

УДК 004.891; 332.1

DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-3-68-81

EDN: MAEUMW

Научная статья

## Концепция интеллектуальной системы моделирования экономического развития региона

И. А. Блиев, К. Ч. Бжихатлов

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

**Аннотация.** Исследование посвящено разработке концепции интеллектуальной системы моделирования экономического развития региона, в частности взаимодействию отдельных экономических агентов между собой. Представлены структура интеллектуальной системы моделирования и архитектура мультиагентных моделей экономических агентов. В результате исследования планируется разработать методы и алгоритмы интеллектуальной системы поддержки принятия решений для управления региональным инновационным развитием. Общей целью проекта является создание комплексной системы, способствующей выработке стратегий и реализации мероприятий, направленных на активизацию и эффективное управление инновациями в региональном контексте.

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, мультиагентные модели, система поддержки принятия решений, региональное развитие, инновационная деятельность, большие данные

Поступила 28.05.2024, одобрена после рецензирования 04.06.2024, принята к публикации 07.06.2024

**Для цитирования.** Блиев И. А., Бжихатлов К. Ч. Концепция интеллектуальной системы моделирования экономического развития региона // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 3. С. 68–81. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-3-68-81

### ВВЕДЕНИЕ

В условиях технологического прогресса и глобальной конкуренции интеграция инноваций в региональную социально-экономическую систему является ключевым фактором научно обоснованного управления. В этом контексте интеллектуальные системы поддержки принятия решений становятся важным инструментом для решения комплекса задач по разработке региональных инновационных стратегий и оценки инновационных проектов, где существует высокая доля неопределенности и информационной асимметрии [1]. Но, как отмечается в ряде исследований, разработка интеллектуальных систем управления на муниципальном и государственном уровне связана с рядом опасностей, среди которых возможные несоответствия принятых системой решений с нормами права [2], рост уровня безработицы [3], а также снижение налоговых отчислений [4]. Кроме того, цифровизация может приводить к неравенству возможностей граждан, связанному не только с недостатком компетенций пользователя, но и со спецификой работы интеллектуальных систем принятия решений. Например, анализ эффективности работы цифровой системы выдачи пособий в Норвегии показал заметное смещение охвата, напрямую коррелирующее с уровнем дохода семей [5], что свидетельствует о недоступности государственных систем определенным категориям граждан. При этом внедрение подобных технологий позволит заметно разгрузить систему управления региона.

