

УДК 004.8

DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-64-72

EDN: HPVBQR

Обзорная статья

Обзор методов моделирования сложных социально-экономических систем на основе агентного подхода

А. А. Айгумов^{✉1}, И. А. Пшенокова²

¹Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

²Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

Аннотация. Социально-экономические процессы и явления представляют собой сложные системы. В связи с этим рациональное и оптимальное управление ими ставит ряд серьезных задач. Поэтому изучение теорий, методов и приемов эффективного моделирования сложности и динамики социально-экономических систем представляет собой весьма перспективное направление исследований. В настоящее время не существует универсальных методов и средств для моделирования социально-экономических систем. Известные способы моделирования социально-экономических систем охватывают различные подходы, включая системную динамику, байесовские сети, агентные модели, динамические стохастические модели равновесия и др. В данной работе приводится обзор последних достижений в области агентного моделирования сложных социально-экономических систем.

Ключевые слова: социально-экономические системы, агентное моделирование, мультиагентные системы, сложные системы

Поступила 23.09.2024, одобрена после рецензирования 09.10.2024, принята к публикации 11.10.2024

Для цитирования. Айгумов А. А., Пшенокова И. А. Обзор методов моделирования сложных социально-экономических систем на основе агентного подхода // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 5. С. 64–72. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-64-72

MSC: 68T42

Original article

Overview of methods for modeling complex socio-economic systems based on an agent approach

A.A. Aigumov^{✉1}, I.A. Pshenokova²

¹Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

²Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street

Abstract. Socio-economic processes and phenomena are complex systems. In this regard, the rational and optimal management of them sets a number of serious tasks. Therefore, the study of theories, methods and techniques of effective modeling and dynamics of socio-economic systems is a very promising area of research. Currently, there are no universal methods and means for modeling

socio-economic systems. Well-known methods for modeling socio-economic systems cover various approaches, including system dynamics, Bayesov networks, agent models, dynamic stochastic balance models, etc. This work gives an overview of the latest achievements in the field of agent modeling of complex socio-economic systems.

Keywords: socio-economic systems, agent modeling, multiagen systems, complex systems

Submitted 23.09.2024,

approved after reviewing 09.10.2024,

accepted for publication 11.10.2024

For citation. Aigumov A.A., Pshenokova I.A. Overview of methods for modeling complex socio-economic systems based on an agent approach. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 5. Pp. 64–72. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-5-64-72

ВВЕДЕНИЕ

Социально-экономические системы (СЭС) – это большие системы взаимосвязанных и взаимодействующих между собой экономических субъектов, в центре которых находятся люди. Важное отличие социально-экономических систем от физических заключается в том, что в СЭС принятие решений происходит под влиянием субъективного сознания человека. Это делает такие системы сложными и динамичными и затрудняет их описание и моделирование. В связи с этим не существует универсального решения проблем социально-экономической системы, поскольку динамические процессы в обществе и людях приводят к их постоянному изменению и развитию. А это в свою очередь приводит к отсутствию для таких систем общих аналитических моделей. Поэтому весьма актуальным является исследование теорий, методов и алгоритмов моделирования сложности и динамики социально-экономических систем.

В качестве методов исследования для принятия эффективных решений в задачах управления и анализа СЭС целесообразно использовать моделирование проблемных ситуаций. Разработка таких моделей особенно актуальна для решения исследовательских задач в области организации систем инновационного инвестирования и управления инновациями, прогнозирования поведенческих трендов в социальных сетях, моделирования несформированных рынков и других задач исследования социально-экономических систем в условиях неопределенности, в том числе исследования процессов распространения и обработки рассеянного знания. Принятие решения и управления в СЭС очень часто происходит в условиях неструктурированных многомодальных потоков данных и связей субъектов системы [1], на разных уровнях абстракции и с разными уровнями детализации [2]. Поэтому для эффективного функционирования СЭС эти модели должны учитывать влияние всех субъектов и связей между ними и в случае необходимости скоординировать действия отдельных участников.

