

УДК 338.4

## **Агентное моделирование как современный метод исследования инновационных экономических систем**

**Шермадини Марина Владимировна**

Ведущий инженер,  
департамент инженерного бизнеса и менеджмента инженерной академии РУДН,  
аспирант,  
Российский университет дружбы народов,  
117198, Российская Федерация, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 10;  
e-mail: essmd@yandex.ru

### **Аннотация**

В статье рассматриваются методологические подходы в имитационном моделировании на основе агентного моделирования, ориентированного на решение практических проблем. Актуальность моделирования инновационного поведения экономических систем обусловлена стимулированием инновационной активности, а также отбором и обоснованием инновационных решений. В статье выявлены особенности применения агентного моделирования в общей схеме имитационного моделирования инновационных экономических систем, определена главная идея имитационного моделирования с помощью мультиагентного подхода. Из чего следует, что внедрение этих идей в инновационное поведение экономических систем требует дальнейшего изучения, развития и практического применения. Мультиагентный подход – эта та основа, на которой можно построить достаточно нетривиальные обучающиеся системы. Таким образом, следует, что за агентным моделированием большое будущее, поэтому имитационное моделирование инновационных экономических процессов лучше делать агентным способом, потому что, если экономика жестко управляема, происходит нарушение важных инновационных процессов. Если моделировать реальные инновационные экономические процессы, то необходимо применять мультиагентное моделирование потому, что смысл экономики состоит именно в том, что каждый его Агент совершает свои личные действия, исходя из своих личных интересов.

### **Для цитирования в научных исследованиях**

Шермадини М.В. Агентное моделирование как современный метод исследования инновационных экономических систем // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Том 8. № 7А. С. 135-142.

### **Ключевые слова**

Оптимальное поведение, агентный подход, мультиагентное моделирование, самоорганизация, инновационные экономические системы, теория игр.

## Введение

В современных условиях способность к быстрым изменениям является ключом к выживанию предприятий на рынке, что является непростой задачей менеджмента. Проблема заключается в слабом применении современных методов управления. Отсутствие у руководства достоверного плана действий на основе объективных данных, четких целей также выливается в недоверие со стороны сотрудников к принимаемым решениям.

Принятие эффективных инновационных решений в современных экономических условиях требует тщательного анализа и проектирования того, как отразятся изменения, сделанные в одной части инновационной системы, на остальных ее участках, и к чему в результате они приведут всю систему в целом. Применение имитационного моделирования уже на этапе проектирования дает возможность увидеть качество принимаемых решений и их экономическую обоснованность [Шамин и др., 2017].

Традиционными и устоявшимися подходами в имитационном моделировании являются системная динамика и дискретно-событийное моделирование. Как известно, моделирование в системной динамике представляет множество взаимодействующих положительных и отрицательных обратных связей в структуре и поведении системы, математически описывается построением системы дифференциальных уравнений.

## Основная часть

Новым в имитационном моделировании является агентный подход, который обладает рядом преимуществ, основывается на индивидуальном поведении Агентов и применении компьютерного моделирования для анализа и оптимизации моделей бизнес-процессов инновационных экономических систем [Ценина, 2017].

Рассмотрим имитационное моделирование с помощью многоагентных или мультиагентных систем. Этот подход укладывается в общую схему имитационного моделирования, но имеет определенные существенные отличия. Прежде всего, это основная идея агентного подхода или агентного моделирования.

Проведем исследование инновационной экономической системы, в которой действует большое количество различных Агентов. Под Агентом будем понимать автономный объект, который имеет определенное восприятие окружающего пространства, информацию, которая у него есть, причем у каждого Агента это видение может быть общим, или разным (рисунок 1).

