

ЭВОЛЮЦИЯ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.

Часть 2. Имитационное моделирование

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 (ПрО). Интеграцию моделей, отражающих исследуемые объекты ПрО, объединяемые общим целеполаганием, предлагается проводить на основе развития системного подхода в части методологии метасистем. Предложенный подход совместного моделирования: аналитического, документального, логико-математического и функционально-технического на проектном уровне и информационно-структурного, вероятностного и агентного – на уровне среды моделирования. Взаимодействие указанных модельных пространств обеспечивается моделями коммуникаций и переходов. 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, имитационное моделирование, многоагентная система, метасистема, когнитивная архитектура, информационное взаимодействие.

ВВЕДЕНИЕ

Проведение любого вычислительного эксперимента имеет целью получение дополнительной информации о поведении сложной системы путем предвидения последствий выбора данной модели, ее параметров для оценки проектов и планов, сценариев возможных действий, имитируя различные временные горизонты, воспроизводя ограничения по ресурсам (или игнорируя эти ограничения), подтверждая вывод У.Р. Эшби, что «эксперименты на компьютере не только возможны, но и могут дать информацию, которую не возможно получить иным путем¹».

Повышенное внимание к крупномасштабным событиям (ликвидация последствий стихии), задачам национальной безопасности и управления сетцентрическим пространством [1] (как в военном, так и в социотехническом контексте) выявили слабые стороны BDI-моделей (убеждения – желания – намерения), а именно – преодоление быстроменяющихся, не предсказуемых и сложных операционных ситуаций, для преодоления которых требуется поиск возможных стратегий действий. Сетевой характер

большинства современных информационных структур социотехнических систем актуален как на этапах организационного управления [2], так и в ходе информационного взаимодействия подсистем «умного города» [3] и специфики технологических процессов различного уровня [4, 5].

Системный подход требует всестороннего анализа объекта исследования (ОИ), чтобы изучить его структурные и функциональные свойства, применяя для этого методы декомпозиции и интеграции (агрегирования) [6] информационных и технологических процессов [7]. Задачи декомпозиции сложных систем имеют много общего с задачей синергетики, которая в отличие от кибернетики, где акцент делается на процессы управления [8] и обмена информацией, основное внимание уделяет принципам построения пространственно-временных структур, организации совместных действий, например, подсистем [3, 6]. Построение имитационных моделей сложных систем является реализацией системного взгляда на изучаемую проблему, аккумулируя структуру системы, результаты ее декомпозиции, а также реализуя (в имитационном плане) ее целевое назначение для выбранной предметной области [9–11].

¹ См. Клир Дж. Системология. Авторизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990. (с. 287).

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.

КОНЦЕПЦИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В ходе анализа ряда сложных систем построение причинно-следственных отношений между факторами, параметрами, показателями не являются простыми и ясными, многие из них осознаются на интуитивном уровне, что делает процесс исследования малодостоверным [12]. В тех случаях, когда эксперименты с реальными системами невозможны или слишком дороги, используют имитационное моделирование (ИМ), причем предметные области (ПрО) привлечения ИМ вполне обоснованно расширяются. Вот только некоторые из решаемых задач [10, 12]:

- определение требований к аппаратно-программному обеспечению и протоколам информационного обмена;
- проектирование и анализ транспортных и производственных систем;
- оценка различных систем вооружений и военной техники, а также требований к ним;
- определение политики в системах управления ресурсами (топливно-энергетический комплекс, продовольственный и др.);
- оценка проектов разработки различных систем массового обслуживания, например, торговых центров, автозаправочных станций, больниц, отделений связи и другие логистические комплексы;
- анализ финансовых, экономических, образовательных систем.

Задача ИМ видится в получении дополнительной информации о поведении сложной системы (технической, социальной или любой другой), например, для оценки проектов и планов без фактической реализации (воплощения). При этом мы экономим время, представляя в вычислительной системе любые интервалы наблюдения, ресурсы, учитывая, что натурные эксперименты связаны и с рисками, и затратами и т. д. [13].

На рис. 1 условно показана целевая система, состояния которой можно представить некоторым вектором заданной размерности, где – метрическое пространство размерности. В результате наблюдения за данной системой исследователи получают множество наблюдений (измерений), обработка которых известными методами позволяет получить множество оцениваемых параметров в соответствии с отображением вида [14]:

$$f : Z \rightarrow \underline{X}, \quad (1)$$

где – множество оценок параметров состояния ОИ (результатов переработки данных [15]).

