

# ЭВОЛЮЦИЯ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

## Часть 1. Архитектура интеллектуального агента

**Бурый А. С.**, д-р техн. наук, ФГБУ «Институт стандартизации», Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

**Фролов В. А.**, д-р техн. наук, проф., ФГБУ «Институт стандартизации»

**Куляница А. Л.**, д-р техн. наук, проф., ФГБУ «Институт стандартизации»

*Рассматривается активно развивающийся в последнее время агентно-ориентированный подход к моделированию информационных систем в различных сложных предметных областях (наука, производство, обучение, здравоохранение, экономика, окружающая среда и др.). Достижения в области вычислительной техники сделали возможным моделировать крупномасштабные системы, учитывать социальные и поведенческие факторы взаимодействия окружающего мира.*

*Одним из решений перечисленных сложностей выступает моделирование людей и информационных процессов для их взаимодействия, как агентов убеждений, желаний и намерений (BDI-агентов). Предложена обобщенная структура интеллектуального агента на основе BDI – архитектуры, рекомендации по применению основных типов агентно-ориентированных моделей. Целью настоящего исследования является совершенствование научной и методической базы при разработке концептуального подхода в применении когнитивных агентов в задачах моделирования информационного взаимодействия объектов междисциплинарных предметных областей.*

**Ключевые слова:** агентно-ориентированное моделирование, интеллектуальный агент, когнитивная архитектура, информационное взаимодействие.

### ВВЕДЕНИЕ

Имитационное моделирование объектов исследования (ОИ) продолжает оставаться важным этапом большинства научных работ, когда отсутствуют точные математические модели ОИ, динамика функционирования которых может быть представлена только интуитивно, например, функциями распределения случайных процессов, когда надо определить влияние случайных факторов на показатели эффективности целевого применения ОИ [1], определить чувствительность выбранной модели к исходным данным, к аппроксимации воспроизводимой динамики моделируемых предметных областей (ПрО).

В частности, виды моделируемых ПрО так же изменили привычные границы проблематики технических систем [2, 3], перейдя к производственно-экономическим вопросам [4, 5], а «далее везде» – здравоохранение [6], комплексные информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) «умного города» [7, 8], социальная сфера [9]. Для социальной среды процесс моделирования несколько усложняется, так как приходится учитывать когнитивные особенности моделируемых субъектов (человека), его поведение, превентивные оценки информационных действий.

Рассматриваемая активность имитационного моделирования объясняется, прежде всего, ростом цифровизации общества [10], включением ИКТ в инфраструктуру практически всех хозяйствующих субъектов. Задачи анализа процессов информационного взаимодействия значительно усложняются при организации жизнедеятельности в предметных областях, требующих применения междисциплинарных подходов, построенных на основе анализа разнородных данных и знаний, и направленных на выявление неожиданных идей и синергетических эффектов, которые могут стать основой новых технологий, обеспечивающих максимальную эффективность. Так, например, информационную инфраструктуру умного города, будем представлять как систему (целостное образование) множества информационных элементов и связей между ними, объединенных функциональными признаками в едином информационном пространстве умного города и обладающую эмерджентными свойствами, не сводящимися к свойствам входящих в это образование элементов [11].

При этом под структурой рассматриваемой междисциплинарной системы будем понимать способ организации ее элементов или части из них со своими взаимосвязями, формируемыми в соответствии с распределением функ-

ций и выполняемых целей в отдельных подсистемах ПрО, обеспечивая при этом устойчивость и тождественность системы себе самой при различных внутренних и внешних изменениях.

Междисциплинарный характер исследований явился первопричиной развития относительно новой парадигмы имитационного моделирования – агент-ориентированного моделирования (АОМ) [12]. АОМ выступает в качестве инструментария, как в оптимизационных задачах [5, 6] и задачах транспортными системами [8], так и для моделирования поведения субъектов социальной среды [9] с точки зрения соблюдения социальных норм, обеспечения социальных целей информационного взаимодействия социальных объектов [13], при организации распределенных вычислений.

Целью настоящего исследования является совершенствование научной и методической базы при разработке концептуального подхода в применении когнитивных агентов в задачах моделирования информационного взаимодействия объектов междисциплинарных предметных областей.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АГЕНТЫ

Особенностью современных информационных систем является возможность применения в критических ситуациях, динамику развития которых можно представить многовариантным (мультиценарным) вычислительным процессом, способным поддерживать режимы самодиагностики, самовосстановления, обеспечивая заданный уровень отказоустойчивости как программной, так и технической.