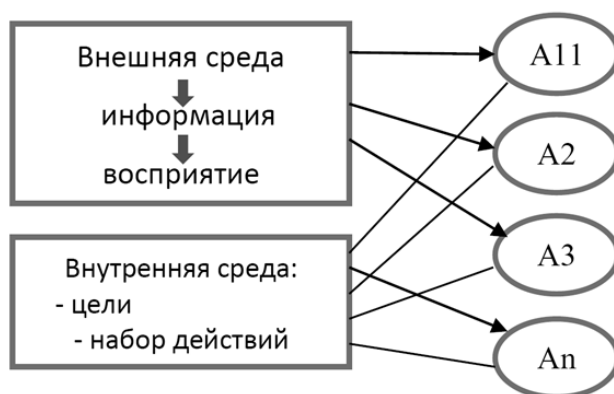


Рисунок 1 – Сложная инновационная система

У каждого Агента есть своя цель, функционал, который он максимизирует или минимизирует. Цели агентов могут быть связанными, могут быть одинаковыми, противоположными, никак не связанными. У каждого Агента есть определенный набор действий, которые он может выполнять не зависимо от других агентов.

Отметим, что деление Агентов условно: Агенты могут соединяться в экономической ситуации, могут разделяться, стать единым Агентом и действовать согласованно. Предполагается, что единого центра управления этими агентами не существует, что тоже условно, поэтому необходимо в каждой модели это рассматривать отдельно [Исламутдинов, Семенов, 2012].

Существуют общие правила. К примеру, государство принимает закон о налогах для предприятий и организаций. Решение государства как регулирующего органа является обязательным порядком действий для всех Агентов, включенных в эту систему. В этом смысле они управляются внешним центром. И с этой точки зрения Агенты, хотя и управляются общим центром, но этот центр не должен создавать нормативы, которые не касаются конкретной деятельности конкретного Агента, они общие для всех, и Агенты полностью управляемы. Рассмотрим те случаи, в которых каждый Агент управляется по-разному.

Смысл Агентного подхода состоит в том, чтобы смоделировать инновационное поведение этих Агентов. Многоагентную систему можно всегда свести к одноагентной, предполагать, что каждое действие за каждого Агента принимается единым центром. Соответственно, описать всю динамику: экономическую, политическую, механическую может один центр. То есть формально, если заданы какие-то законы, можно просчитать, что сделает каждый отдельно взятый Агент, и моделировать общую ситуацию до согласованных действий этих агентов.

Но очень часто при инновационных системах, при большом количестве объектов удобнее запрограммировать движение каждого Агента автономно и смотреть, что получится в результате самоорганизации действий всех этих Агентов. Поставим задачу проанализировать динамику этой системы, запрограммировать все ситуации, чтобы инновационная система работала.

Первый подход состоит в том, чтобы записать систему дифференциальных уравнений на каждый движущийся объект. Прямолинейное движение объекта описывается простейшим дифференциальным уравнением: при столкновении с границей в правой части уравнения отражение скорости будет негладкое, столкновение объектов описывается дифференциальными уравнениями с разрывами, что является более сложной задачей. Если выписать всю систему дифференциальных уравнений, то она окажется достаточно сложной в плане написания и программирования [Шамин и др., 2014].

Второй подход является более простым. Возьмем  $n$  объектов и для каждого объекта будем программировать его поведение в каждый момент – квант времени, наблюдать куда он перемещается. Если впереди свободно, объект просто перемещается, если столкнулся с границей, то отразился от нее, если произошло столкновение объектов, то мы принимаем некоторую решающую функцию, смотрим, как изменится направление скоростей у объектов, которые столкнулись. Эта программа намного проще, ее легче программировать и наблюдать в реальном времени результат. Таким образом, взяв систему и описывая динамику, задав правила, мы опишем инновационную систему полностью.

При моделировании инновационной экономической системы, каждый Агент обладает какими-то уникальными свойствами, возможностями, уникальными целями, где в экономических отношениях не все равны: кто-то поставщик сырья, кто-то покупатель, кто-то

государство. Следовательно, будем моделировать поведение каждого из этих агентов, затем включать эту имитационную модель и наблюдать, что получится.