В работе [3] перечислены восемь основных проблем моделирования СЭС. Первые три проблемы касаются междисциплинарности, неопределенности и разнообразия источников и являются общими для любого типа интегрированного моделирования, включающего различные области. Аналогично последние два компонента, которые связаны с построением и интеграцией моделей в процессе принятия решений, в значительной степени являются общими для всей области моделирования, независимо от того, интегрированы они или нет. А центральные три задачи, которые связаны с масштабированием, системными изменениями и интеграцией человеческого измерения относятся к проблеме моделирования только СЭС, так как необходимо учитывать проявление человеческого поведения (индивидуального и социального) и различные чрезвычайные ситуации и «системные» ограничения.

В результате для моделирования СЭС были разработаны различные подходы, которые включают в себя системную динамику [4], байесовские сети [5, 6], агентные модели [7], динамические стохастические модели равновесия [8], статистические имитационные модели и любую гибридизацию этих методов [9], однако только агентное моделирование [10] доказало свою способность достоверно представлять индивидуальное и социальное поведение человека.

Цель работы – обзор существующих агентных подходов для моделирования социально-экономических систем.

АГЕНТНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЛОЖНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Агентные системы, или чаще их называют мультиагентные системы (МАС), получили отдельное развитие как научное направление в 1980-е годы, с появлением формулировки термина «агент». Под агентом понимался интеллектуальный посредник, который позволял через интерфейс упростить стиль общения пользователя с программой. Широкое развитие это направление получило в 1990-х. К 2000-м возникла необходимость систематизации накопленных знаний, что привело к появлению первых тематических монографий как в России [11], так и за рубежом [12–14].

В основе мультиагентного моделирования сложных систем лежат агенты, которыми могут быть отдельные лица, организации, роботы или любой объект, способный принимать решения и реагировать на окружающую среду. Эти агенты взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой, порождая эмерджентные паттерны и коллективное поведение. Агенты должны быть автономными, рациональными, проактивными и обладать знаниями, убеждениями, желаниями, намерениями, целями и обязательствами по отношению к другим агентам.

В 70-х годах В. Лессер [15], К. Хьюитт [16] и Ленат [17] представили первые практические разработки МАС. Именно их работы легли в основу работ по организации коммуникационных процессов между агентами. Также прообразом для развития моделей с механизмами аукционов является протокол контрактной сети – модель распределенного решения, которая впервые была представлена Смитом в [18].

В [19] представлен обзор научных статей о практических подходах к использованию сложных систем и взаимодополняющих агентных моделей искусственного интеллекта, облегчающих параллельное использование алгоритмов обработки данных и знаний.

Работа [20] посвящена изучению опыта применения агентного моделирования к исследованию социально-экономических систем и процессов, обсуждению тенденций развития и перспективным направлениям его применения.

В [21] представлен всесторонний обзор мультиагентных моделей сложных социально-экологических систем. Авторами рассмотрены три высокоуровневые архитектуры проектирования сложных систем, которые позволяют классифицировать инструменты и фреймворки МАС.

Авторы в работе [22] представляют математическую модель для моделирования сценариев распространения дезинформации в социальных сетях, вызванного ботами, троллями и другими. Было проведено моделирование, связанное с увеличением скорости активации и деактивации дезинформационных агентов и дезинформации, вызванной этим механизмом.

В [23] исследовали специфические атрибуты индивидов и узлов сети мнений, включив в них такие параметры, как индивидуальное соответствие и сила индивидуальных онлайн-отношений, с целью определения поляризации мнений группы в Интернете. С по-

мощью мультиагентного моделирования авторы обнаружили, что индивидуальное соответствие и разница в отношении к окружающей среде сильно влияют на траекторию событий поляризации мнений.

В статье [24] представлен подход к моделированию и оптимизации индивидуальных стратегий принятия решений в СЭС, основанный на синтезе агентных методов моделирования, машинного обучения и алгоритмов генетической оптимизации. Авторами разработана методика синтеза и обучения искусственных нейронных сетей, моделирующих функциональность СЭС и обеспечивающих приближение значений ее объективных характеристик. Согласно проведенным численным экспериментам на примере предлагаемой агентной модели торгового взаимодействия использование таких интегрированных моделей позволяет существенно повысить временную эффективность эволюционного поиска оптимальных решений.

