

УДК 338.2
ББК 65.050.11

Samkov Timur Leonidovich,
candidate of technical sciences,
associate professor of the department
of control systems and economics of power
engineering of Novosibirsk State Technical University,
Novosibirsk,
e-mail: ermin@ngs.ru

Shvetsov Yaroslav Petrovich,
senior lecturer of the department
of mathematical modeling of business-processes
of Siberian State University of Telecommunications
and Information Sciences,
Novosibirsk,
e-mail: matemeconom@gmail.com

Самков Тимур Леонидович,
канд. техн. наук, доцент кафедры систем
управления и экономики энергетики
Новосибирского государственного
технического университета,
г. Новосибирск,
e-mail: ermin@ngs.ru

Швецов Ярослав Петрович,
ст. преподаватель кафедры математического
моделирования бизнес-процессов
Сибирского государственного университета
телекоммуникаций и информатики,
г. Новосибирск,
e-mail: matemeconom@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ АГЕНТООРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

MODELING OF SUSTAINABLE ECONOMIC SYSTEMS USING THE AGENT-ORIENTED APPROACH

В статье рассматриваются подходы к моделированию устойчивости экономических систем. Указывается, что, будучи достижимой теоретически, устойчивость в реальности предстает в виде нескольких возможных состояний.

В работе приводится понятие агентоориентированного подхода, позволяющего устранить подобную множественность. Авторами делается вывод, что решение проблемы обеспечения устойчивости состоит в использовании нескольких методологий, в том числе агентного моделирования.

Показано, что решение этой задачи заключается не только в отображении возможных траекторий движения экономической системы, но и в действиях отдельных ее элементов, представляемых как агенты. В статье приведены подходы к созданию модели взаимодействующих в экономике агентов.

The approaches to modeling the economical systems sustainability is examined in the article. It's noted that, being theoretically achievable, actually sustainability appears as a number of possible states.

The concept of agent-based approach that allows eliminating such multiplicity is provided in the article. The authors make conclusion that solution of the problem of sustainability assurance consists in using several methodologies, including agent modeling.

It has been demonstrated that solution of this task consists not only in mapping of possible trajectories of the economic system moving, but also in the actions of its individual components represented as agents. The approaches to creating the model of agents interacting in economics are provided in the article.

Ключевые слова: многоотраслевые территориальные рынки, устойчивое развитие, состояние равновесия, микроэкономические факторы, сектор экономики, индикативный план, эффект самоорганизации, агент, агентоориентированный подход, агентное моделирование.

Keywords: multi-industrial territorial markets, sustain development, state of equilibrium, macroeconomic factors, economy branch, indicative plan, self-organization effect, agent, agent-oriented approach, agent modeling.

Основной проблемой в современной экономике по-прежнему остается достижение состояния устойчивости, под которым в более широком смысле понимается ее устойчивый рост. Он заключается в выходе экономической системы, как правило в мировом масштабе, на такую траекторию развития, при которой обеспечивался бы стабильный умеренный, но достаточный для воспроизводства человеческого потенциала рост экономики, не приводящий к быстрому истощению природных ресурсов [1]. Другими словами, устойчивость экономики предполагает обеспечение населению хорошего уровня жизни при «непроедании» ресурсов, что гарантирует такое состояние на относительно длительную перспективу. Причем указанная траектория может реализоваться не только в мировом масштабе, но и для достаточно крупных многосекторных экономик, к которым можно отнести экономики таких стран или международных объединений, как Россия (вместе с Таможенным союзом и Украиной), США (вместе с Канадой и Мексикой), Евросоюз (вместе со странами Северной Африки), страны МЕРКОСУР, Китай (в сообществе с рядом стран Юго-Восточной Азии) и др. В уже опубликованных работах авторами был введен термин «многоотраслевые территориальные рынки» для обозначения таких объектов.

При этом сам этот объект уже достаточно описан в публикациях по данной тематике, в том числе с точки зрения транспортных связей, формирующих такие системы. Поведение таких объектов определяется, как указано в [2], межотраслевой и межрегиональной интеграцией ее элементов с набором экономических, технологических и производственных связей территориально-хозяйственной системы региональной экономики, осуществляемых посредством развитых транспортных коммуникаций.

Сама по себе эта задача имеет много аспектов, поскольку любую крупную социально-экономическую систему можно рассматривать двояко. Во-первых, такую систему можно рассматривать как совокупность элементов, самоорганизация друг от друга и придающих ей качество самоорганизации. С другой стороны, системы этого класса видятся многими всего лишь как своего рода контейнер, содержащий набор субъектов, действующих преимущественно в соответствии со своими интересами. При этом указанные субъекты, наоборот, слабо зависят друг от друга, по крайней мере в плане принятия решений относительно стратегии своих действий, однако последствия этих действий данных субъектов все-таки их затрагивают. Такие субъекты получили название «агенты» и породили относительно новое направление моделирования больших социально-экономических систем, в рамках которого удается симулировать их поведение с большой точностью.