В этом заключается главный подход, главная идея имитационного моделирования с помощью мультиагентного подхода. Мультиагентная система может быть сведена к обычному моделированию, но технические возможности, которые есть у агентной системы, намного сильнее.

Для каждого отдельного Агента составляем программу учета системы в целом, программируем. Когда все запрограммировали, запускаем имитационную модель, и смотрим, что же происходит, когда тот или иной Агент ведет себя в разных ситуациях. Какие-то агенты в системе могут принимать всегда одни и те же решения, и мы наблюдаем их поведение, выстраиваем свою стратегию, чтобы она была оптимальной.

Такое конструирование модели открывает два пути: первый путь – это путь в теорию игр. В экономических моделях теория игр – это один из принципиальных моментов, который позволяет добиться зримых результатов, понять некоторые моменты экономического поведения. В монографии Джона фон Неймана и Оскара Моргенштерна, которая называется «Теория игр и экономическое поведение» введены некоторые постулаты об экономическом поведении Агентов. Затем, на основании этого, ими была сформирована теория игр, которая изначально описывала экономическое поведение. Теория игр в экономической модели добавляет расчет оптимального, с точки зрения целевой функции, поведения каждого Агента в такой групповой игре [Нейман, Моргенштерн, 1970].

Второй путь – это обучение с подкреплением. Здесь теория игр является отличным полигоном для систем машинного обучения искусственного интеллекта, и одним из подходов является обучение с подкреплением, которое мы рассматриваем с экономическим уклоном. Обучение с подкреплением – это один из очень перспективных методов машинного обучения.

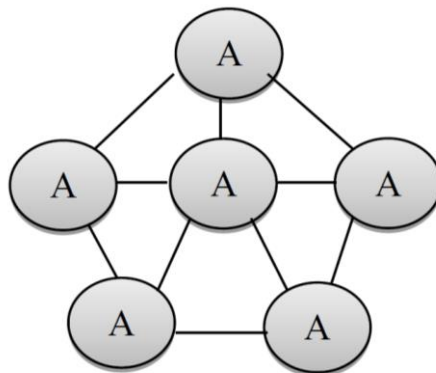
Идея состоит в том, что есть Агент, некоторое его состояние, в котором он находится, множество действий, которые он может предпринять в этом состоянии, ему сообщается, в какой он находится позиции. Дальше Агент выбирает какое-либо действие, после чего попадает в некоторое другое состояние, при этом получает подкрепление: после каждого шага ему сообщают – хорошо или плохо, когда ничего не говорят, игра должна закончиться. Последовательность этих действий в том, к примеру, если 100 шагов не привели к новым результатам, Агент не получает подкрепление, просто умирает, и игра должна закончиться.

Подкрепление может быть на каждом шаге, только на самом последнем шаге. Смысл обучения состоит в том, как выбирать оптимальную позицию. Причем, в отличие от теории игр, Агенту не сообщаются ни правила игры (функции А здесь нет), ни цель игры, ни что будет на следующем шаге, а сообщаются только его ходы. В то же время Агент может в эту игру играть много-много раз и обучиться методом проб и ошибок [Бонабе, 2002].

При такой системе обучения с подкреплением, когда игра может повторяться много-много раз, эти алгоритмы находят очень оптимальные решения, причем при минимальной априорной информации, что для инновационной экономики очень важно. То есть в результате определенных действий в сложных экономических системах, проигрывая реальные сценарии, моделируя ситуации много раз, можно найти оптимальные пути. Этот подход позволяет находить то, что изначально не очевидно, и это очень важно в экономике, потому что, например, успех стартапов складывался на некоторой парадоксальности.

Как показывает практика, парадоксальная экономическая модель тем не менее оказывается очень эффективной, но найти эти моменты в сложной экономической системе очень трудно. Можем утверждать, что обучение с подкреплением дает такую возможность это найти.