С помощью МАС в работе [25] проведен анализ формирования консенсусных групп. В агент-ориентированной модели, представленной автором, взаимодействия агентов и их участие в обмене взглядами зависят от сходства сетей убеждений агентов: чем выше сходство, тем вероятнее взаимодействие и совместное использование паутины элементов веры.

В работе [26] представлен подход к моделированию многоагентных региональных социально-экономических систем путем построения гибридных многоуровневых имитационных моделей, использующих методы системной динамики и агентного моделирования. В результате моделирования обеспечивается возможность исследования характеристик региональной социально-экономической системы с учетом сложных взаимосвязей и взаимодействий между экономическими агентами и внешней средой.

Целью работы [27] является формализация фундаментальных аспектов агент-ориентированного подхода как наиболее эффективного и перспективного инструмента моделирования социально-экономических систем. В статье предложена универсальная формализованная концептуальная схема агент-ориентированной модели социально-экономической системы через связь между векторами и матрицами данных. Также описаны основные структурные блоки модели, необходимые для понимания процесса управления системой. Предложена разработка агент-ориентированной модели путем включения в ее состав интеллектуальных агентов. Представлены численная реализация модели и перспективы ее развития.

В работе [28] авторы воспроизводят экономическое поведение рынка, товарооборот и распределение денежной массы участниками. Численное моделирование проводится на основе простой экономической модели с конечным числом экономических агентов, способных осуществлять обмен товарами/услугами и деньгами. Различные агенты взаимодействуют друг с другом посредством случайных обменов. Модель основана на микротехнологиях и является самосогласованной и предсказательной.

В [29] представлен мультиагентный симулятор для экономических систем, состоящих из гетерогенных домохозяйств и фирм, центральных банков и правительственных агентов, которые могут подвергаться экзогенным, стохастическим шокам.

В работе [30] дан обзор агентных моделей для борьбы с неинфекционными заболеваниями, а в [31] – для моделирования возникновения или сохранения неравенств в отношении здоровья.

Таким образом, мультиагентное моделирование широко используется для решения задач в различных отраслях, таких как экономика, медицина, экология и др. Тем не менее обеспечить его широкое применение все еще остается сложным процессом [32].

Однако, как видно из представленного выше обзора, на сегодняшний день мультиагентное моделирование применяется в большом количестве научных областей и продолжает оставаться интересным и популярным подходом по ряду причин [33]:

1. Наличие вычислительных мощностей для моделирования крупномасштабного социального взаимодействия.
2. Возможность использования решающих правил для моделирования поведения (поведенческой эвристики) вместо математической оптимизации.
3. Растущая популярность поведенческих исследований в экономике, которые позволяют получить представление о проектировании агентных моделей.
4. Бурное развитие теории сетей в социальных науках, предоставляющей новые инструменты для формализации взаимодействий между агентами.
5. Важность стабильности разработанных человеком систем (таких как финансовая система).
6. Достижения в оценке и калибровке агентных моделей, которые позволяют лучше оценить их соответствие эмпирическим данным.

Кроме того, мультиагентное моделирование помогает устранить некоторые из основных недостатков различных категорий моделей, описанных в [34]. Так как СЭС – это система взаимодействующих человеческих и экономических агентов, то она неоднородна. Мультиагентное моделирование разнородных агентов позволяет избежать нереалистичного представления компонентов такой системы. Также этот подход позволяет упростить сложность моделирования человеческих агентов, в частности поведенческую сложность, которая возникает из-за ментальных моделей агентов, обладающих когнитивными способностями (рассуждение и обучаемость). Эти модели основаны на теориях социальных наук о том, как человеческие агенты ведут себя в реальном мире в различных контекстах с другими человеческими и нечеловеческими агентами и окружающей средой.

На основе этих теорий формируются также коллективные модели поведения агентов, которые приводят к возникновению различных организационных структур. Такие системы, фиксированные или эмерджентные, могут побуждать агентов действовать иначе, чем их индивидуальный выбор, что может иметь решающее значение для понимания появления или исчезновения определенной динамики.

