

УДК 303.09

doi:10.18720/SPBPU/2/id23-100

*Поспелов Капитон Николаевич*<sup>1, 2</sup>,  
специалист Дирекции по качеству, студент

## **ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ В СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

<sup>1</sup> Россия, Санкт-Петербург, ООО «Главстрой-СПб специализированный застройщик»,

<sup>2</sup> Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический  
Университет Петра Великого, Институт компьютерных наук и  
технологий, Высшая школа киберфизических систем и управления,

<sup>1, 2</sup> kap.pospelov@yandex.ru

**Аннотация.** Проблемой, поднимаемой в статье, является необходимость формализации подходов к моделированию социального аспекта социотехнических и социально-экономических систем. Целью статьи является классификация подходов к моделированию человеческого поведения и формулировка принципов такой классификации. В статье приводится описание пяти подходов к моделированию человеческого поведения в социотехнических и социально-экономических системах.

Приводятся общие принципы выбора подхода и данные об известных инструментах для реализации моделей в соответствии с подходами. На основании систематизированных данных выделяются проблемы в области моделирования квазирациональности в социотехнических и социально-экономических системах.

**Ключевые слова:** человеческое поведение, социотехнические системы, социально-экономические системы, моделирование, классификация, агент, квазирациональность.

**Kapiton N. Pospelov,**  
Quality Management Specialist, Student

## **APPROACHES TO MODELING HUMAN BEHAVIOR IN SOCIOTECHNICAL AND SOCIOECONOMIC SYSTEMS**

<sup>1</sup> “Glavstroy-SPb specialized developer” LLC, St. Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> Higher School of Cyber-Physical Systems and Control,  
Institute of Computer Science and Technologies,

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia;

<sup>1, 2</sup> kap.pospelov@yandex.ru

**Abstract.** The problem solved in the paper is the need to formalize approaches to modeling the social aspect of sociotechnical and socio-economic systems. The purpose of the paper is to classify approaches to modeling human behavior and formulate the principles of such classification. The article describes five approaches to modeling human behavior in sociotechnical and socio-economic systems. The general principles of approach selection and information about known tools for implementing models in accordance with the approaches are given. Based on the systematized data, the problems in the field of quasi-rationality modeling in sociotechnical and socio-economic systems are highlighted.

**Keywords:** human behavior, sociotechnical systems, socio-economic systems, modeling, classification, agent, quasi-rationality.

### **Введение**

Имитационное моделирование на настоящий момент можно считать признанным инструментом для решения широкого спектра задач в системах разного рода — от относительно простых технологических (например, ленты конвейера) до сложных социальных (тенденции рынка, эпидемиология и т. д.). При этом, решая задачу моделирования системы, включающей в себя существенный социальный аспект, исследователь может столкнуться с тем, что человеческое поведение в рамках модели сложно воспроизвести правдоподобно. Варианта выхода из этой ситуации обычно два: либо заявить модель как упрощенную и не вполне адекватную реальности, т. е. имеющую ограничения (так заявляется модель Басса и некоторые экономические модели, основанные на рациональных агентах [3]), либо калибровать модель с целью подобрать оптимальные значения входных данных для получения валидных выходных данных. Человек сложно поддается моделированию, поскольку в отличие

от условной машины не характеризуется ни постоянством, ни простотой своих действий. Однако не всегда человека нужно моделировать детально, стараясь хотя бы частично отразить его реальную сложность. В некоторых случаях простые методы моделирования достаточны для создания полезной имитации, а излишнее упрощение приведет только к дополнительным затратам без видимого улучшения результатов.

В этой связи разумно предпринять попытку систематизировать подходы к моделированию человеческого поведения и выделить некоторые общие правила для использования того или иного подхода. Настоящая работа предлагает пять основных подходов к моделированию поведения человека в различных имитируемых системах. В списке ниже эти подходы расположены в порядке увеличения сложности моделирования:

1. Человек как объект, действующий на основе строгих правил;
2. Человек как объект, действующий вероятностно;
3. Человек как рациональный агент;
4. Человек как обучающийся агент;
5. Человек как квазирациональный агент.

График на рис. 1 условно изображает все эти подходы на плоскости «Адекватность — Сложность», показывая соотношение между тем, насколько выполненная с учетом принципов подхода модель будет адекватна поведению реальных людей, и тем, сколько усилий придется затратить на ее создание. График носит иллюстративный характер и основан исключительно на авторском мнении. При этом данные из рассмотренных источников действительно указывают на подобное экспоненциальное возрастание сложности моделирования при увеличении его адекватности.