Рассмотрим некоторые важные моменты в Агентном подходе. Допустим, есть некоторая инновационная система, в которую входят агенты, они находятся между собой в каких-то отношениях, в каких-то ситуациях. Мы полагаемся при агентном моделировании на то, что произойдет некоторая самоорганизация (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Самоорганизующаяся система при многоагентном подходе**

Самоорганизация системы – это те ситуации, которые мы изучаем с помощью имитационной модели. То есть, выйдут ли предприятия на какой-то цикл, или кто-то один победит, а все остальные разорятся, или войдут в какой-то устойчивый рост, или еще как-то себя поведут не хаотичным образом. С помощью имитационного моделирования при многоагентном подходе мы ищем такую самоорганизацию [Маршалл, 1993].

Успех мультиагентного моделирования достигается тогда, когда, задав модель, выбрав программы разумным образом, найдем такие режимы инновационной системы, когда они будут интересны, либо они будут нетривиальными. Например, есть предприятия определенной отрасли, и наша задача состоит в том, чтобы эти предприятия развивались. Допустим, они находятся на госзаказе, и мы решаем, кому больше дать денег, кому меньше. Такая модель возможна, но без учета конкретной специфики каждого Агента, она довольно сложна. Если запрограммировать различные программы для каждого Агента этой системы, можем выбрать некоторое оптимальное поведение этих Агентов, посмотреть, к чему оно приведет, и найти режим устойчивого роста.

Можно также ставить любые цели, в том числе выявить лидера из имеющихся агентов, а также вычислить стратегию, которая приведет к тому, чтобы лидер остался только один. Разыгрывая такого рода инновационные сценарии, мы можем получить много информации, но предполагается, что агенты обязательно ведут групповую игру. Модель эффективна, когда возникает самоорганизация.

Здесь существует два генеральных подхода в моделировании. Есть моделирование, в котором исходят из общего планирования, то есть когда нужно найти оптимальное поведение всех Агентов сразу, то есть, чтобы они все выиграли, и результаты должны устроить всех Агентов. В этой ситуации нужно решать оптимизационную задачу.

Второй подход – ситуация равновесия, которая описывается в теории игр Джона-Ф. Нэша. Эта стратегия применяется больше в западной экономике. Идея заключается в том, что создаются эгоистичные игроки, но эти эгоистичные игроки связаны общей игрой, вырабатывают такое равновесное поведение, которое выгодно всем, и никому не выгодно

отступать от этого равновесия. Равновесие достигается путем не согласованных действий каждого Агента, который трудится на свое личное благо. В задачах инновационной экономики – это принципиальный момент.

Когда строим какую-либо экономическую модель, могут быть и гибриды, но всегда необходимо думать какая ситуация рассматривается в данном случае. Можно использовать первый подход, в котором применяется линейное программирование, математическое программирование, когда все распределяем. Либо будем рассматривать равновесные ситуации, которые возникнут из эгоистичного поведения каждого Агента. Мультиагентные модели решают второй подход в экономике, когда самоорганизация приводит к равновесию. С помощью этого можно находить оптимальное поведение всей инновационной системы путем равновесия [Сахабиева, 2018].

Считается, что общее планирование более эффективный подход, при котором действия каждого Агента осуществляются централизованным руководством, каждый агент поступает так, как ему сказали. В этом случае выигрыш будет больше, потому что возможно учесть все нюансы, при этом, не будет никаких случайностей, они просто исключаются. Но эти решения в экономике, как правило, неустойчивы, они не работают потому, что экономика – это, прежде всего, выгода. Из этого можно заключить, что общее планирование оптимально, но это неустойчиво.