Чем же было вызвано появление такой методики моделирования? Это связано с недостатками первого представления систем, указанного выше (как множества жестко взаимосвязанных элементов с эффектом самоорганизации). Здесь отображение взаимосвязи указанных элементов моделируется по принципу черного ящика с обратной связью. Это означает, что их взаимодействие описывается как дифференциальная игра типа погоня в виде системы дифференциальных уравнений. Каждое из них, как правило, в левой части имеет дифференциал переменной, выражающей интенсивность применения стратегии элементом, а в правой части — функцию отклонения результативности его стратегии от намеченной им цели.

Как было показано в [3], система, описанная таким образом, имеет свое собственное поведение, определяющее эффект ее самоорганизации. Он заключается в том, что, при каких бы начальных условиях ни осуществлялось управляющее воздействие на конкретную систему, она все равно выйдет на свою траекторию развития, свойственную только ей, ее внутренней структуре. И чтобы управлять этой социально-экономической системой, необходимо составлять для нее не директивный, а индикативный план развития, меняющий ее параметры так, чтобы ее движение в сторону собственного поведения совпадало с намерениями лица, заинтересованного в результатах управления.

Такое изменение параметров зачастую происходит не только по воле указанного лица (лиц), но и как результат совокупности ряда макроэкономических факторов, меняющих поведение системы (сценариев).

В силу этих обстоятельств, как указывается в [4], хотя есть теоретические признаки устойчивости экономических систем, достижение ее на практике моделированием ее движения в устойчивое состояние, как правило, невозможно. В реальности же из одного начального состояния социально-экономическая система может прийти в несколько состояний, и такая множественность не способствует точности моделирования. И выходом здесь является применение агентного моделирования [Там же]. В рамках него агенты являются некими субъектами, имеющими свои цели, действующими целенаправленно и единственным образом в зависимости от сложившейся ситуации. Подобное имитационное моделирование можно реализовать только с использованием компьютерной техники, но при достаточном вычислительном ресурсе можно прийти в единственное состояние устойчивости. При этом в данной методологии имеются свои недостатки — большой объем информации о каждом агенте, необходимой для начала такого моделиро-

вания, и чувствительность результатов к даже небольшому изменению этих данных.

Преимущества агентоориентированного подхода над игровым (в виде дифференциальных игр) состоит в том, что при игровом подходе, как уже указывалось, связь между элементами системы предполагается как функциональная, как некоторое эмпирическое соотношение, полученное в виде самой общей причинно-следственной обратной связи. В то время как при агентном моделировании связь между элементами описывается конструктивно, с подробным описанием взаимовлияния каждого элемента со всеми другими по большому числу параметров, что придает такому моделированию истинно имитационный характер и практически полностью устраняет всякую стохастичность как в отношениях между элементами, так и во всей системе в целом.

В связи с вышесказанным авторами выдвинута идея подхода к моделированию устойчивости больших социально-экономических систем, сочетающего оба указанных метода. Первый из них заключается в изменении основных параметров системы так, чтобы достичь ее желаемого развития, а второй — в использовании агентного моделирования.

Авторами в прошлых работах уже указывалось, что управлять подобными системами, учитывая эффект самоорганизации, создаваемый ее составными элементами, нужно в том направлении, в котором наметил ЛПП, когда взаимосвязь между элементами уменьшается. Это происходит, например, в случае, когда достигается продуктивность в матрице технологических коэффициентов для некоторой межотраслевой системы (региональной, в масштабе федерального округа или всей страны). Тогда, пытаясь достичь своей цели, эти элементы, мало завися друг от друга, достигают состояния равновесия за ряд шагов. Данный процесс осуществляется в рамках численного решения системы дифференциальных уравнений, которая, собственно, и дает траекторию движения системы в устойчивое состояние, тождественное в силу свойств равновесия устойчивости в короткий период времени.

Однако у этой методологии есть свои недостатки. Главный из них состоит в том, что чем дольше период планирования, тем более насущной становится необходимость учесть точки флуктуации развития процесса деятельности указанных систем. Из каждой такой точки развитие системы возможно в нескольких направлениях. Соответственно наличию даже нескольких таких точек приведет к значительному числу конечных состояний моделируемой системы, каждое из которых является вполне вероятным и имеющим право на существование. Для устранения этого эффекта предполагается в каждой точке флуктуации снимать неопределенность, создаваемую этой точкой, за счет определения дальнейшего направления движения системы методологией агентного моделирования. При этом предполагается, что игровой подход, заключающийся в численной имитации отношений, проявляется в пошаговой имитации последовательной реакции каждого элемента системы как участника дифференциальной игры на действия (стратегии) других участников в целях выхода на свои целевые установки на каждом шаге, чему другие участники могут препятствовать (например, месячный объем продаж в условиях конкуренции со стороны других производителей). В реальной ситуации таких шагов, как правило, двенадцать — соответствующих исполнению за период в один год тех или иных месячных планов. Этот годовой отрезок времени является временным промежутком, когда участники конкретной социально-экономической системы оперативным образом реа-

гируют на изменение рыночной ситуации в процессе своего функционирования, как уже говорилось, осуществляя автоматическое регулирование своих стратегий по принципу черного ящика. По завершении же года наступает время уже стратегических решений. И поскольку для каждого элемента системы оно одно, то агентное моделирование, с помощью которого моделируется это стратегическое решение, и является средством устранения стохастической неопределенности, наступающей, как уже говорилось, в конце календарного года. Принимается только одно решение на основе агентоориентированного подхода для всех элементов. Далее опять наступает период игрового регулирования своих действий/стратегий этими элементами. В течение года весь процесс повторяется до прихода в состояние устойчивости.