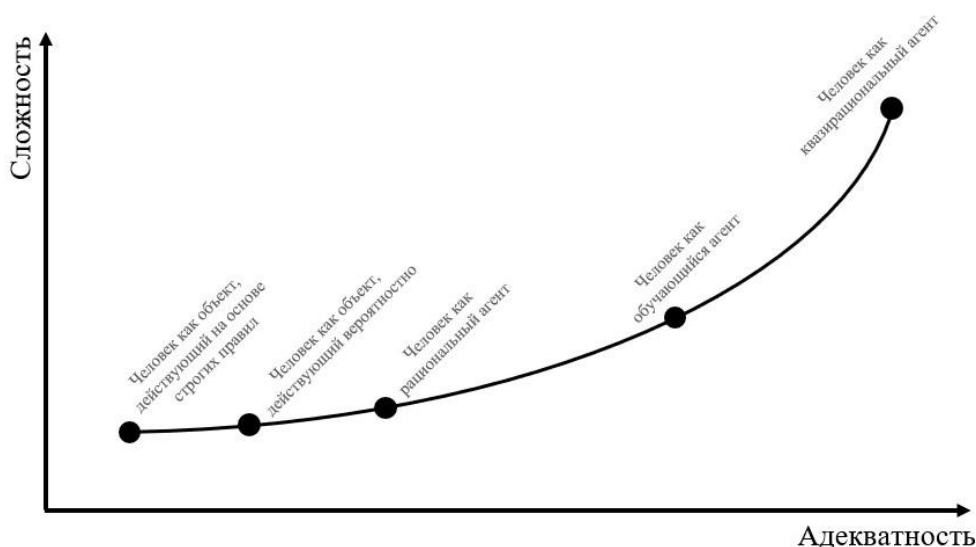


Рис. 1. Подходы к моделированию человеческого поведения на плоскости «Адекватность – Сложность»

Каждый из этих подходов будет рассмотрен в рамках работы отдельно, для каждого будут предложены общие правила, по которым реальные действия людей могут служить основанием для применения данного подхода, а также известные способы моделирования в рамках подхода.

### **1. Человек как объект, действующий на основе строгих правил**

В рамках работы вводится нестандартное определение «строгих правил» — под ними здесь понимаются правила, полностью описывающие весь процесс, в котором задействован человек. Процесс описывается в форме некоторого ветвящегося или линейного алгоритма (иными словами, строгие правила работают тогда, когда до начала выполнения действия человек может полностью описать это действие во всех возможных вариациях без исключений).

Человек может быть представлен действующим по строгим правилам в ситуациях, когда выполняется одновременно два следующих условия:

- наличие регламента, алгоритма, стандарта или другой формы утверждения стандартизированной работы;
- механический характер действий, при котором процессы мышления не задействованы либо задействованы только для получения обратной связи (например, требуется оценить состояние объекта и принять решение по дальнейшим действиям).

Строгие правила для людей имеют место в современном мире в простейших бытовых и производственных операциях, и одним из признаков действий на основе постоянных правил может считаться явная возможность замены человека на автоматику. Примерами таких операций могут служить: участок конвейера (контроль качества, покраска детали, сборка и т. п.), сортировка заявок (письма в отделении почты, горячая линия и т. п.).

При этом подходе к моделированию человеческого поведения не возникает сложностей: для него применимы классические инструменты имитационного моделирования, и при этом необязательно даже применять агентный подход к созданию имитаций (вполне успешно такие процессы описываются, например, в рамках дискретно-событийного моделирования). Основной задачей станет грамотное измерение параметров процесса — к примеру, времени выполнения операции, — однако для действий на основе строгих правил такая задача является лишь трудоемкой, но не сложной. Для оценки времени работы человека на участке конвейерной ленты вполне успешно применяется испытанный способ многократных измерений с помощью обычного секундомера, показания которого аппроксимируются статистическими распределениями.

## **2. Человек как объект, действующий вероятно**

Этот подход к моделированию поведения людей немногим сложнее описанного ранее. Очевидно, применяется он в случаях, когда сам человек действует интуитивно или когда отсутствует возможность (либо потребность) точной оценки его мотивов и действий.

