

УДК 332.14

DOI: 10.31040/2222-8349-2021-0-3-55-60

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕДЕНИЯ УЧАСТНИКОВ  
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ****© М.М. Низамутдинов, В.В. Орешников**

Рассматриваются вопросы моделирования социально-экономических систем регионального уровня. Перспективным направлением в данной области является применение агентного подхода, базирующегося на учете особенностей и определенной автономности поведения взаимодействующих агентов. При этом одним из ключевых их свойств является способность адаптироваться к изменению условий функционирования. Исходя из этого, для решения задач повышения эффективности разработки стратегических решений необходимым является разработка инструментария поддержки принятия управленческих решений, который будет базироваться на использовании адаптивной имитационной модели региона.

Для этого в статье приводится краткий обзор типов агентов в зависимости от способов обработки и использования воспринимаемой ими информации, представлен алгоритм функционирования агента в рамках имитационной модели. Показано, что информация, полученная агентом, может иметь различный характер. Так, отдельные характеристики каких-либо объектов, явлений формируют базу данных. Совокупность подобной информации формирует прецедент. Совокупность прецедентов позволяет сформировать базу правил.

Проведенный анализ показал, что адаптивность поведения агента становится неотъемлемым условием реализации его целевых установок. Следует отметить, что агент действует в условиях неполной информации, а его действия в большей степени описываются теорией ограниченной рациональности.

Показана структура воспринимаемой информации и предложен подход к отражению адаптивных свойств агента через подсистему обучения. Выделены ее элементы и варианты реализации.

С точки зрения отражения адаптивных свойств агента получение новой информации приводит к пополнению базы данных и базы прецедентов. При этом в рамках аналитической деятельности происходит сопоставление новой информации с ожиданиями, сформированными на основе ранее имевшихся данных и отраженных в базе правил агента. Если полученная информация противоречит имеющимся правилам, то это становится отправной точкой для их пересмотра. Таким образом, адаптация агента в рамках разрабатываемой имитационной модели региона основывается на корректировке базы правил.

Ключевые слова: социально-экономическая система, имитационная модель, агент, адаптивность, обучение.

Управление социально-экономическими системами регионального уровня требует учета множества взаимосвязанных факторов, влияние которых зачастую трудно прогнозируемо. Это во многом связано с тем, что сам объект управления в данном случае является не пассивным исполнителем принятых решений, а проявляет активную реакцию на изменяющиеся условия функционирования [1]. С другой стороны, несмотря на то, что в региональной системе могут быть выделены макроагенты, такие как «Население», «Бизнес», «Государство» и т.д., она не может быть в полной мере описана только на макроуровне. Неоднородность характеристик

и действий составных элементов макроструктур является причиной, по которой необходимо повышать детализацию проводимого анализа. И в данном случае ключевой особенностью рассматриваемых агентов становятся не их количественные параметры, которые могут быть приведены к единой системе учета, и даже не существующие различия в поведении, а способность агентов самостоятельно изменять свои целевые установки и правила поведения. В связи с этим адаптивность как свойство агентов должна быть учтена при их исследовании. Следует обратить внимание, что подобные изменения не могут быть полностью объяснены

НИЗАМУТДИНОВ Марсель Малихович – к.т.н., Институт социально-экономических исследований УФИЦ РАН, e-mail: marsel\_n@mail.ru

ОРЕШНИКОВ Владимир Владимирович – к.э.н., Институт социально-экономических исследований УФИЦ РАН, e-mail: voresh@mail.ru

реакцией на изменение параметров среды функционирования агента. При таком подходе фактически единственным формализованным методом прогнозирования развития регионального развития является агентно-ориентированное моделирование. Однако и в рамках данного подхода на сегодняшний день адаптивные свойства агентов не учитываются в полной мере.

Методологические проблемы в сфере стратегического планирования на региональном уровне обосновывают необходимость разработки гибкого инструментария управления, позволяющего, с одной стороны, учитывать фундаментальные изменения принципов взаимодействия субъектов в рамках инновационной экономики, а с другой – оперативно оценивать последствия принимаемых решений. В отличие от существующих информационно-аналитических систем предлагаемый к разработке инструментарий поддержки принятия управленческих решений будет базироваться на использовании адаптивной имитационной модели региона. Такой класс моделей позволяет целостно отражать адаптивное поведение экономических агентов и региональной системы управления в процессе реализации их стратегий, он отличается наличием встроенных контуров взаимодействия субъектов для различных классов экономических ситуаций и позволяет адаптировать их ресурсные стратегии при согласовании общих целей функционирования.