Сам же процесс агентоориентированного моделирования для этого класса задач состоит в следующем. Моделирование в рамках агентоориентированного подхода предполагает, что экономическая система является набором объектов, принимающих решения, называемых агентами. Общее поведение системы складывается как результат взаимодействия агентов друг с другом. Более полно термин «агенты» можно определить как: вычислительные независимые объекты, располагающиеся в некоторой среде и способные к гибким автономным действиям, направленным на реализацию их целевых функций. В рамках одной модели могут существовать агенты с различающимися механизмами принятия решений. Агенты с высокой степенью организации процессов принятия решений способны воспринимать состояния среды и их изменения и соответственно реагировать на них; данный механизм реализуется как результат непосредственного взаимодействия агентов либо косвенно через среду. Динамизм, обусловленный как эндогенными факторами (состояния агента), так и экзогенными, обуславливает возможность моделирования существенно нелинейной динамики экономической системы.

Агентоориентированная модель системы — набор множества агентов, имеющих отношение к системе, и множества правил взаимодействия между ними. Во многих случаях агентоориентированное моделирование является наиболее естественным способом описания динамики систем, состоящих из активных объектов: в ситуации, когда хорошо известны основные переменные состояния агентов и основные механизмы их поведения (потребитель, отдельные компании, быть может, отрасли народного хозяйства) не позволяют спрогнозировать системные эффекты. Данные эмерджентные свойства в рассматриваемом подходе к имитационному моделированию будут результатом самого процесса моделирования, а не предполагаемой теоретической конструкцией. Например: эффекты кластеризации и нелинейные зависимости от малых возмущений относительно равновесного состояния при проведении численного эксперимента типа «что если». При определенных условиях калибровка и валидация указанных моделей тоже носит естественный характер.

Базовая формализация данного класса моделей включает: модель времени (в подавляющем большинстве случаев время предполагается дискретным), модели агентов (микросостояния, которые могут быть эндогенно изменены агентами; микросостояния, определяющие поведенческие осо-

бенности агентов, набор микроправил поведения), модель структуры связи между агентами (определяет взаимодействие между агентами и потоки информации), модель среды (определяет независимые переменные, институциональные особенности, макропеременные). При моделировании изменений состояния агентов, а также их взаимодействий используется, как правило, аппарат теории конечных автоматов с применением диаграмм состояния. Каждая из них состоит из множества состояний и правил поведения (множество переходов, с каждым из которых связан триггер событий).

В качестве методической основы при построении агентов используется эволюционная парадигма. Данная парадигма рассматривает экономику как сложную иерархическую структуру, состоящую из разных уровней и подсистем с различными механизмами обратной связи.

Стандартные математические инструменты традиционного формального моделирования, применяемые в экономическом анализе, исходя, как правило, из предпосылок о равновесном состоянии (в различных значениях данного термина) и неудовлетворительно описывают транзиты из одного устойчивого состояния в другое, в то время как эволюционная парадигма рассматривает экономику как существенно неустойчивую и неоптимальную систему.

При моделировании в рамках эволюционной парадигмы необходимо описание таких свойств системы, как:

- многовидовость, понимаемая как наличие различных категорий агентов (многообразие), распределение агентов по категориям (баланс) и степень неравенства по качественным свойствам различных категорий и их количественному составу (в модели могут быть использованы как интегральные параметры многовидовости, так и многокомпонентные);

- механизмы инноваций — присущее каждой эволюционирующей системе свойство, обеспечивающее многовидовость (в тривиальном подходе рассматривается как полностью стохастический процесс, хотя в реальности каждому инновационному рывку соответствуют предшествующее накопление микроизменений);

- ограниченная рациональность (в реальности субъекты экономической системы неспособны к отысканию глобального оптимума и им присущи неполные знания о среде и других субъектах, что приводит в процессе принятия решений к ограниченной рациональности);

- механизмы отбора (определяют нежизнеспособных с точки зрения экономики субъектов);

- диффузия изменений (механизмы распространения инноваций, их жизненный цикл);

- механизмы коэволюции (поведение целых категорий субъектов, как правило, объединенных однотипными экономическими отношениями, а также механизмы группового отбора);

- зависимость от предшествующего пути развития;

- механизмы роста.

Для формализации рассматриваемых компонентов можно использовать теорию нечетких и грубых вычислений, генетическое программирование, теорию ограниченной рациональности, теорию катастроф, методы нелинейной динамики, стохастическое программирование и т. д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рэндерс Й., Беренс Ш В. В. Пределы роста / Пер. с англ. М.: Изд-во МГУ, 1991. 208 с.
2. Тайговская Е. В. Концептуально-методологические основы организации региональных социально-экономических си-