В широком смысле, под агентом понимают метаобъекты или интеллектуальные сущности, осуществляющие манипуляции с информационными объектами в рамках заложенных сценариев действий, уровня автономности и доступности данных, а также поставленных целей.

В узком смысле, агент – вычислительная система, помещенная во внешнюю среду, способная взаимодействовать с ней, совершая автономные рациональные действия для достижения определенных целей [14].

Одним из подходов разработки соответствующего программного обеспечения является агентно-ориентированное программирование на основе многоагентных систем (МАС) [14].

Активное применение, богатство и разнообразие различных реализаций МАС объясняется, прежде всего, основными свойствами, заложенными в концепцию интеллектуального агента (ИА). Это способность к автономному взаимодействию с внешней средой, обладающей недетерминированной реакцией на действия агента, способность адекватно и оперативно реагировать на изменения во

внешней среде, а также способность к социальному взаимодействию и кооперативному поведению. ИА представляют собой интеллектуальную конструкцию или программное обеспечение, которое осуществляет некоторый набор операций от имени пользователя или другой программы с определенной степенью независимости и автономии, используя, как предварительно заложенные базы знаний, так приобретенные в ходе функционирования (на этапах обучения) определенные знания и представления для достижения цели. ИА содержат наборы правил, которые позволяют осуществлять самоорганизацию. Интеллектуальный агент способен на гибкие автономные действия для достижения своих целей [12, 15]. Его характеризуют три свойства: реактивность, проактивность и социальность, представленные в табл. 1.

Таблица 1

### Основные свойства интеллектуальных агентов

ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АГЕНТА	ОПИСАНИЕ
Реактивность	Агент своевременно реагирует на изменения в окружающей среде, совершая целевые действия
Проактивность	Способность показывать управляемое целями поведение, самостоятельно генерировать цели и действовать для их достижения, а также строить рассуждения, планирование, коммуникации и координацию с другими агентами
Социальность	Способность согласовать свое поведение с поведением других агентов в условиях определенной среды, в том числе и выполнение постоянных обязательств
Рациональность	Ожидается, что агенты способны выбирать действия, оптимизирующие их ожидаемую производительность
Тактика	Способность устанавливать множественные цели и, вне зависимости от найденных им обстоятельств, ставить и решать локальные цели, осуществляя сценарное целевое управление

Оценка рациональности действий агента в конкретный момент времени зависит от четырех факторов: показателей производительности, знаний агента о среде, возможных действий и последовательности актов восприятия (окружающей среды), произошедших до настоящего времени.

Рациональный агент определяется следующим образом: в каждой возможной последовательности актов восприятия агент должен выбирать действие, которое, как ожидается, максимизирует его показатели производительности (эффективность применения), с учетом фактов, предостав-

ленных данной последовательностью актов восприятия, а также всей имеющейся у него информации и знаний.

Тактика поведения ИА предусматривает реализацию агентами функций регулирования и планирования, в ходе которых агент имеет возможность моделировать развитие ситуации, что позволяет ему более адекватно реагировать на текущие обстоятельства. При этом агенту необходимо учитывать не только свои действия и реакцию на них, но и формировать модели объектов и агентов окружающей среды для предсказания их возможных действий и реакций.

Организационная структура МАС определяется ролевыми функциями агентов и нормами их взаимодействия. Архитектура МАС задает взаимодействие агентов в системе. По организационной структуре МАС выделяют следующие типы агентов: агенты-исполнители и агенты-менеджеры – первые подчиняются вторым; агенты-координаторы, ответственные за организацию взаимодействия агентов; интерфейсные агенты, служащие для связи с внешней средой; каналные агенты, обеспечивающие обмен информацией в системе [11, 15].

Удобным инструментом, позволяющим проектировать поведение агентов, выступает абстрактная архитектура агента, в виде формализованных методов и процедур.