Моделировать поведение человека как вероятностное можно в одном из двух случаев:

- поведение действительно вероятностное: отсутствует прямое полное влияние субъекта на исход действия (исход подвержен случайным или вероятностным изменениям); подразумевается несколько альтернатив, для реализации которых требуется совершить в общем аналогичные действия (либо бездействовать) и которые могут привести к успеху и провалу с некоторой вероятностью; действие основано скорее на интуитивном, чем на аналитическом мышлении, либо вообще не задействует процессы мышления и происходит независимо от воли субъекта;
- поведение упрощенно вероятностное: человек действует в соответствии с мотивом, который не требуется или не представляется возможным формализовать в рамках моделирования, но который можно упростить до некоторой вероятности совершения различных действий.

Примерами для первого случая могут служить заключение пари или заражение болезнью. Примерами для второго — непредсказуемые или не нуждающиеся в предсказании в рамках модели действия конкретного индивида (покупка продукта на основании просмотра рекламы, реакция на готовящееся разовое предложение и т. п.). Моделирование поведения больших групп людей (толпы) также может быть осуществлено при таком подходе, поскольку рассмотрение каждого члена группы в отдельности излишне трудоемко.

Принципиально этот подход не требует изменения привычных процессов имитационного. К примеру, моделирование поведения толпы — популярная задача современного имитационного моделирования, для которой уже разработаны разнообразные готовые решения [1, 4]. Проблемой выступает оценка вероятности того или иного действия, и для этого необходимо привлекать методы и инструменты математической статистики: например, анализ сетевых мотивов [5].

## **3. Человек как рациональный агент**

Этот подход является традиционным для социально-экономических моделей. Суть его сводится к представлению человека в виде агента, принимающего в некоторой моделируемой ситуации оптимальное решение (например, переход от покупки более дорогого товара к покупке более дешевого при прочих равных условиях).

Человек представляется рациональным агентом при соблюдении следующих условий:

- отсутствует стандарт выполнения операций и, как правило, стандарт результата их выполнения (но может присутствовать представление о желаемом результате);
- действие уникально, предпринимается единожды или небольшое число раз, при этом исправление совершенной ошибки обходится дорого в терминах времени/денег/репутации и т. п.;
- действие активизирует процессы мышления, требует анализа и формирования выводов;
- субъект обладает полной и объективной информацией, а также ассоциирует свои потребности с потребностями системы.

Особенно обращает на себя внимание последний пункт — именно он отличает рациональных агентов от квазирациональных, описанных ниже. Это проявляется не только во «всеведении» агента, но и в его стремлении к удовлетворению потребностей всей системы — идеологически рациональный агент в равной степени учитывает интересы всех заинтересованных сторон [8]. Благодаря этому моделирование существенно упрощается, но вместе с тем становится менее адекватным реальности. Несмотря на обширный опыт разработки моделей на базе такого подхода, он все чаще подвергается критике. В то же время, отмечается, что разрабатывать модели с рациональными агентами проще, а потому переход к моделированию квазирациональности менее вероятен, чем сохранение традиционного — строго-рационального — подхода [3].

Человек может с достаточной точностью быть представлен рациональным агентом в ограниченном перечне систем — там, где он действительно обладает полной (или существенной, стремящейся к полной) информацией о ситуации. Такие системы, как правило, локальны и не представляют интереса для моделирования: примером может служить принятие персональных решений в отношении семьи и быта. При этом на практике рациональными агентами люди представляются в более сложных системах (например, рыночных или организационных моделях), что является причиной низкой степени адекватности модели [3].

Рациональные агенты могут моделироваться традиционными способами имитаций с включением алгоритмов оптимизации. Для моделирования рациональности можно привлекать математический аппарат, удовлетворяющий потребности исследователей [12].

#### **4. Человек как обучающийся агент**

Термин «обучающийся агент» (или «обучающийся интеллектуальный агент») взят из области машинного обучения, и в рамках этой работы закономерно связан с соответствующей терминологией. Под «обучающимся агентом» понимается объект моделирования, обладающий рядом особенностей: он обучается и развивается в процессе взаимодей-

ствия с окружающей средой, приспосабливается в режиме реального времени, быстро обучается на основе большого объёма данных, пошагово приспосабливает новые способы решения проблем, обладает базой примеров с возможностью её пополнения, анализирует себя в терминах поведения, ошибки и успеха [9].

Человек может быть представлен как обучающийся агент при выполнении следующих условий:

- отсутствует стандарт выполнения операций (но может присутствовать стандарт результата их выполнения);
- повторения действия многочисленны и условно аналогичны (постоянно повторно иницируются, но допускают свободу выполнения);
- действия активизируют процессы мышления, стимулируют и допускают стремление обеспечить эффективность и комфорт исполнения.