Алгоритмы и точность оценивания во многом зависят от точности методов описания системной динамики. На данном этапе нас не интересует содержательная составляющая получаемой информации, так как это могут быть данные о параметрах движения ОИ, состояния его оборудования или любая иная интерпретация преобразованных массивов данных, в том числе и в формате реализуя систему отношений между соответствующими множествами (состояний, измерений, оценок состояний) [15].

Воспроизводя идею ИМ, как средства получения дополнительной, абсолютно важной, информации для подготовки принятия решений разрабатывается модель (комплекс моделей) ОИ, осуществляется моделирование, а результаты интерпретируются (сравниваются с возможными прогнозами) или служат основой корректировок для новых циклов моделирования.



Рис. 1. Схема представления моделирования в качестве инструмента для изучения реальных систем

С целью повышения обоснованности результатов моделирования появляется возможность расширения вектора состояния при разработке ИМ, то есть получаем отображение вида:

$$\varphi : X \rightarrow X', \quad X' \in \mathcal{R}^m, \quad m \geq n, \quad (2)$$

где X' – расширенный вектор состояния для ИМ.

В результате моделирования формируется, по аналогии с (1), соответствующее отображение

$$h : Z_M \rightarrow \underline{X}', \quad (3)$$

где \underline{X}' – расширенный вектор оценок состояния ОИ, полученных в моделирующем цикле.

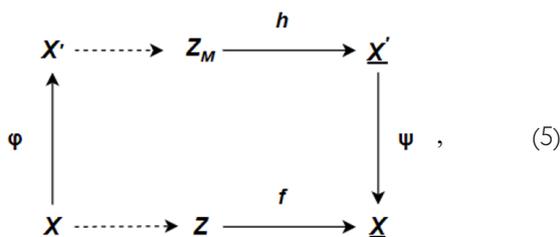
Оценки вида (3) в дальнейшем трансформируются (перерабатываются) в рекомендации для корректировки исходной целевой системы или проектируемой ее модификации, реализуя отображение вида:

$$\psi : \underline{X}' \rightarrow \underline{X}_p \quad \underline{X}_p \in \mathcal{R}^m, \quad (4)$$

где \underline{X}_p – уточненные оценки (расчетные) оценки вектора состояния относительно оценок \underline{X} .

Отображения вида (2) и (4), обеспечивающие связь информационных представлений (теоретического описания физической системы) с ее виртуальным представлением средствами ИМ, например, на основе выбранной моделирующей платформы (языка моделирования, комплекса имитационных моделей), будем называть кросс-отображениями. Данное определение позволяет сделать акцент на применимость известных коммутативных диаграмм к факторизации рассматриваемых пространств в задачах построения киберфизических систем, цифровых двойников, методологически продолжая известный подход к анализу динамических систем в целом [16], а также их развития в информационных приложениях [15] и структурно-техническом подходе [14, 17].

Структурно-логическую схему (см. рис. 1) с учетом отображений (1) – (4) формализуем в алгебраической форме в виде коммутативной диаграммы:



на которой пунктирными стрелками показаны промежуточные отображения в программно-аппаратной среде, связанные с этапами формирования измерительных данных Z – или Z_M соответственно.

АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Одна из центральных задач многоагентных систем это обеспечение взаимодействия агентов. Агенты, как отдельные программные сущности² уже давно «научились» генерировать события, оценивать себя (состояние, результаты выполнения своих действий и др.), осуществлять синхрони-

² Агент – физический/программный объект, который оценивает собственное состояние, состояние других объектов и окружающей среды для выполнения своих действий, включая прогнозирование и планирование. (см. ГОСТ Р 59277–2020 Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. – Введ. с 2021-03-01; п. 3.4).

зацию совместно выполняемых работ [18]. Несмотря на то, что BDI-модели агентов, рассмотренные в первой части статьи [9] явились «открывателями эры агентного подхода». Представленное определение агента из ГОСТ Р 59277–2020 больше соответствует моделям организационных структур [2], в которых реализуются логики рассуждений, нормативного поведения, построенные на аксиологических отношениях, реализуемых в среде BDI-агентов [9, 19], базируясь на разработанных базах знаний, а также на знаниях, получаемых агентами в процессе выполнения функциональных задач и своего обучения. Моделирование организационных систем на основе агентно-ориентированного подхода позволяет «получить представление об организационных явлениях и исследовать процессы и конфигурации, которые трудно или невозможно исследовать с помощью других методов». Планирование, прогнозирование, подготовка и поддержка принятия решений становятся моделированием целенаправленного поведения.