Следовательно, для моделирования социальных, гетерогенных и интерактивных измерений СЭС предпочтительным является агентный подход. Однако остаются значительные методологические проблемы, связанные с явным представлением масштабов и уровней абстракции.

Поскольку каждый агент может иметь свои собственные индивидуальные свойства, потенциально отличные от свойств всех других агентов в модели, количество настраиваемых параметров МАС может стать огромным. Эту проблему возможно решить распределенным управлением, когда на основе интеллектуального поведения одного агента образуется интеллектуальное поведение всей системы. В этом случае необходимо разработать модель интеллектуальных групп и организаций, которые способны решать задачи путем рассуждений, связанных с обработкой символов. Тогда согласование целей, координация действий различных агентов и разрешение конфликтов будут осуществляться путем переговоров. И основной вопрос будет состоять в исследовании возможности создания такого уровня семантизации действительности и таких алгоритмов поведения МАС, которые были бы сопоставимы с функциональностью, эмерджентно возникающей в биологических системах и эффективно решающей задачи реального мира [35]. В качестве подхода, позволяющего решить этот вопрос, можно рассмотреть мультиагентные нейрокогнитивные ар-

хитектуры. Суть этого подхода состоит в использовании рациональных программных агентов для моделирования нейроподобных элементов и организации их мультиагентного взаимодействия в процессе ситуативно детерминированного обучения нейрокогнитивной архитектуры на основе формирования аксо-дендрональных связей в составе управляющих функциональных систем (по Анохину), обеспечивающих автономное принятие решений и управление в различных задачах [36].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существует множество перспективных направлений для исследований агентных моделей, некоторые из которых были затронуты в этой статье. Преимущества использования мультиагентных моделей при моделировании СЭС заключаются в возможности:

- представления автономных агентов с собственными правилами и поведением, которые имитируют реальные сущности;
- моделирования взаимодействия агент-агент и агент-среда;
- имитационного моделирования эмерджентного поведения группы агентов, возникающего в результате локальных взаимодействий отдельных агентов.

Имитационное моделирование СЭС с помощью агентного подхода позволяет моделировать и симулировать сложные явления, такие как поведение толпы, транспортный поток, распространение болезней, изменение климата и эволюция экосистем, и решать реальные проблемы в широком спектре дисциплин, включая экономику, биологию, экологию, логистику и управление цепочками поставок и др. Это помогает выявлять возникающие закономерности, горячие точки и неинтуитивные модели поведения, которые в свою очередь могут направлять принятие решений и стратегическое планирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Gain A.K., Hossain Md.S., Benson D., Baldassarre G.D. et al. Social-ecological system approaches for water resources management. *International journal of sustainable development & world ecology*. 2021. Vol. 28. No. 2. Pp. 109–124. DOI: 10.1080/13504509.2020.1780647
2. Lippe M., Bithell M., Gotts N. et al. Using agent-based modelling to simulate social-ecological systems across scales. *GeoInformatica*. 2019. Vol. 23. No. 2. Pp. 269–298. DOI: 10.1007/s10707-018-00337-8
3. Elsawah S., Filatova T., Jakeman A.J. et al. Eight grand challenges in socio-environmental systems modeling. *Socio-Environmental Systems Modelling*. 2020. Vol. 2. P. 16226.
4. Lloret-Climent M., Nescolarde-Selva J.-A., Mora-Mora H. et al. Modeling complex social systems: A new network point of view in labour markets. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 92110. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2994622
5. Kumar S., Banerji H. Bayesian network modeling for economic-socio-cultural sustainability of neighborhood-level urban communities: Reflections from Kolkata, an Indian megacity. *Sustainable cities and society*. 2022. Vol. 78. P. 103632.
6. Adams K.J., Macleod Ch.A.J., Metzger M.J. et al. Developing a Bayesian network model for understanding river catchment resilience under future change scenarios. *Hydrology and earth system sciences*. 2023. Vol. 27. No. 11. Pp. 2205–2225. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-27-2205-2023>
7. Taillandier F., Maiolo P.D., Taillandier P. et al. An agent-based model to simulate inhabitants' behavior during a flood event. *International journal of disaster risk reduction*. 2021. Vol. 64. P. 102503. DOI: DOI:10.1016/j.ijdr.2021.102503

8. Орлов К. В., Жузбаев А. М., Мекенбаева К. Б. и др. Обзорная статья по динамическим стохастическим моделям общего равновесия (DSGE). *Review on DSGE models. Economic Review (National Bank of Kazakhstan)*. 2020. № 4. С. 4–40.