Говоря об экономических агентах как основе формирования модели региональной социально-экономической системы, необходимо выработать концептуальный взгляд на агента как на сущность, принимающую решения. Исследования в области искусственного интеллекта также обращают свое внимание на эту проблему, рассматривая разные типы так называемого интеллектуального агента [2]. В рамках данного подхода всех агентов делят на пять групп в зависимости от обработки и использования воспринимаемой информации.

- **Агенты с простым поведением.** Подобные агенты реализуют выбор того или иного действия исключительно на основе базы правил вида «если..., то...». Отсутствие у агентов «памяти» и механизмов обучения весьма ограничивают возможности их применения в рамках разработки модели территориальной социально-экономической системы.

- **Агенты с поведением, основанным на модели** в отличие от предыдущих агентов,

имеют представление об окружающей среде, которая находится за пределами их наблюдения. Таким образом, «модель мира» имеющаяся в распоряжении агента, позволяет ему «замещать» отсутствующие данные. Однако, как и в предыдущем случае, имеет место достаточно простая ответная реакция, которая не базируется исключительно на соотношении условия и действия.

- **Целенаправленные агенты.** Эта группа агентов способна различать ситуации по степени их желаемости. Благодаря указанному свойству появляется возможность выбора пути развития с тем, чтобы достичь некоторой заранее определенной цели.

- **Практичные агенты.** Как отмечают исследователи, целенаправленные агенты различают только состояния, когда цель достигнута, и когда не достигнута. Практичные агенты, помимо этого, способны различать, насколько желанно для них текущее состояние. Такая оценка может быть получена с помощью «функции полезности», которая проецирует множество состояний на множество мер полезности состояний.

- **Обучающиеся агенты.** Рассматриваемая группа агентов отличается способностью обучаться и приспосабливаться к изменению обстановки. Следует отметить, что разные исследователи выделяют разные наборы характеристик, необходимых для отнесения агентов к этой группе.

В литературных источниках встречаются и иные подходы к классификации агентов по их способностям обрабатывать и использовать информацию. Так, например, распространение получило понятие «интеллектуальный агент», характеристики которого во многом соответствуют практичным и обучающимся агентам [3]. Несмотря на различие подходов, так или иначе в рамках формирования экономико-математических моделей развития региональных систем, базирующихся на принципах агентного моделирования, для каждого из агентов должны быть определены измеримые показатели его развития, заданы приоритеты (целевые ориентиры развития) и определены механизмы, которые им применяются для их достижения. Наиболее сложной задачей в рамках формирования модели является именно разработка данных механизмов, поскольку они отражают поведение агента, реализацию функции принятия решений. При этом все эти действия основываются на получении, хранении, обработке и использо-

вании информации и знаний, включая реализацию процедур обучения агента. То есть взаимодействие с внешней средой для агента в данном случае представляет собой в первую очередь обмен некой информацией (значением некоторых параметров).

На наш взгляд, адаптивные свойства агентов в первую очередь находят свое отражение через возможности его обучения [4]. В связи с этим разработка экономико-математической модели сложной социально-экономической системы должна включать принципиальную возможность изменения всех параметров агента, начиная от отдельных показателей текущего состояния и заканчивая ключевыми целевыми установками, определяющими общую направленность поведения. На рис. 1 представлена укрупненная последовательность этапов функционирования агента в рамках имитационной модели территориальной системы с точки зрения информационного обеспечения данного процесса.

Следует отметить, что этапами их следует называть лишь условно, т.к. они могут реализовываться параллельно во времени и включать замкнутые циклы. Взаимодействуя со средой, элементами которой являются также и другие агенты системы, рассматриваемый агент получает различную информацию [5], которая в совокупности с информацией о собственном состоянии хранится в базе знаний агента. Получаемая информация подвергается анализу, заключающемуся в сопоставлении полученных данных с ожиданиями агента. Результатом проведенного анализа становится некоторое решение, реализация которого оказывает влияние на развитие как самого агента, так и других агентов. Одновременно с этим у агента формируется некоторое ожидание изменения параметров в результате этих действий.