Состояния внешней среды агента представим множеством, а возможные действия агентов будем описывать множеством действий (actions), тогда одна из абстрактно агента можно представлять в виде отображения наблюдаемого агентом подмножества состояний внешней среды ( $S^*$ ) в набор возможных его ответных действий [14]:

$$action : S^* \rightarrow A . \tag{1}$$

Динамика изменения состояний внешней среды под воздействием агента может быть представлена следующей функцией:

$$Env : S \times A \rightarrow 2^S . \tag{2}$$

Взаимодействие агента со средой представляет собой последовательную смену состояний  $s_i, i = 0, 1, \dots$ , за счет соответствующей последовательности действий агентов –  $a_i, i=0, 1, \dots$ , что выражается структурой вида [14]:

$$h : s_0 \xrightarrow{a_0} s_1 \xrightarrow{a_1} \dots s_{k-1} \xrightarrow{a_{k-1}} s_k , \tag{3}$$

где  $h$  – последовательность вида «состояние-действие» представляет собой программу (сценарий) действий агента в виде плана реализации заданных целей, как прогнозирующей функции вида:

$$plan : 2^{Goals} \times Progs \rightarrow Plans \tag{4}$$

и функцию формирования возможного сценария

$$scen : Plans \times T \rightarrow 2^{Goals} , \tag{5}$$

как некоторую временную программу подключения отдельных планов в зависимости от целевого предпочтения.

### BDI – АГЕНТЫ

Основой для представления интеллектуальных агентов является когнитивные архитектуры, основанные на когнитивных науках и направленные на максимально точное описание когнитивных процессов человека [12]. Термин «архитектура» подразумевает подход, который позволяет максимально точно моделировать не только поведение, но и структурные свойства моделируемой системы. Все чаще исследователи обращаются к построению моделей агентов, основанных на BDI архитектуре, в логике которых заложены три интенциональных<sup>1</sup> состояния (убеждения – Beliefs, желания – Desires, намерения – Intentions). С их помощью строится поведение агента по выбору действий, базируясь на знаниях о внешнем мире (окружающей среде), воспроизводя уровень человеческого разума, сознательно манипулируя концепциями и осуществляя необходимые коммуникации для этого.

Основные элементы BDI архитектуры представлены на рис. 1:

- убеждения – знания агента о среде, в частности, о других агентах; это те знания, которые могут изменяться во времени и становиться неверными, однако агент может не иметь об этом информации и продолжать оставаться в убеждении, что на них можно основывать свои выводы;
- знания (в составе базы данных) – это постоянная часть знаний агента о себе, среде и других агентах, которая не изменяется в процессе его функционирования;
- желания – это состояния, ситуации, достижение которых по разным причинам является для агента желательным; желания могут быть противоречивыми в том или ином смысле (быть физически нереализуемыми, взаимно исключать друг друга, конфликтовать по ресурсам для выполнения различных желаний, по временному фактору и т. п.); агент может выбирать в качестве мотивационной компоненты своего поведения только некоторое непротиворечивое подмножество желаний;
- цель: это принятое для исполнения агентом текущее желание (единственное для данного момента времени);
- намерения – это то, что агент или обязан сделать в силу своих обязательств по отношению к другим агентам или он обязан это делать в соответствии со своим выбором (т.е. в соответствии с выбором непротиворечивого подмножества желаний, совместимого с ранее принятыми

<sup>1</sup> ГОСТ Р ИСО 10002–2020 «Удовлетворенность потребителя. Руководящие указания по управлению претензиями в организациях». – Издание официальное. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – С. 25.