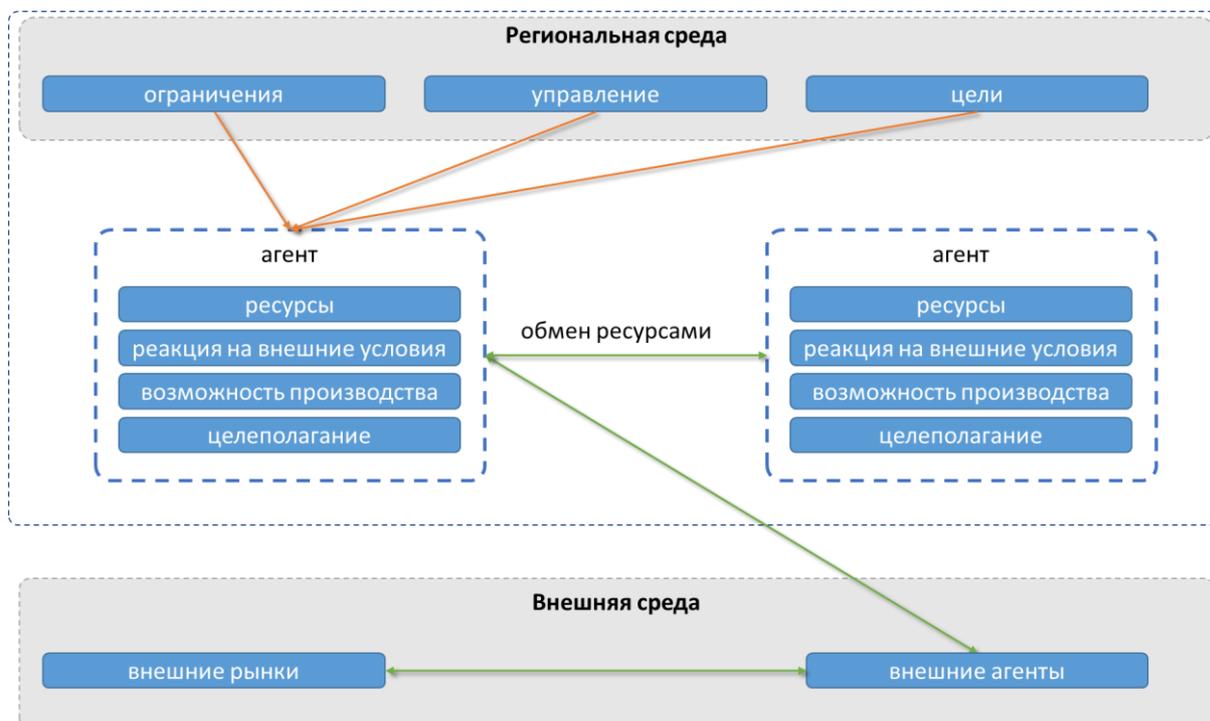
Одной из задач при разработке интеллектуальных систем государственного управления является прогнозирование ряда показателей экономического агента (организации, региона, определенной области) за счет достаточно точных моделей. Вопрос подбора наиболее актуальной модели зависит не только от конкретной задачи, но и от требований к применимости модели на практике (например, критерием может являться вычислительная сложность выбранной модели). Применяемые подходы можно поделить на использующие математическое моделирование, статистику и методы машинного обучения. В первом случае предполагается, что для экономических агентов существуют апробированные модели, описывающие перемещение ресурсов. Учитывая сложность разработки применимой модели, нередко приходится использовать статистические подходы для прогнозирования поведения экономического агента. Существуют различные подходы к моделированию экономических, социальных и демографических факторов, на основе которых строится прогноз экономического развития региона и принимаются оптимальные управленческие решения. Например, оценка демографических показателей муниципальных образований и городских округов Республики Башкортостан позволила спрогнозировать пространственную динамику трудовых ресурсов [6]. Эта работа помогла выявить направление оттока трудоспособного населения. Подобная модель в первую очередь может позволить спрогнозировать динамику экономической активности в разных регионах, а при использовании системы регулирования – обеспечить необходимую миграцию человеческих ресурсов между различными муниципальными образованиями. Похожее исследование, но уже в разрезе пространственного распределения и эволюции комплексного показателя экономической устойчивости проводилось для экономических зон Китайской Народной Республики [7]. По результатам анализа авторы отмечают высокий уровень показателя экономической устойчивости в восточном и прибрежном регионе и более низкий во внутренних и северо-западных регионах страны. При этом внутри каждого региона также наблюдается неравномерность, связанная со значительными темпами развития центральных городов каждой из провинций. Моделирование регионального экономического развития для западной части Китайской Народной Республики [8] показало влияние следующих факторов на пространственное распределение внутреннего валового продукта: общее накопление капитала, инвестиции в основной капитал, государственные финансовые расходы, человеческий капитал и количество выданных патентов. Моделирование ряда социально-экономических сценариев регионального пространственного развития (на примере Приморского и Хабаровского краев Российской Федерации) с использованием клеточных автоматов совместно с геоинформационными системами позволило определить оптимальный вектор изменений ряда экономических драйверов региона, таких как строительство дорожной сети, строительство объектов электроэнергетики, развитие электросетевой инфраструктуры, создание крупных предприятий и общий уровень экономической привлекательности региона [9]. Авторы отметили эффективность применения моделей, основанных на совместном использовании баз знаний, клеточных автоматов с данными геоинформационных систем. При этом стоит отметить достаточно широкое применение открытых геоинформационных порталов, таких как OpenStreetMap, для задач исследования пространственного распределения экономических показателей (например, уровня застройки и транспортной связанности в регионе) [10].

Среди используемых технологий исследователи рассматривают применение искусственных нейронных сетей, мультиагентного моделирования и технологии блокчейна [11]. В работе [12] рассмотрены алгоритмы обработки данных (обнаружения отклонений от нормального значения и использования алгоритма KNN) при оценке рисков и принятии решений, связанных с управлением экономикой региона. Стоит отметить, что интеллектуальные системы

(чаще всего основанные на применении искусственных нейронных сетей) активно используются для управления отдельными сферами экономической деятельности (от регулирования транспортных потоков [13] до управления процессом утилизации отходов [14]).

### КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

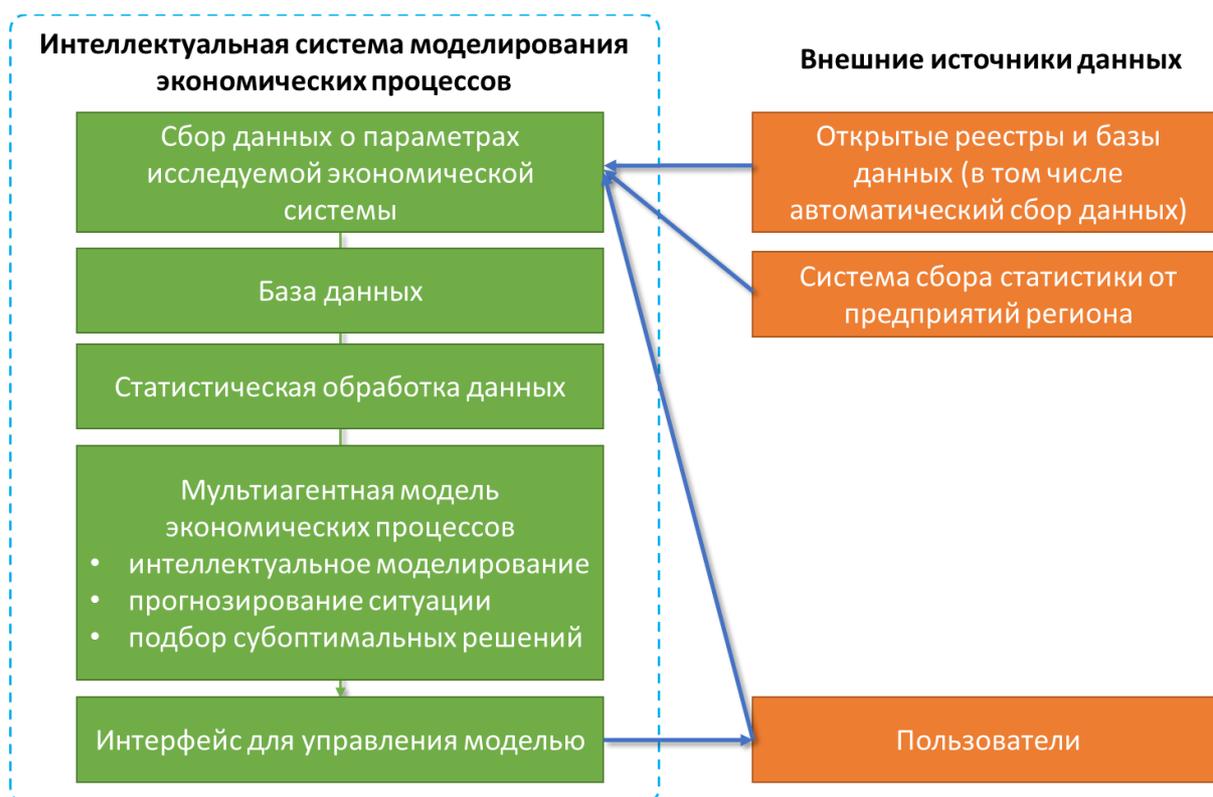
При разработке интеллектуальной системы моделирования экономического развития региона необходимо обеспечить максимально точное моделирование ряда показателей, связанных с движением трудовых ресурсов, производством и реализацией товаров и услуг, а также учет влияния системы регионального управления на эти показатели. Для создания такой модели может быть использован мультиагентный подход, предполагающий моделирование поведения каждого отдельного агента. Несмотря на значительную вычислительную нагрузку, такая модель позволяет прогнозировать сложные процессы, описываемые за счет взаимодействия множества разнородных агентов в системе. В частности, для моделирования поведения региональной экономики предлагается разработать модель, состоящую из набора отдельных экономических агентов, отвечающих за поведение всех акторов (производство, ритейл, трудовые ресурсы и т.д.). При этом каждый агент определяется набором доступных ресурсов, а также базой знаний, описывающей реакцию на внешние условия (изменения на рынке труда, в системе налогообложения и т.д.). Кроме того, если агент является производителем какого-либо из ресурсов, то в модели агента необходимо описание требуемых ресурсов и возможностей производства. При этом поведение агента определяется некоторой целевой функцией, зависящей от конкретной группы. В качестве целевой функции может выступать максимизация выгоды, объем накопленных ресурсов, уровень качества жизни и другие параметры как отдельного агента, так и региональной экономики в целом. Структура предложенной системы моделирования региональной экономики показана на рисунке 1.