Агентно-ориентированное моделирование (АОМ) находит приложения во многих предметных областях, переходя постепенного от технико-экономического направления в социальные, медицинские, биологические сферы исследований, а также в междисциплинарные предметные области.

Представленный на рис. 1 подход к информационному объединению пространства физических систем с виртуальным пространством на основе модельного взаимодействия позволяет с общесистемных позиций исследовать подобные переходы. Для этого удобно представлять такие задачи, используя понятие метасистемы³, объединяющей неоднородные системы различной природы, функционального наполнения (проектируемые и реальные). При этом элементы метасистем (подсистемы, например, измерительные, информационного обмена, координации и принятия решений, характерные для автоматизированных систем управления [4], и ряд других [3, 14]) могут выполнять роль некоторых структурных «блок-пазлов». Отдельные системы в составе метасистемы могут представлять различные Про с их нормативной базой требований (базой знаний), позволяя конструировать общую структуру будущей системы, одновременно формируя и контуры новых онтологий, тезаурусов когнитивной картины будущего мира.

На рис. 2 условно показано взаимодействие моделей и соответствующих систем [20]. Для структурированной системы характерно, что все ее элементы вовлечены в информационные (технологические) процессы, а для метасистемы – это только функционально нагруженные элементы. Так модель концептуального представления (см. рис. 2) на этапе проектирования может представлять собой свод технических требований, проработанную математическую модель, систему отношений, онтологии предметного уровня

³ Кларк Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.

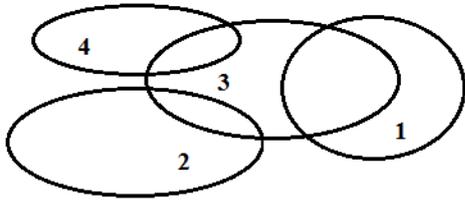


Рис. 2. Взаимодействие моделей в задачах моделирования:

1 – модель концептуального представления; 2 – модель среды моделирования (платформы); 3 – модель коммуникаций и переходов; 4 – модель/модели смежных ПрО

для спецификации знаний, реализующих заданные целевые установки и т. д.

Среда моделирования представляется моделью 2, а возможно и моделью 4, когда возникает необходимость проработать несколько взаимодействующих ПрО. Здесь особую роль выполняют агенты различных моделирующих сущностей (вычислительные подмодели, блоки, агенты баз данных, агенты информационного обмена). В качестве агентов могут быть использованы простые реактивные агенты, выполняющие узкие задачи преобразования данных, а также интеллектуальные агенты, которые решают задачи в соответствии с заложенными в них возможностями (см. первую часть статьи [9]). Модель коммуникаций и переходов (МКП) (на рис. 2 – область 3) обеспечивает информационный обмен между перечисленными выше функциональными моделями, агенты которой обеспечивают согласование по форматам, объемам данных, а также семантической и синтаксической интероперабельности взаимодействия. МКП играет роль некоторого конструкта или «пазла», который соответствует именно данному месту, обеспечивая информационную связь конкретных элементов (систем) – переход от эмпирических знаний модели 2 (рис. 2) к концептуальным знаниям, решая задачи обобщения, классификации, структурирования, представления новых идей, методов исследования, мотиваций, аргументаций предлагаемых инноваций.

В логике системных исследований под метасистемой в рассматриваемой постановке будем понимать объединение функциональных систем (или их моделей), представленных на рис. 2:

$$\tilde{\Sigma}^k : \bigcup_{i=1}^k \Sigma_i, \quad (6)$$

где k – любая комбинация систем (подсистем), участвующих в конкретной задаче, величина определяется числом возможных вариантов совместного применения подсистем.

В метасистемах интегрирование систем осуществляется по параметрическим множествам независимо от того имеют ли эти системы одно множество переменных или нет. Реализация идей самоорганизации, свойственных метасистемам, на основе агентных моделей в развитии идей эмерджентности, фрактальности, адаптивности и основываясь на когнитивные способности агентов, позволит формировать новые парадигмы и научные перспективы.