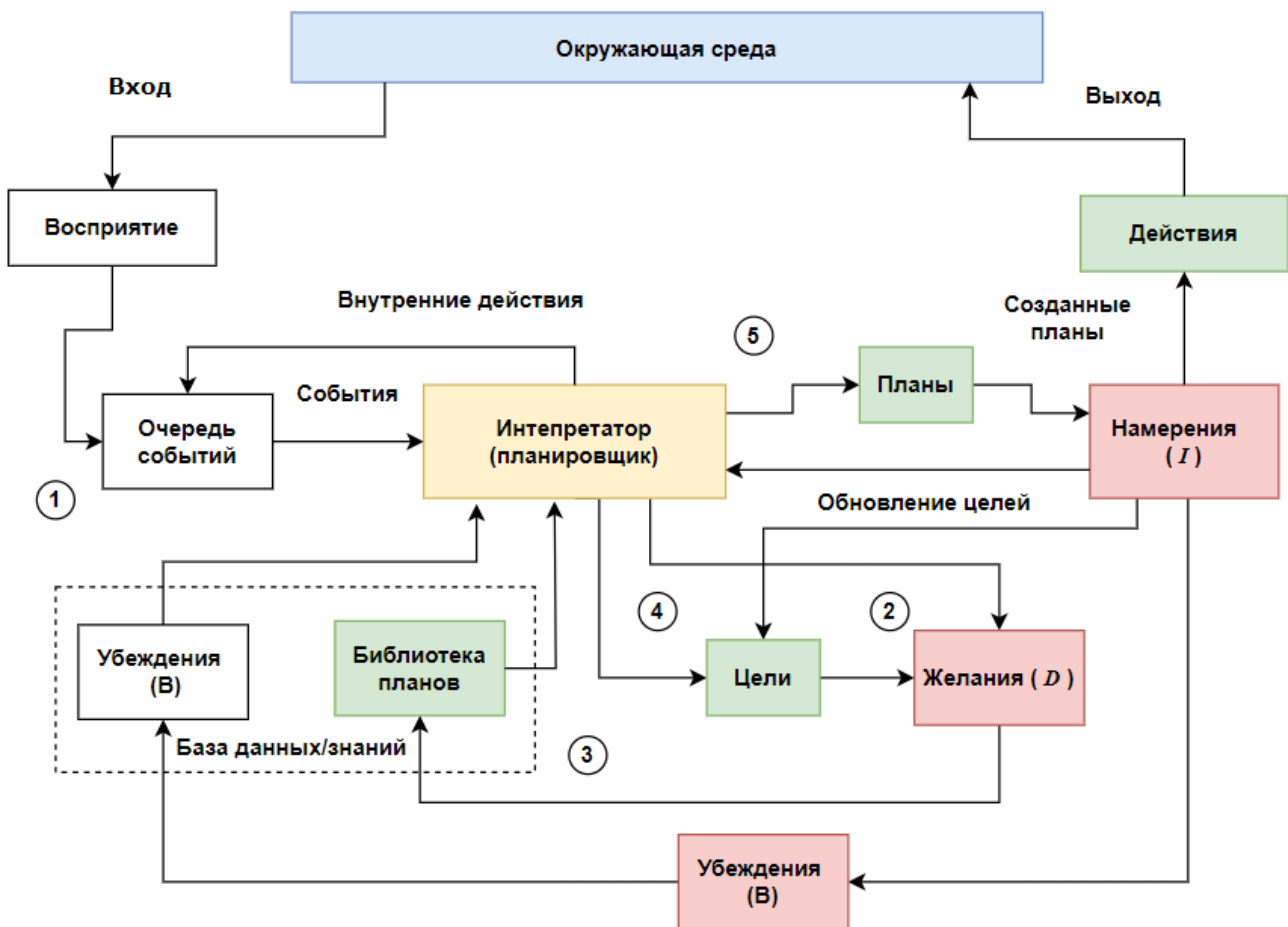


Рис. 1. Структура BDI-архитектуры

обязательствами, имеющимися ресурсами, располагаемым временем и т.п.);

- план: это последовательность действий, которые агент может выполнить для достижения одного или нескольких своих намерений; окончательный план может включать в себя последовательность некоторых более детализированных планов.

Внутренний интерпретатор BDI-агента непрерывно поддерживает некоторый циклический процесс (процессы), включающий следующие шаги [16]:

- воспринимает окружающую среду и формирует очередь событий;
- генерирует возможные желания на основании планов из библиотеки планов (БП), выполнение которых осуществляется в текущий момент;
- выбирает (уточняет) план из БП для заданного времени;
- уточняет желаемое значение на основании цели (подцели), включая корректировку целей;
- в стеке намерения выполняется текущая операция плана: либо это действие, направленное во внешний

мир, либо это очередная подцель, которую направляют в очередь событий;

- переход цикла к шагу 1.