Orlov K.V., Zhuzbayev A.M., Mekenbayeva K.B. et al. Review article on dynamic stochastic general equilibrium models (DSGE). *Review on DSGE models. Economic Review (National Bank of Kazakhstan)*. 2020. No. 4. Pp. 4–40. (In Russian)

9. Zellner M., Massey D., Rozhkov A., Murphy J.T. Exploring the barriers to and potential for sustainable transitions in urban–rural systems through participatory causal loop diagramming of the food–energy–water nexus. *Land*. 2023. Vol. 12. P. 551. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12030551>

10. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход: 2-е издание. М.: Вильямс, 2006. 1408 с.

Russell S., Norvig P. *Iskusstvennyy intellekt. Sovremennyy podkhod* [Artificial Intelligence. A Modern Approach]: 2nd edition. Moscow: Vilyams, 2006. 1408 p. (In Russian)

11. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.

Tarasov V.B. *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika* [From multi-agent systems to intelligent organizations: philosophy, psychology, informatics]. Moscow: Editorial URSS, 2002. 352 p. (In Russian)

12. Wooldridge M. An introduction to multiagent systems second edition. Wiley, 2009. 484 p.

13. Multiagent Systems: A Modern approach to distributed artificial intelligence. Ed. by G. Weiss. The MIT Press, 1999. 643 p.

14. Shoham Y., Leyton-Brown K. Multiagent systems: algorithmic, game theoretic, and logical foundations. Cambridge University Press, 2008. 504 p.

15. Lesser V.R., Ertan L.D. Distributed interpretation: a model and experiment. *IEEE Trans. Computers*, 1980. Vol. 29(12). Pp. 1144–1163.

16. Xewitt C. Viewing control structures as patterns of message passing. *Artificial Intelligence*. 1977. Vol. 8. No. 3. Pp. 323–364.

17. Lenat D. BEINGS: Knowledge as interacting experts. Proc. of the 1975 IJCAI Conference, 1975. Pp. 126–133.

18. Smith R.G. The contract net protocol: high level communication and control in a distributed problem solver. *IEEE Transactions on Computers*. 1980. Vol. 29. No. 12. Pp. 1104–1113.

19. Mathieu P., Corchado J.M., González-Briones A., De la Prieta F. Advancements in the practical applications of agents, multi-agent systems and simulating complex systems. *Systems*. 2023. Vol. 11. P. 525. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems11100525>

20. Рамазанов Р. Агентное моделирование в исследовании и прогнозировании социально-экономических систем и процессов // Экономика и математические методы. 2021. Т. 57. № 1. С. 19–32. DOI: 10.31857/S042473880010550-4

Ramazanov R. Agent-based modeling in the study and forecasting of socio-economic systems and processes. *Ekonomika i matematicheskiye metody* [Economics and Mathematical Methods]. 2021. Vol. 57. No. 1. Pp. 19–32. DOI: 10.31857/S042473880010550-4. (In Russian)

21. Brugière A., Nguyen-Ngoc D., Drogoul A. Handling multiple levels in agent-based models of complex socio-environmental systems: A comprehensive review. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*. 2022. Vol. 8. P. 1020353.

22. Guzmán Rincón A., Carrillo Barbosa R.L., Segovia-García N., Africano Franco D.R. Disinformation in social networks and bots: Simulated scenarios of Its spread from system dynamics. *Systems*. 2022. Vol. 10. P. 34. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems10020034>

23. Ye Y., Zhang R., Zhao Y. et al. A novel public opinion polarization model based on BA network. *Systems*. 2022. Vol. 10. No. 2. P. 46.