Человека разумно моделировать как обучающегося агента в контексте принятия многочисленных аналогичных решений или совершения многочисленных аналогичных действий, которые не являются стандартизованными. Примеры: размещение оборудования на рабочей станции, выбор оптимального времени выхода из дома на работу, приготовление пищи, выбор блюда в часто посещаемом кафе и другие подобные решения и действия.

Общей характеристикой решений, принимаемых человеком как обучающимся агентом, является низкий уровень важности таких решений — отдельные решения не влияют на жизнь человека в перспективе более далекой, чем 1–2 дня. В случае, если человеку нужно принять более важные решения, его разумно представлять рациональным (или квазирациональным) агентом.

Для моделирования обучающихся интеллектуальных агентов подходят разработанные методы машинного обучения, обучения с подкреплением: например, Q-обучение [14], — после интеграции в имитационные модели они позволяют добиться представления человека как агента, взаимодействующего со средой в режиме обучения.

## **5. Человек как квазирациональный агент**

Квазирациональность агента — понятие, использованное Ричардом Талером в его статье «От Homo Economicus к Homo Sapiens» и касающееся в первую очередь моделирования экономических систем [3]. В рамках этой работы в понятие «квазирациональности» включается несколько возможных видов нерациональных агентов, а именно:

- мнимо-рациональные (ограниченно-рациональные) агенты — агенты, которые стремятся поступать рационально, но из-за неполноты информации неспособны на это (в большинстве случаев человека можно представить именно таким агентом);

– нерационально мотивированные агенты — агенты, поступающие с точки зрения исследователей нерационально из-за своих собственных мотивов: недоброжелательные агенты, агенты с неизвестными целями;

– полностью иррациональные («безумные») агенты — агенты, поступающие иррационально по своей природе [12].

Квазирациональный подход к моделированию человеческого поведения применим в тех же условиях внешней среды, что и рациональный, однако теперь агент не может обладать полной информацией о системе и потому не может принимать оптимальные решения, кроме как по стечению обстоятельств, при котором выводы из неполной информации будут аналогичны рациональным выводам.

Этот тип поведения является наиболее сложным для формализации: в первую очередь, из-за высокой вероятности уникального квазирационального мышления. На данный момент предлагается несколько относительно простых способов работы с квазирациональными агентами: предоставлять агенту ограниченный набор входных данных, задать агенту вероятностный выбор из нескольких наборов информации (из которых только один будет истинным) [6], допустить вероятность ошибки агента (агент действует по оптимальному варианту с некоторой вероятностью, как правило, близкой к 1) [7], ввести «порог безразличия» для показателей (некоторое неоптимальное значение, начиная с которого любое значение будет считаться агентом оптимальным) [10], перейти к обучающемуся агенту [9, 13]. По большей части все эти способы ориентированы на ограниченно-рациональных агентов, а для нерационально мотивированных агентов или полностью иррациональных агентов предлагаются более сложные методы распознавания целей [11].

Человек стремится к рациональному поведению в большинстве случаев принятия решений в бытовых и профессиональных ситуациях. Однако в большинстве этих ситуаций говорить можно только о квазирациональности принимаемых решений. Различные исследователи проводят параллели между квазирациональностью и эмоциональностью [3], а также между квазирациональностью и потребностями отдельного индивида, не всегда совпадающими с потребностями системы или других индивидов [11]. Это свидетельствует о том, что исследование перспектив моделирования квазирациональности лежит в области когнитивной психологии, и на данный момент говорить о возможностях такого моделирования можно лишь ограниченно.

### **Результаты и обсуждение**

Предложенную классификацию подходов к моделированию человеческого поведения можно рассматривать только как краткий обзор и попытку систематизации существующего научного знания, по большей ча-

сти разрозненного. В текущем состоянии метод имитационного моделирования не позволяет точно описывать поведение людей в сложных социально-экономических и социотехнических системах — причиной тому является проблема квазирациональности, подробно рассмотренная в соответствующем разделе статьи.