Представленные в таблице свойства ИА можно интерпретировать, как этапы развития агентного подхода, т.к. практика демонстрирует комплексное применение указанных свойств в виде гибридных моделей [17]. Состояния внешнего мира получают описание в информационной системе ИА. База знаний, информационные (коммуникационные) каналы определяют набор действий агента, упорядоченная последовательность во времени которых образует план. В итоге, агент генерирует множество возможных структур, обеспечивающих достижение цели, но выбирает ту, которая может обеспечить максимальную полезность в реальном ресурсном сечении. При этом может подключаться режим обучения, когда обнаруживается дефицит правил с целью генерации правила, основываясь на реализованных логических исчислениях. В зависимости от полноты знаний агента о среде и своих действиях исчисление может быть дедуктивным, индуктивным, правдоподобным, модальным, «мягким» и т.п. В качестве примера, можно при-

вести специальную модальную логику, предложенную для описания агентов, действующих в среде, при отсутствии полных знаний о ней [18].

### СПЕЦИФИКА АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

АОМ является сравнительно новым подходом к моделированию систем, состоящих из автономных взаимодействующих агентов. Принятая в зарубежной печати аббревиатура ABMS (agent-based modelling and simulation) [19], а также просто агентное моделирование (ABM – agent-based model). В основе инструментария моделирования в данных моделях лежат автоматные модели, однако для полного описания процессов взаимодействия МАС применяются элементы теории игр, теории сложных систем, эволюционного программирования, а для поддержания аппаратно-программной части моделей – методы машинного обучения, интеллектуального анализа данных и ряд других.

Возможность адаптации к различным ПрО, способность воспроизводить поведение и мотивации человека делают АОМ востребованным инструментом исследования во многих областях.

Существует деление агентно-ориентированных моделей на [19]:

- индивидуальные, в которых агенты, обладая различными характеристиками, действуют в модели представлены индивидуально;
- автономные, в которых агенты обладают внутренним поведением, позволяющим им быть автономными, способными в любой момент оценивать состояние (в рамках модели), и строить свои действия на этой основе;
- интерактивные, в которых автономные агенты взаимодействуют с другими агентами и с окружающей средой;
- адаптивные, в которых взаимодействующие автономные агенты изменяют свое поведение во время моделирования, в ходе обучения, сталкиваясь с новыми ситуациями (при корректировке планов, переназначении целей, изменении состава агентов и др.).

В табл. 2 представлены указанные модели, различие в которых демонстрируется в присущих им свойствах индивидуальности, автономности, интерактивности и адаптивности. Для наглядности приведены примеры задач моделирования на их основе.

Таблица 2

#### Спецификация, разъясняющая применение маркировочных знаков в целях функционирования системы прослеживаемости при приготовлении супа куриного с картофелем

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АОМ	СВОЙСТВА АГЕНТА				
	ИНДИВИДУАЛЬНОСТЬ	ПОВЕДЕНИЕ	ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	АДАПТИВНОСТЬ	ПРИМЕРЫ
Индивидуальная АОМ	Отдельные гетерогенные агенты <sup>а</sup>	Предписанное, поведенческие сценарии <sup>†</sup>	Ограниченны	Нет	Модель трафика, в которой агенты перемещаются между парами отправитель–получатель в соответствии со сценарием
Автономная АОМ	Отдельные гетерогенные агенты <sup>а</sup>	Автономное, динамическое <sup>‡</sup>	Ограниченны	Нет	Модель налогообложения, при которой агенты выбирают профессии и места для работы, но не взаимодействуют друг с другом
Интерактивная АОМ	Отдельные гетерогенные агенты <sup>а</sup>	Автономное, динамическое <sup>‡</sup>	Между другими агентами и окружающей средой <sup>‡</sup>	Нет	Модель инфекционных заболеваний, в которой агенты передаются и заражаются контактным путем и реагируют на свое болезненное состояние в соответствии с предписанным поведением

Адаптивная АОМ	Отдельные гетерогенные агенты <sup>°</sup>	Автономное, динамическое†	Между другими агентами и окружающей средой	Агенты меняют поведение во время моделирования <sup>°*</sup>	Модель здравоохранения, в которой агенты меняют свое поведение в зависимости от состояния своего здоровья
----------------	--	---------------------------	--	--	---

<sup>°</sup>Агенты в популяции обладают различными множествами характеристик;

† Поведение агента основано только на внешних событиях во время моделирования;

‡ Поведение агента является эндогенным, основанным на текущем состоянии агента;

‡ Поведение агентов основано на наблюдаемых состояниях, поведении других агентов и состоянии окружающей среды;

<sup>°\*</sup>Агенты изменяют поведение во время моделирования, агенты учатся и/или популяции корректируют свой состав.