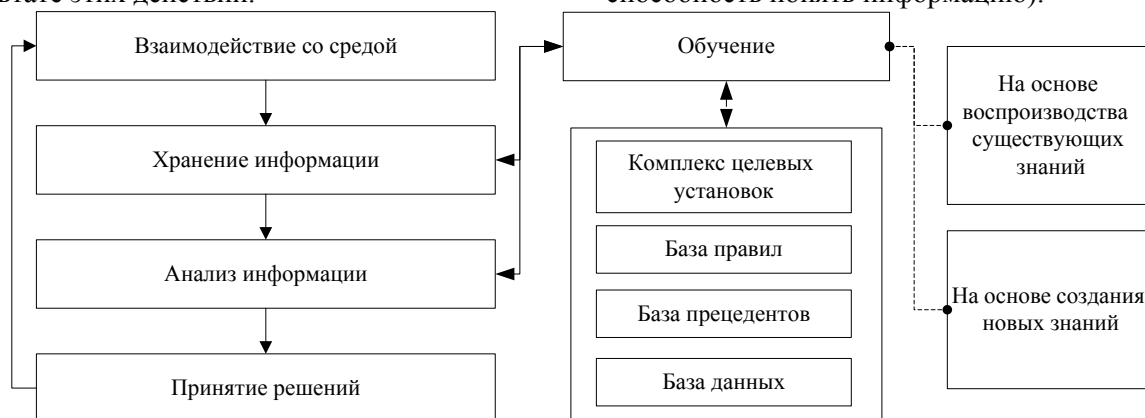


Рис. 1. Этапы функционирования агента в рамках имитационной модели. Источник: составлено авторами

В данном аспекте следует обратить внимание, что информация, полученная агентом, может иметь различный характер. Отметим, что на базовом уровне это могут быть отдельные данные о состоянии каких-либо объектов, явлений (формируют базу данных). Совокупность подобной информации формирует прецедент. Совокупность прецедентов позволяет сформировать базу правил, описываемую по схеме «при наблюдении конкретных значений показателей группы А следует ожидать определенных значений группы Б». Частным случаем следует считать базу правил поведения агента, в рамках которой показатели группы А выступают в качестве условий для принятия решений агентом, описываемых через изменение управляемых параметров группы Б. Необходимо подчеркнуть, что база правил может формироваться не только через прецеденты, но и, например, директивным методом.

Следует принимать во внимание, что реальный экономический субъект не обладает всей полнотой информации. С одной стороны, часть информации может быть недоступна ему, а с другой стороны – часть информации может быть им проигнорирована (т.е. он может считать ее недостаточно важной).

Рассматривая вопрос о доступности информации, следует отметить два условия: 1) доступ к источнику информации; 2) наличие соответствующих «рецепторов», обеспечивающих возможность получения данной информации. Первый аспект определяется положением агента в социально-экономической системе, его взаимосвязями с другими агентами, вовлеченностью в потоки информации. Второй аспект с рассматриваемой точки зрения носит скорее не физический смысл, а интеллектуальный (как способность понять информацию).

Вопрос о том, насколько точно данная информация отражает реальную ситуацию и насколько верно агентом она интерпретируется, остается открытым и не рассматривается нами в рамках данного исследования<sup>1</sup>. Однако подчеркнем, что для целей моделирования подобный подход, базирующийся на разумном ограничении рассматриваемых параметров, отражает поставленную задачу. Исходя из того, что модель является упрощенным образом реального объекта, отражающим наиболее существенные с точки зрения исследования характеристики данного реального объекта, то и упрощенный образ информационного поля агента также должен отражать лишь наиболее существенные его характеристики.

Важным компонентом предлагаемой системы описания агента является его «роль», то есть характеристика поведения в условиях, определяемых различными институтами. Каждый экономический субъект обладает целым комплексом ролей, используемых при взаимодействии с другими агентами. В этом контексте необходимо принять во внимание, что каждая роль обладает набором целей, правил и альтернатив поведения, которые в литературе также называются «рутинами». Понятие рутины было введено Нельсоном и Уинтером применительно к деятельности организаций и определено ими как «нормальные и предсказуемые образцы поведения». Подавляющая часть действий агента подпадает под понятие рутин, а совокупность правил в формализованном виде может быть представлена как база правил. Исследователи отмечают, что переменчивое целеполагание выступает в качестве одной из иллюстраций адаптивной рациональности экономических агентов.