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. Предложенная трактовка кросс – отображений является очередным шагом в развитии идей системного подхода в направлении междисциплинарных исследований сложных систем. Формируемые для реализации поставленных задач конфигурации систем должны исследоваться на предмет совместимости (информационной, технической и технологической), разрабатывая на этой основе требования к индивидуальным системам. Аппарат агентно-ориентированного подхода позволяет объединить интуитивный подход исследователей с логикой вычислительного процесса. Автономность, надежность и структурная прозрачность являются основными, но не единственными достоинствами и характеристиками многоагентных систем.

Концептуально-логическое моделирование и структурное проектирование являются важной частью системных исследований и позволяют с единых позиций исследовать роль структурных элементов, отношений, включая физические связи, между элементами структуры, для возможных структурных решений, интегрируемых в проекте (цепции) разрабатываемой сложной системы.

Системы, основанные на агентах, могут быть использованы при разработке концепций и внедрении многих типов программных приложений в разных областях ноосферы.

Список использованных источников и литературы

1. Трахтенгерц Э.А., Пашенко Ф.Ф. Сетевые методы формирования целей инноваций // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2016. № 4. С. 4–15.
2. Математические модели организаций: учебное пособие / А.А. Воронин, М.В. Губко, С.П. Мишин, Д.А. Новиков. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.
3. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Информационные технологии цифровой трансформации умных городов // Правовая информатика. 2022. № 2. С. 4–13.
4. Кононов Д.А., Косяченко С.А., Кульба В.В. Модели и методы анализа сценариев развития социально-экономических систем в АСУ ЧС // Автоматика и телемеханика. 1999. № 9. С. 122–136.
5. Патент № 2222823 С1 РФ, МПК G05B 23/02. Устройство для допускового контроля функциональных состояний технических систем: № 2002113690/09: заявл. 27.05.2002: опубл. 27.01.2004 / А.И. Полоус, А.Г. Волков, А.С. Бурый; заявитель ВА РВСН им. Петра Великого.
6. Алексеев О.А., Бурый А.С. Метод структурной декомпозиции задачи пространственно-временного оценивания наблюдений // Автоматика и телемеханика. 1997. № 11. С. 185–195.
7. 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.
8. Новиков Д.А. Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. – М.: ЛЕНАНД, 2021. – 160 с.
9. Бурый А.С., Фролов В.А., Куляница А.Л. Эволюция агентного моделирования. Ч. 1. Архитектура интеллектуального агента // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 5 (74). С. 38–47.
10. 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.
11. 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.
12. Аксенов К.А., Гончарова Н.В. Гибридное моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов: монография. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2019. – 222 с.
13. Bandini S., Manzoni S., Vizzari G. Agent based modeling and simulation: an informatics perspective // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2009. Т. 12, № 4. С. 4.
14. Бурый А.С. Отказоустойчивые распределенные системы переработки информации. – М.: «Горячая линия-Телеком», 2016. – 128 с.
15. Ловцов Д.А. Информационная теория эргасистем. – М.: РГУП, 2021. – 314 с.
16. Калман Р.Э., Фалб П.Л., Арбиб М.А. Очерки по математической теории систем. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 416 с.
17. Болдинов В.А., Бухалев В.А., Скрынников А.А. Игровое управление случайной скачкообразной структурой объекта в чистых стратегиях // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2020. № 4. С. 18–27.
18. Чернышев С.А. Проблемы мультиагентных систем и возможные пути их решения // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2023. № 3. С. 231–241.
19. 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.
20. Митраков А.А. Подходы к построению систем агентного моделирования // Сайт: Национальное общество имитационного моделирования. URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/incomplete-mitrakov.pdf> (дата доступа 10.12.2023).

THE EVOLUTION OF AGENT-BASED MODELING.

Part 2. Simulation modeling

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 (CSA), which has been actively developing recently, is considered. It is proposed to integrate models reflecting the studied CSA objects, united by a common goal setting, based on the development of a systematic approach in terms of the methodology of metasystems. The proposed approach of joint modeling: analytical, documentary, logical-mathematical and functional-technical at the design level and information-structural, probabilistic and agent-based – at the level of the modeling environment. The interaction of these model spaces is provided by communication and transition models. 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 the information interaction of objects of interdisciplinary subject areas.

Keywords: agent-based modeling, simulation modeling, multi-agent system, metasystem, cognitive architecture, information interaction.