Представленную выше динамику функционирования BDI-агентов (рис. 1) и формализм в виде выражений (1)–(5) обобщим в виде некоторого целевого цикла функциональных переходов для агентов, опуская возможные обратные и перекрестные связи технологического характера, которые будут предметно рассмотрены во второй части данной статьи.

В укрупненном виде основные этапы действий агента (см. рис. 2) включают:

**Наблюдение.** На этом этапе собирается информация о текущих условиях окружающей среды и сопоставляет эти условия с предписаниями. Этот шаг зависит от контролируемой ПрО.

**Обновление базы данных/ знаний (БД).** БД агента будет обновляться в трех случаях: (1) по результатам наблюдения за окружающей средой; (2) по результатам выполненных им (агентом) действий; (3) в результате полученных коммуникационных сообщений (от внешних источников – других агентов, центра управления и др.). Во всех случаях обновление функции должно проверять всю БД на наличие несоответствий.

**Принятие решений.** Здесь агенты принимают два отдельных решения:

(1) какое действие выполнить; (2) какое сообщение передать и кому.

**Коммуникации.** В среде МАС агенты не могут заставить других агентов выполнить определенное действие или напрямую изменить их базу данных (знаний). Однако они могут оказывать влияние на других агентов посредством коммуникативных действий, посредством отправки и получения сообщений.

**Действия.** Функциональная нагрузка этого этапа состоит в том, чтобы обеспечить успешное, согласованное и безо-

шибочное выполнение оптимального действия, рекомендованного механизмом принятия решений агентом.

Агентное моделирование связано с моделированием взаимодействия агентов. Основными вопросами моделирования взаимодействия агентов являются установление связей между средой и агентами, а также механизмы, определяющие природу взаимодействий. Для социальных агентов основными структурами взаимодействия агентов выступают сети. А результаты моделирования позволяют определить окружение агента в более общем плане и более точно описать модели взаимодействия социальных агентов.



Рис. 1. Структура BDI-архитектуры

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, агентно-ориентированные модели, представляющие собой когнитивные архитектуры, по сути являются «интеллектуальными» системами, которые когнитивно реалистичны и, следовательно, во многих отношениях



более могут достоверно реализовывать действия человека (оператора) в человеко-машинных системах автоматизированных комплексов. Они позволяют существенно приблизить результаты познавательной деятельности человека в ходе его практической работы (управления, принятия решений, анализа обстановки и др.), представляя полезные инструменты для продвижения науки о познании. Кроме того, данный подход может (частично) служить основой для понимания коллективного человеческого поведения и социальных явлений.

Этот подход требует, чтобы важные элементы моделей были четко прописаны, что помогает в разработке более совершенных, концептуально более ясных теорий. Во второй части планируется рассмотреть применение рассмотренного подхода на этапах поддержки принятия решений, в ходе решения задач планирования и прогнозирования в условиях ограниченных ресурсов и действующих мешающих факторов.