24. Akopov A.S. Modeling and optimization of strategies for making individual decisions in multi-agent socio-economic systems with the use of machine learning. *Business Informatics*. 2023. Vol. 17. No. 2. Pp. 7–19. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.7.19

25. Koponen I.T. Agent-based modeling of consensus group formation with complex webs of beliefs. *Systems*. 2022. Vol. 10. P. 212. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems10060212>

26. Бекларян Г. Л. Имитационное моделирование многоагентных региональных социально-экономических систем: методы и примеры // Вестник ЦЭМИ РАН. 2023. Т. 6. № 4. DOI: 10.33276/S265838870029157-5

Beklaryan G.L. Simulation modeling of multi-agent regional socio-economic systems: methods and examples. *Vestnik TSEMI RAN* [Bulletin of the Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences]. 2023. Vol. 6. No. 4. DOI: 10.33276/S265838870029157-5. (In Russian)

27. Alfer'ev D.A. et al. Modeling of socio-economic processes – agent systems. Understanding the digital transformation of socio-economic-technological systems: dedicated to the 120th anniversary of economic education at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. Pp. 123–149.

28. Giunta A., Giunta G., Marino D. et al. Market behavior and evolution of wealth distribution: a simulation model based on artificial agents. *Mathematical and computational applications*. 2021. Vol. 26. No. 1. P. 12. DOI: <https://doi.org/10.3390/mca26010012>

29. Dwarakanath K., Vyetenko S., Tavallali P., Balch T. ABIDES-Economist: Agent-based simulation of economic systems with learning agents. *arXiv preprint arXiv:2402.09563*. 2024.

30. Colasanti R., MacLachlan A., Silverman E., Mccann M. Using agent-based models to address non-communicable diseases: a review of models and their application to policy. *The Lancet*. 2022. Vol. 400. P. S33. DOI: 10.1016/S0140-6736(22)02243-7

31. Boyd J., Wilson R., Elsenbroich C. et al. Agent-based modelling of health inequalities following the complexity turn in public health: a systematic review. *International journal of environmental research and public health*. 2022. Vol. 19. No. 24. P. 16807. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192416807>

32. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Rossoshanskaya E.A. et al. Problems of standardizing agent-based model description and possible ways to solve them. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2023. Vol. 93. No. 4. Pp. 239–248.

33. Steinbacher M., Raddant M., Karimi F. et al. Advances in the agent-based modeling of economic and social behavior. *SN Business & Economics*. 2021. Vol. 1. No. 7. P. 99. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43546-021-00103-3>

34. Giupponi C., Ausseil A.-G., Balbi S. et al. Integrated modelling of social-ecological systems for climate change adaptation. *Socio-Environmental Systems Modelling*. 2022. Vol. 3. <https://dx.doi.org/10.18174/sesmo.18161>

35. Пушенова И. А. Имитационное моделирование систем обволакивающего интеллекта на основе самоорганизующейся мультиагентной рекурсивной когнитивной архитектуры // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 3(83). С. 21–27. EDN: ХУКТВН

Pshenokova I.A. Simulation modeling of enveloping intelligence systems based on self-organizing multi-agent recursive cognitive architecture. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2018. No. 3(83). Pp. 21–27. EDN: XYKTWH. (In Russian)

36. *Нагоев З. В., Нагоева О. В.* Обоснование символов и мультиагентные нейрокогнитивные модели семантики естественного языка. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2022. 150 с.

Nagoev Z.V., Nagoeva O.V. *Obosnovaniye simvolov i mul'tiagentnyye neyrokognitivnyye modeli semantiki yestestvennogo yazyka* [Justification of symbols and multi-agent neurocognitive models of natural language semantics]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2022, 150 p. (In Russian)

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Айгумов Арслан Абдусаламович, аспирант кафедры «Мультиагентные интеллектуальные робототехнические системы», Научно-образовательный центр Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
arrslan@mail.ru

Пшенокова Инна Ауесовна, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;
pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>, SPIN-код: 3535-2963

Information about the authors

Arslan A. Aigumov, Post-graduate Student of the Department of Multi-Agent Intellectual Robotics Systems, Scientific and Educational Center Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;
arrslan@mail.ru

Inna A. Pshenokova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Laboratory “Intelligent Living Environments”, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;
pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>, SPIN-код: 3535-2963