References

1. Traxtengercz E.A., Pashhenko F.F. Cetecentricheskie metody formirovaniya celej innovacij. Problemy mashinostroeniya i avtomatizacii, 2016, No. 4, pp. 4–15.
2. Voronin A.A., Gubko M.V., Mishin S.P., Novikov D.A. Matematicheskie modeli organizacij: uchebnoe posobie. Moscow: LENAND Publ., 2008. 360 p.
3. Buryi A.S., Lovtsov D.A. Informacionnye tekhnologii cifrovoj transformacii umnyh gorodov. Pravovaya informatika, 2022, No. 2, pp. 4–13. <https://doi.org/10.21681/1994-1404-2022-2-04-13>
4. Kononov D.A., Kosyachenko S.A., Kul`ba V.V. Modeli i metody` analiza scenarijev raz-vitiya social`no-e`konomicheskix sistem v ASU ChS. Avtomatika i telexanika, 1999, No. 9. pp. 122–136.
5. Polous A.I., Volkov A.G., Buryi A.S. Ustrojstvo dlya dopuskovogo kontrolya funkcionalnyh sostoyanij texnicheskix sistem [Functional-state inspection device for technical systems]. Patent RF, No. 2222823, 2004. (In Russ.)
6. Alekseev O.A., Buryi A.S. A structural decomposition method for the problem of space-time analysis of observations. Automation and Remote Control, 1997, vol. 58, No. 11, Part 2, pp. 1851–1859.
7. Kozlov S.V., Kubankov A.N. Nauchno-metodicheskie problemy integracii i sinxronizacii funkcional`ny`x processov v zhizennom cikle sistem upravleniya. Sistemy sinxronizacii, formirovaniya i obrabotki signalov, 2019, vol. 10, no. 3, pp. 52–57.
8. Novikov D.A. Kibernetika: Navigator. Istoriya kibernetiki, sovremennoe sostoyanie, perspektivy razvitiya. Moscow: LENAND Publ., 2021. 160 p.
9. Buryi A.S., Frolov V.A., Kulyanitsa A.L. Evolyuciya agentnogo modelirovaniya. Part 1. Arxitektura intellektualnogo agenta. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i texnicheskogo regulirovaniya, 2023, No. 5 (74), pp. 38–47.
10. Buryi A.S., Shevkunov M.A. Surrogatnoe modelirovanie raspredelennyh informacionnyh sistem po bol`shim dannym. Informacionno-ekonomicheskie aspekty standartizacii i texnicheskogo regulirovaniya, 2019, No. 5 (51), pp. 43–50.
11. Masyuk N.N., Kulikova O.M., Usacheva E.V. Primenenie imitacionnogo modelirovaniya i agentnogo podhoda pri reshenii zadach planirovaniya i optimizacii v zdrazvoohranenii RF. Nauka o cheloveke: gumanitarnye issledovaniya, 2020, vol. 14, No. 3, pp. 198–207.

12. Aksenov K.A., Goncharova N.V. Gibridnoe modelirovanie mul'tiagentny`x processov pre-obrazovaniya resursov: monografiya. Moscow: Izdatel'skij dom Akademii Estestvoznaniya Publ., 2019. 222 p.
13. Bandini S., Manzoni S., Vizzari G. Agent based modeling and simulation: an informatics perspective. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 2009, vol. 12, No. 4. P. 4.
14. Buryi A.S. Otkazoustojchivye raspredelennye sistemy pererabotki informacii. Moscow: «Goryachaya liniya-Telekom» Publ., 2016. 128 p.
15. Lovtsov D. A. Informacionnaya teoriya ergasistem. Moscow: RGUP Publ., 2021. 314 p.
16. Kalman R.E., Falb P.L., Arbib M.A. Ocherki po matematicheskoj teorii sistem. Moscow: Editorial URSS Publ., 2004. 416 p.
17. Boldinov V.A., Buhalev V.A., Skrynnikov A.A. Igrovoe upravlenie sluchajnoj skachkoobraznoj strukturoj ob"ekta v chistyh strategiyah. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya*. 2020, No. 4, pp. 18–27.
18. Chernyshev S.A. Problemy mul'tiagentnyh sistem i vozmozhnye puti ih resheniya. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, 2023, No. 3, pp. 231–241.
19. Kulyanitsa 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.
20. Mitrakov A.A. Podhody k postroeniyu sistem agentnogo modelirovaniya. Sajt: Nacional'noe obshchestvo imitacionnogo modelirovaniya. URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/incomplete-mitrakov.pdf> (Access date at 10 December 2023).