#### Список использованных источников и литературы

1. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Суррогатное моделирование распределенных информационных систем по большим данным // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2019. № 5 (51). С. 43–50.
2. Козлов С.В., Кубанков А.Н. Научно-методические проблемы интеграции и синхронизации функциональных процессов в жизненном цикле систем управления // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2019. Т. 10, № 3. С. 52–57.
3. Новые подходы к обеспечению безопасности роботов в промышленной среде / Н.Р. Анисимов, В.А. Фролов, Ю.В. Будкин, А.В. Князев // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 1 (65). С. 12–17.
4. Аронов И.З., Бурый А.С., Рыбакова А.М. Умная экономика замкнутого цикла: основа цифровых стратегий производственных компаний. Часть 2. Циркулярные бизнес-модели // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 5 (69). С. 17–26.
5. Стохастическая модель качества группового взаимодействия экономических агентов / М.И. Ломакин, А.В. Докукин, Ю.М. Ниязова, А.Е. Гарин // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2022. № 6 (70). С. 49–53.
6. Масюк Н.Н., Куликова О.М., Усачева Е.В. Применение имитационного моделирования и агентного подхода при решении задач планирования и оптимизации в здравоохранении РФ // Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2020. Т. 14, № 3. С. 198–207. DOI 10.17238/issn1998-5320.2020.14.3.24.
7. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные структуры умного города на основе киберфизических систем // Правовая информатика. 2022. № 4. С. 15–26.
8. Акопов А.С., Бекларян Л.А. Моделирование динамики дорожно-транспортных происшествий с участием беспилотных автомобилей в транспортной системе «умного города» // Бизнес-информатика. 2022. Т. 16. № 4. С. 19–35. DOI: 10.17323/2587-814X.2022.4.19.35
9. Чернов И.В., Шелков А.Б. Сценарный подход к исследованию возможностей инновационного развития сельского хозяйства в современных условиях // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD-2022): Труды Пятнадцатой международной конференции, Москва, 26–28 сентября 2022 года / Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – М.: ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, 2022. – С. 996K1005.
10. Сибел Т. Цифровая трансформация. Как выжить и преуспеть в новую эпоху. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2021. – 256 с.
11. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные технологии цифровой трансформации умных городов // Правовая информатика. 2022. № 2. С. 4–13.
12. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
13. Куляница А.Л., Фомичева О.Е. Многоагентная ЭДА-модель для организационных предметных областей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 7. С. 47–60.
14. Бугайченко Д.Ю., Соловьев И.П. Абстрактная архитектура интеллектуального агента и методы её реализации // Системное программирование. 2005. Т. 1, № 1. С. 36–67.
15. Булгаков С.В. Применение мультиагентных систем в информационных системах // Перспективы науки и образования. 2015. № 5 (17). С. 136–140.
16. Швецов А.Н. Агентно-ориентированные системы: от формальных моделей к промышленным приложениям // Всероссийский отбор обзорно-аналитических конкурсных статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы»: электронное издание. М.: ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика», 2008. 101 с.

17. Шевкунов М.А. Формирование беспилотных систем на основе гибридных архитектур интеллектуальных агентов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 3/4 (73). С. 42–50.
18. Поспелов Д.А. От моделей коллективного поведения к многоагентным системам // Программные продукты и системы. 2003. № 2. С. 39–44.
19. Macal C.M. Everything you need to know about agent-based modelling and simulation // Journal of Simulation. 2016. Т. 10, No 2. С. 144–156.



# THE EVOLUTION OF AGENT-BASED MODELING.

## Part 1. Architecture of an intelligent agent

**Buryi A.S.**, Doctor of Sciences in Technology, Russian Standardization Institute, V.A. Trapeznikov, Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences

**Frolov V.A.**, Doctor of Sciences in Technology, professor, Russian Standardization Institute

**Kulyanitsa A.L.**, Doctor of Sciences in Technology, professor, Russian Standardization Institute

*An agent-based approach to modeling information systems in various complex subject areas (science, production, education, health-care, economics, environment, etc.), which has been actively developing recently, is considered. Advances in computer technology have made it possible to model large-scale systems, take into account social and behavioral factors of interaction of the surrounding world.*

*One of the solutions to these difficulties is the modeling of people and information processes for their interaction as agents of beliefs, desires and intentions (BDI agents). A generalized structure of an intelligent agent based on the BDI architecture, recommendations for the use of the main types of agent-based modelling and simulation, is proposed. The purpose of this study is to improve the scientific and methodological base in the development of a conceptual approach to the application of cognitive agents in the tasks of modeling information interaction between objects of interdisciplinary subject areas*