Общие сведения о выделенных подходах к моделированию человеческого поведения приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Общие сведения о подходах к моделированию человеческого поведения**

| Наименование                                             | Условия применения                                                                                                                                                                                                                                     | Особенности применения                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Человек как объект, действующий на основе строгих правил | 1. Наличие регламента процесса;<br>2. Механический характер действий объекта                                                                                                                                                                           | Отсутствуют (применимы обычные инструменты моделирования)                                                                                                                   |
| Человек как объект, действующий вероятно                 | Интуитивные действия объекта ЛИБО необходимость упростить поведение в рамках модели                                                                                                                                                                    | Отсутствуют (применимы обычные инструменты моделирования)                                                                                                                   |
| Человек как рациональный агент                           | 1. Отсутствие регламента процесса;<br>2. Действие уникально, цена ошибки высока;<br>3. Действие требует анализа и формирования выводов;<br>4. Субъект обладает полной и объективной информацией, учитывает общие интересы                              | Требуется использование методов оптимизации                                                                                                                                 |
| Человек как обучающийся агент                            | 1. Отсутствие регламента процесса;<br>2. Повторения действий многочисленны и условно аналогичны;<br>3. Допускается стремление к эффективности и комфорту                                                                                               | Требуется использование методов машинного обучения и их интеграция в имитационные модели                                                                                    |
| Человек как квазирациональный агент                      | 1. Отсутствие регламента процесса;<br>2. Действие уникально, цена ошибки высока;<br>3. Действие требует анализа и формирования выводов;<br>4. Субъект не обладает полной или объективной информацией, ЛИБО действует против системы, ЛИБО иррационален | Требуется адекватное описание квазирациональности (вероятностная рациональность, ограничение информации, переход к обучающемуся агенту и т. д.), единые правила отсутствуют |

Существующие на данный момент подходы и инструменты моделирования социальных аспектов сложных систем в любом случае дают значительно упрощенное представление о реальности, однако для решения некоторых (производственных, экономических и пр.) задач такого пред-

ставления оказывается достаточно. При этом исследования человеческого поведения могут служить основой для предиктивного моделирования в сложных системах, что откроет перед исследователями новые перспективы в области безопасности, эффективности и стабильности социально-экономических и социотехнических систем.

Именно изучение квазирациональности может стать отправной точкой для будущих исследований, важных не только для развития имитационного моделирования как метода, но и различных областей науки, в которых имитации могут служить основой для формирования нового или дополнения существующего научного знания.

### **Список литературы**

1. Бекларян А.Л. Имитационная модель поведения толпы в среде разработки AnyLogic // Вестник Бурятского государственного университета. – 2015. – № 9. – С. 40–53.
2. Седова А.К. Методические аспекты исследования рационального и иррационального поведения экономических агентов // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 12. – С. 251–254.
3. Талер Р. От Homo economicus к Homo sapiens // Философско-литературный журнал «Логос». – 2014. – № 1 (97) – С. 141–154.
4. Терешонок М.В., Рауткин Ю.В. Оценка и прогнозирования деятельности участников массовых мероприятий с помощью интеллектуального анализа параметров трафика сетей мобильной связи // Вопросы кибербезопасности. – 2018. – № 3 (27). – С. 70–76.
5. Юдина М.Н. Анализ несмещенности и эффективности оценок частот встречаемости сетевых мотивов в статистических методах расчета // Вестник кибернетики. – 2019. – № 4 (36). – С. 34–45.
6. Diks C., Dindo P. Informational differences and learning in an asset market with boundedly rational agents // Journal of Economic Dynamics & Control. – 2008. – Vol. 32. – Pp. 1432–1465.
7. Ghasemieh H., Ghodsi M., Mahini H., Ali Safari M. Pricing in population games with semi-rational agents // Operations Research Letters. – 2013. – Vol. 41. – Pp. 226–231.
8. Ghavami S.M., Taleai M., Arentze T. Socially rational agents in spatial land use planning: a heuristic proposal based negotiation mechanism // Computers, Environment and Urban Systems. – 2016. – Vol. 60. – Pp. 67–78.
9. Kasabov N., Introduction: hybrid intelligent adaptive systems // International Journal of Intelligent Systems. – 1998. – Vol. 6. – Pp. 453–454.
10. Liu J., Zhou X. Capacitated transit service network design with boundedly rational agents // Transportation Research Part B. – 2016. – Vol. 93. – Pp. 225–250.
11. Masters P., Sardina S. Expecting the unexpected: Goal recognition for rational and irrational agents // Artificial Intelligence. – 2021. – Vol. 297.
12. Russell S. J., Norvig P. Artificial intelligence: a modern approach. 2nd ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003.
13. Sieg G. A political business cycle with boundedly rational agents // European Journal of Political Economy. – 2001. – Vol. 17. – P. 39–52.
14. Tharakunnel K., Bhattacharyya S. Single-leader-multiple-follower games with boundedly rational agents // Journal of Economic Dynamics & Control. – 2009. – Vol. 33. – Pp. 1593–1603.