическая нестабильность: агентно ориентированное моделирование. М., 2014, с.35.
2. Fagiolo G., Roventini A. On the Scientific Status of Economic Policy: A Tale of Alternative Paradigms // Working Paper No 47 / Universita di Verona, Dipartimento di Scienze economiche. 2008.
3. Tesfatsion L. ACE: A Constructive Approach to Economic Theory // Handbook of Computational Economics II: Agent-Based Computational Economics / L. Tesfatsion, K. Judd (eds.). Amsterdam: North-Holland, 2006.
4. Pyka A., Fagiolo G. Agent-Based Modelling: A Methodology for Neo-Schumpeterian Economics // The Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics / H. Hanusch, A. Pyka (eds.). Cheltenham: Edward Elgar, 2007.
5. Dosi G., Marengo L., Fagiolo G. Learning in Evolutionary Environment // Evolutionary Principles of Economics / K. Dopfer (ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
6. Colander D. Op. cit.; Tesfatsion L. Agent-Based Computational Modeling and Macroeconomics // Post Walrasian Macroeconomics, 2010.
7. Reka A., Barabasi A.-L. Statistical Mechanics of Complex Networks // Review of Modern Physics. 2002. Vol 74. P. 47–97.
8. Brock W. A., Durlauf S.N. Interactions-Based Models // Handbook of Econometrics. Vol. 5 / J. Heckman, E. Learner (eds.). Amsterdam: North-Holland, 2001.
9. H. Dawid, G. Fagiolo (eds.) // Journal of Economic Behavior and Organization. 2008. Vol. 67, No 2. P. 351–544. (Special Issue on "Agent-Based Models for Economic Policy Design").
10. Midgley D., Marks R., Cooper L. Breeding Competitive Strategies // Management Science. 2007. Vol 43, No 3. P. 257–275.
11. Happe K., Balmann A., Kellermann K., Sahrbacher C. Does Structure Matter? The Impact of Switching the Agricultural Policy Regime on Farm Structures // Journal of Economic Behavior and Organization. 2008. Vol. 67, No 2. P. 431–444.
12. Dosi C, Fagiolo C, Roventini A. Patterns of Innovation and the Political Economy of Growth. An Exploration of Different Policy Regimes // Working paper / Laboratory of Economics and Management (LEM). См. также: Dosi C, Fagiolo C, Roventini A. An Evolutionary Model of Endogenous Business Cycles // Computational Economics. 2006. Vol. 27, No 1. P. 3–34.
13. Караев А.К., Мельничук М.В. Использование SFC-моделирования для целей долгосрочного прогнозирования / Проблемы экономики и юридической практики. 2014. №5. С. 320–325.
14. Коновалов В.В., Караев А.К., Мельничук М.В. Агентно ориентированные модели в экономической практике / Транспортное дело России. 2012. № 6–2. С. 66–72.

© М.В. Мельничук, А.К. Караев, ( [mvmelnichuk@gmail.com](mailto:mvmelnichuk@gmail.com) ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