**Keywords:** agent-based modelling and simulation, intellectual agent, cognitive architecture, information interaction.

### References

1. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Surrogatnoe modelirovanie raspredelennykh informacionnykh sistem po bol'shim dannym. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya 2019, № 5 (51), Pp. 43–50.
2. Kozlov S.V., Kubankov A.N. Nauchno-metodicheskie problemy integratsii i sinhronizatsii funktsional'nykh processov v zhiznennom tsikle sistem upravleniya. Sistemy sinhronizatsii, formirovaniya i obrabotki signalov, 2019, vol. 10, № 3, Pp. 52–57.
3. Anisimov N.R., Frolov V.A., Budkin YU.V., Knyazev A.V. Novye podhody k obespecheniyu bezopasnosti robotov v promyshlennoy srede. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, № 1 (65), Pp. 12–17.
4. Aronov I.Z., Buryi A.S., Rybakova A.M. Umnaya ekonomika zamknutogo tsikla: osnova tsifrovyykh strategiy proizvodstvennykh kompaniy. Part 2. Cirkulyarnyye biznes-modeli Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, № 5 (69), Pp. 17–26.
5. Lomakin M.I., Dokukin A.V., Niyazova YU.M., Garin A.E. Stokhasticheskaya model' kachestva gruppovogo vzaimodeystviya ekonomicheskikh agentov. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizatsii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2022, № 6 (70), Pp. 49–53.
6. Masyuk N.N., Kulikova O.M., Usacheva E.V. Primeneniye imitatsionnogo modelirovaniya i agentnogo podhoda pri reshenii zadach planirovaniya i optimizatsii v zdoravoohraneniye RF. Nauka o cheloveke: gumanitarnyye issledovaniya, 2020, vol. 14, № 3, Pp. 198–207. <https://doi.org/10.17238/issn1998-5320.2020.14.3.24>
7. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Informatsionnyye struktury umnogo goroda na osnove kiberneticheskikh sistem. Pravovaya informatika, 2022, № 4, Pp. 15–26. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-2022-4-15-26>
8. Akopov A.C., Beklaryan L.A. Modelirovanie dinamiki dorozhno-transportnykh proisshествiy s uchastiem bespilotnykh avtomobiley v transportnoy sisteme «umnogo goroda». Biznes-informatika, 2022, vol. 16, № 4, Pp. 19–35. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2022.4.19.35>
9. Chernov I.V., Shelkov A.B. Scenarnyy podhod k issledovaniyu vozmozhnostey innovatsionnogo razvitiya sel'skogo hozyajstva v sovremennykh usloviyakh. Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem (MLSD'2022) : Trudy Pyatnadcatoy mezhd-

- dunarodnoj konferencii, Moskva, 26–28 sentyabrya 2022 goda. Pod obshchej redakciej S.N. Vasil'eva, A.D. Cvirikuna. Moscow: IPU im. V.A. Trapeznikova RAN Publ., 2022, Pp. 996–1005.
10. Siebel T.M. Digital Transformation. Survive and Thrive in an Era of Mass Extinction. RosettaBooks, NY, 2019.
  11. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Informacionnye tekhnologii cifrovoj transformacii umnyh gorodov. Pravovaya informatika, 2022, № 2, Pp. 4–13. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-2022-2-04-13>
  12. Tarasov V.B. Ot mnogoagentnyh sistem k intellektual'nym organizaciyam: filosofiya, psihologiya, informatika. Moscow, Editorial URSS Publ., 2002, 352 p.
  13. Kulyanica A.L., Fomicheva O.E. Mnogoagentnaya EDA-model' dlya organizacionnyh predmetnyh oblastej. Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal), 2016, no. 7, pp. 47–60.
  14. Bugajchenko D.YU., Solov'ev I.P. Abstraktnaya arhitektura intellektual'nogo agenta i metody eyo realizacii. Sistemnoe programirovanie, 2005, vol. 1, № 1, Pp. 36–67.
  15. Bulgakov S.V. Primenenie mul'tiagentnyh sistem v informacionnyh sistemah. Perspektivy nauki i obrazovaniya, 2015, № 5 (17), Pp. 136–140.
  16. Shvetsov A.N. Agentno-orientirovannye sistemy: ot formal'nyh modelej k promyshlennym prilozheniyam. Vserossijskij otbor obzorno-analiticheskikh konkursnyh statej po prioritetnomu napravleniyu "Informacionno-telekommunikacionnye sistemy": elektronnoe izdanie, Moscow, FGU GNII ITT "Informika" Publ., 2008, 101 p.
  17. Shevkunov M.A. Formirovanie bespilotnyh sistem na osnove gibridnyh arhitektur intellektual'nyh agentov. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i tekhnicheskogo regulirovaniya, 2023, № 3/4 (73), Pp. 42–50.
  18. Pospelov D.A. Ot modelej kollektivnogo povedeniya k mnogoagentnym sistemam. Programmnye produkty i sistemy, 2003, № 2, Pp. 39–44.
  19. Macal C.M. Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. Journal of Simulation, 2016, vol. 10, No. 2, Pp. 144–156.