Если рассматриваем равновесие, в этом случае мы принимаем менее оптимальное решение за счет того, что каждый считает, что другой человек сделает так, как лучше для себя, но в общем такое решение будет устойчивым потому, что есть сдерживание с одной и с другой стороны. Поэтому равновесие обладает некой устойчивостью. Более того, в агентном моделировании в зависимости от того, как выбрать программу, легко будет увидеть, что можно найти действительно некоторое оптимальное групповое поведение, с учетом индивидуальности каждого человека. Таким образом, с помощью обучения с подкреплением можно найти оптимальное поведение для каждого участника.

Отметим еще один очень важный момент, который заключается в выборе программ для каждого Агента. Он может происходить с помощью обучения с подкреплением, или обучение может быть с помощью генетических алгоритмов можно программы поменять местами, можно менять их методом ролевого поведения. Возможно, менять поведение Агента с помощью имитации отжига эволюционным образом, с помощью байесовского подхода, то есть накопить статистику и на основе найти оптимальное поведение.

## **Заключение**

Вывод заключается в том, что мультиагентный подход – эта та основа, на которой можно построить достаточно нетривиальные обучающиеся системы. Таким образом, следует, что за агентным моделированием большое будущее, поэтому имитационное моделирование инновационных экономических процессов лучше делать агентным способом, потому что, если экономика жестко управляема, происходит нарушение важных инновационных процессов.

Если моделировать реальные инновационные экономические процессы, то необходимо применять мультиагентное моделирование потому, что смысл экономики состоит именно в том, что каждый его Агент совершает свои личные действия, исходя из своих личных интересов. Интересы могут не противоречить, то есть, если экономические процессы проходят добровольно, значит они взаимовыгодны, эта игра с ненулевой суммой. Если происходит некий

симбиоз, то обе стороны выбирают. Если каждому Агенту мы дадим цель и возможности интересоваться своей собственной целью, и если цели будут согласованы, то эта модель окажется эффективной при таком инновационном поведении Агентов.

## Библиография

1. Бабкин Е.А. и др. Об имитационном моделировании бизнес-процессов средствами UML // Информационные системы: Теория и практика: сб. науч. работ. 2013. Вып. 3. С. 74-82.
2. Бонабе Э. Моделирование на основе агентов: методы и методы моделирования человеческих систем // PNAS. 2002.
3. Исламутдинов В.Ф., Семенов С.П. Моделирование инновационного поведения экономических агентов. Ханты-Мансийск, 2012. 206 с.
4. Маршалл А. Принципы экономической науки. М.: ПрогрессУниверс, 1993. Том 2. 310 с.
5. Нейман Дж. фон, Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: НАУКА, 1970. С. 983.
6. Преображенский А.П. Построение многокритериальной модели работы предприятия // Наука Красноярья. 2017. Т. 6. № 3-3. С. 183-188.
7. Сахабиева Г.А. Инновационная активность предприятий Российской Федерации // Управленческий учет. 2018. № 6. С. 99-104.
8. Ценина Е.В. Агентное моделирование как новый взгляд на деятельность предприятия // Российское предпринимательство. 2017. Том 18. № 3. С. 367-374.
9. Шамин Р.В. и др. Имитационная модель идентификации и вероятностной оценки рисков планирования финансово-хозяйственной деятельности предприятий наукоемких отраслей // Экономика и предпринимательство. 2014. № 11-4. С. 601-605.
10. Шамин Р.В. и др. Имитационная модель динамики компетенций на предприятиях в условиях экономики знаний // Экономика и управление: проблемы, решения. 2017. Т. 4. № 5-1. С. 88-94.