С точки зрения отражения адаптивных свойств агента, получение новой информации приводит к пополнению базы данных и базы прецедентов. При этом в рамках аналитической деятельности происходит сопоставление новой информации с ожидаемой, которая была сформирована на основе ранее имевшейся информации и отраженной в базе правил агента. Если полученная информация противоречит имеющимся правилам, то это становится отправной точкой для их пересмотра. То есть адаптация агента в рамках разрабатываемой имитационной модели региона основывается на коррек-

ровке базы правил. При этом эта корректировка направлена на то, чтобы достигать целевых установок. Однако в определенных условиях агент может столкнуться с ситуацией, когда даже корректировка правил не позволяет ему реализовать целевые установки. В подобной ситуации требуется произвести корректировку самих целевых установок, что также является адаптацией к изменившимся условиям.

На наш взгляд, обучение как отражение адаптивных свойств агента, может происходить двумя способами. Первый предполагает использование полученных им знаний от других агентов. Второй способ базируется на формировании новых знаний. При этом новое решение на следующем этапе моделирования становится доступным в виде прецедента для других взаимодействующих агентов [6].

Проведенный анализ показал, что адаптивность поведения агента становится неотъемлемым условием возможности реализации его целевых установок. Однако следует отметить, что агент действует в условиях неполной информации, а его действия в большей степени описываются теорией ограниченной рациональности [7].

Ограниченная рациональность в классическом смысле описывается положение, когда человек рассматривает небольшое количество вариантов, существенно различающихся друг от друга, и выбирает тот, который находится в наибольшем согласии с его уровнем устремлений (а не максимизацией полезности [8]). В то же время к данному вопросу можно подойти с той позиции, что есть набор действий, которые могут быть реализованы с определенной вероятностью.

В связи с этим абсолютная адаптация к изменяющимся условиям невозможна не только в силу наличия у агента определенных уже сформировавшихся правил и целевых установок, но и в связи с данными ограничениями. Вместе с тем происходящие адаптивные изменения становятся фактором для аналогичной реакции со стороны других элементов социально-экономической системы, приводя тем самым к ее эволюции.

Предложенный подход к моделированию поведения участников социально-экономических процессов может быть использован в рамках исследования свойств систем различного уровня, однако наибольший интерес, на наш взгляд, представляет рассмотрение данного вопроса при изучении параметров развития мезо- и макросистем, в частности миграционного пове-

<sup>1</sup> Хотя, конечно же, одна и та же информация может интерпретироваться по-разному и приводить к принятию разных решений.

дения населения. Это позволит учесть влияние на принятие решений агентами не только экономических факторов, но и особенностей социального развития, их территориального распределения и т.д. [9]. В связи с этим в рамках дальнейших исследований авторов предполагается апробация предложенного подхода при построении агентно-ориентированной модели региональной системы и модели пространственной миграции населения.

*Данное исследование выполнено в рамках Государственного задания УФИЦ РАН № 075-00504-21-00 на 2021 г.*

### Литература

1. Аитова Ю.С. Проблема формирования прогноза при разработке стратегии развития муниципального образования // Проблемы функционирования и развития территориальных социально-экономических систем: Материалы XI Международной научно-практической интернет-конференции. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2017. С. 80–84.
2. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 432 с.
3. Zhahov N.V., Alpeeva E.A., Krivoshlykov V.S., Nesenyuk E.S. Inevitability of structural and economic reforms of regional economy // Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019. P. 4392–4397.
4. Низамутдинов М.М., Орешников В.В. Инструментарий прогнозирования изменения параметров регионального развития на основе адаптивно-имитационного подхода // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015 Proceedings of the 3rd International Conference. 2015. С. 211–215.
5. Ахметов Т.Р. Теория эволюции информации в инновационной экономике // Фундаментальные исследования. 2018. № 11–2. С. 176–182.
6. Буньковский Д.В. Прогнозирование эффекта от взаимодействия крупного и малого предпринимательства в нефтепереработке и нефтехимии // Современная экономика: проблемы и решения. 2013. № 9. С. 126–132.
7. Мигранова Л.И. Механизм корректировки иррационального поведения экономических агентов рынка образовательных услуг // Проблемы функционирования и развития территориальных социально-экономических систем. VIII Всероссийская

научно-практическая интернет-конференция. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2014. С. 159–162.

8. Губанова Е.В. Анализ инновационной инфраструктуры региона // Калужский экономический вестник. 2016. № 2. С. 35–40.
9. Гатауллин Р.Ф., Садыков Р.М. Личное подсобное хозяйство как фактор обеспечения устойчивого развития сельских территорий // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 2 (18). С. 234–238.

### References

1. Aitova Yu.S. The problem of forming a forecast when developing a strategy for the development of a municipal formation. Problemy funktsionirovaniya i razvitiya territorial'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistem. Materialy XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii. Ufa: ISER USC RAS, 2017, pp. 80–84.
2. Emelyanov V.V., Kureichik V.V., Kureichik V.M. Theory and practice of evolutionary modeling. M.: FIZMATLIT, 2003, 432 p.
3. Zhahov N.V., Alpeeva E.A., Krivoshlykov V.S., Nesenyuk E.S. Inevitability of structural and economic reforms of regional economy. Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA, 2019, pp. 4392–4397.
4. Nizamutdinov M.M., Oreshnikov V.V. Toolkit for forecasting changes in regional development parameters based on the adaptive-simulation approach. Information Technologies for Intelligent Decision Making Support ITIDS'2015 Proceedings of the 3rd International Conference, 2015, pp. 211–215.
5. Akhmetov T.R. The theory of information evolution in an innovative economy. Fundamental'nyye issledovaniya, 2018, no. 11–2, pp. 176–182.
6. Bunkovsky D.V. Forecasting the effect of the interaction of large and small businesses in oil refining and petrochemistry. Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya, 2013, no. 9, pp. 126–132.
7. Migranova L.I. The mechanism for correcting the irrational behavior of economic agents of the educational services market. Problemy funktsionirovaniya i razvitiya territorial'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistem. Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii, Ufa: ISER USC RAS, 2014, pp. 159–162.
8. Gubanova E.V. Analysis of the region's innovation infrastructure. Kaluzhskiy ekonomicheskii vestnik, 2016, no. 2, pp. 35–40.
9. Gataullin R.F., Sadykov R.M. Personal subsidiary farming as a factor in ensuring the sustainable development of rural areas. Vestnik APK Stavropol'ya, 2015, no. 2 (18), pp. 234–238.



**MODELING OF ADAPTIVE BEHAVIOR PROPERTIES  
OF PARTICIPANTS OF SOCIO-ECONOMIC PROCESSES**

© **M.M. Nizamutdinov, V.V. Oreshnikov**

Institute of Social and Economic Researches – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre  
of the Russian Academy of Sciences,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

The article deals with the issues of modeling socio-economic systems at the regional level. A promising direction in this area is the use of an agent-based approach based on taking into account the features and a certain autonomy of the behavior of interacting agents. Moreover, one of their key properties is the ability to adapt to changing conditions of functioning. Proceeding from this, in order to solve the problems of increasing the efficiency of developing strategic decisions, it is necessary to develop tools to support management decisions, which will be based on the use of an adaptive simulation model of the region. To do this, the article provides a brief overview of the types of agents depending on the methods of processing and using the information they perceive, an algorithm for the functioning of the agent within the framework of the simulation model is presented. It is shown that the information received by the agent can be of different nature. Separate characteristics of any objects, phenomena form a database. The collection of such information forms a precedent. A set of precedents form a rule base. The analysis showed that the adaptability of the agent's behavior is becoming an essential condition for the implementation of his goals. It should be noted that the agent acts in conditions of incomplete information, and his actions are largely described by the theory of bounded rationality. The structure of perceived information is shown and an approach to reflecting the adaptive properties of an agent through the learning subsystem is proposed. Its elements and implementation options are highlighted. From the point of view of reflecting the adaptive properties of the agent, obtaining new information leads to the replenishment of the database and the base of use cases. At the same time, within the framework of analytical activities, new information is compared with the expectations formed on the basis of previously available data and reflected in the agent's rule base. If the information received is contrary to the existing rules, then this becomes the starting point for their revision. Thus, the adaptation of the agent within the framework of the developed simulation model of the region is based on the adjustment of the rule base.

Key words: socio-economic system, simulation model, agent, adaptability, learning.