## Agent modeling as a modern method of research of innovative economics systems

**Marina V. Shermadini**

Lead Engineer,  
Department of Engineering Business and Management Engineering Academy,  
Postgraduate,  
Peoples' Friendship University of Russia,  
117198, 10/2, Miklukho-Maklaya st., Moscow, Russian Federation;  
e-mail: essmd@yandex.ru

### Abstract

The article considers methodological approaches in simulation modeling based on agent modeling, focused on solving practical problems. The relevance of modeling the innovative behavior of economic systems is due to the stimulation of innovation activity, as well as the selection and justification of innovative solutions. The article reveals the features of the application of agent modeling in the general scheme of simulation of innovative economic systems; the main idea of simulation modeling with the help of multiagent approach is determined. The author concludes that that the introduction of these ideas into the innovative behavior of economic systems requires further study, development and practical application. The multiagent approach is the basis on which you can build quite non-trivial learning systems. Thus we see that there is a great future for agent modeling, therefore it is better to make imitational modeling of innovative economic processes in

an agent way, because if the economy is rigidly managed, there is a violation of important innovation processes. If we want to model real innovative economic processes, then it is necessary to apply multi-agent modeling because the essence of the economy consists precisely in the fact that each of its agents perform their personal actions based on his personal interests.

### For citation

Shermadini M.V. (2018) Agentnoe modelirovanie kak sovremennyyi metod issledovaniya innovatsionnykh ekonomicheskikh system [Agent modeling as a modern method of research of innovative economics systems]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 8 (7A), pp. 135-142.

### Keywords

Optimal behavior, agent approach, multi-agent modeling, self-organization, innovative economic systems, game theory.

### References

1. Babkin E.A. et al. (2013) Ob imitatsionnom modelirovanii biznes-protsessov sredstvami UML [About simulation of business processes using UML]. In: *Informatsionnye sistemy: Teoriya i praktika: sb. nauch. Rabot* [Information systems: Theory and practice: coll. sci. works]. Iss. 3.
2. Bonabe E. (2002) Modelirovanie na osnove agentov: metody i metody modelirovaniya chelovecheskikh sistem [Modeling on the basis of agents: methods and methods of modeling human systems]. *PNAS*.
3. Islamutdinov V.F., Semenov S.P. (2012) *Modelirovanie innovatsionnogo povedeniya ekonomicheskikh agentov* [Modeling of innovative behavior of economic agents]. Khanty-Mansiisk.
4. Marshall A. (1993) *Printsiipy ekonomicheskoi nauki* [Principles of economic science]. Moscow: ProgressUnivers Publ. Vol. 2.
5. Neumann J. von, Morgenstern O. (1970) *Teoriya igr i ekonomicheskoe povedenie* [Game theory and economic behavior]. Moscow: NAUKA Publ.
6. Preobrazhenskii A.P. (2017) Postroenie mnogokriterial'noi modeli raboty predpriyatiya [Construction of a multi-criteria model of the enterprise's work]. *Nauka Krasnoyarsk*, 6, 3-3, pp. 183-188.
7. Sakhabieva G.A. (2018) Innovatsionnaya aktivnost' predpriyatii Rossiiskoi Federatsii [Innovative activity of enterprises of the Russian Federation]. *Upravlencheskii uchet* [Managerial Accounting], 6, pp. 99-104.
8. Shamin R.V. et al. (2014) Imitatsionnaya model' identifikatsii i veroyatnostnoi otsenki riskov planirovaniya finansovokhozyaistvennoi deyatelnosti predpriyatii naukoemkikh otraslei [Simulation model of identification and probabilistic assessment of risks of planning financial and economic activity of enterprises of high technology branches]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship], 11-4, pp. 601-605.
9. Shamin R.V. et al. (2017) Imitatsionnaya model' dinamiki kompetentsii na predpriyatiyakh v usloviyakh ekonomiki znaniya [Simulation model of the dynamics of competences at enterprises in the conditions of the knowledge economy]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya* [Economics and management: problems, solutions], 4, 5-1, pp. 88-94.
10. Tsenina E.V. (2017) Agentnoe modelirovanie kak novyi vzglyad na deyatelnost' predpriyatiya [Agent modeling as a new view of enterprise activity]. *Rossiiskoe predprinimatel'stvo* [Journal of Russian Entrepreneurship], 18, 3, pp. 367-374.