**Рис. 1.** Структура мультиагентной модели региональной экономики

Как видно из рисунка, в качестве основного инструмента взаимодействия агенты используют возможность обмена ресурсами между собой и внешней средой, представленной внешними рынками и агентами. При этом на агентов влияют не только другие агенты, но и региональная среда, которая отвечает за ограничения действий агентов и некоторые управленческие воздействия. Кроме того, рассматривается возможность корректирования целей агентов (если агент является напрямую подчиненной структурой, например, государственным учреждением).

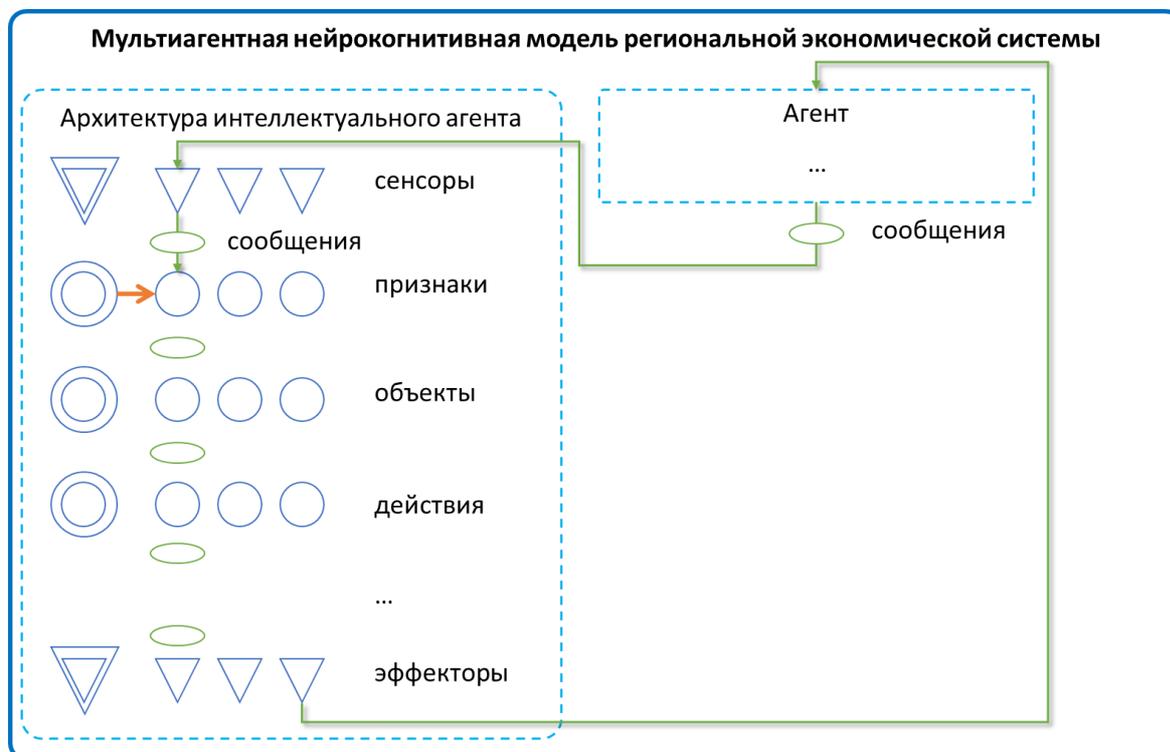
Для обеспечения работы подобной системы необходим сбор данных. В частности, требуется реализация автоматического анализа открытых реестров и баз данных, а также системы сбора статистики. Подобная система позволит получить некоторое представление о региональной экономике и поведении агентов в ней, что необходимо для заполнения баз знаний агентов в модели. При этом необходимо учитывать практическую нереализуемость сбора полной и точной статистики. Полученная информация отправляется в базу данных для дальнейшего статистического анализа. Уже эти данные являются входными параметрами для мультиагентной модели экономических процессов, происходящих в регионе. Результаты моделирования передаются пользователю. Стоит отметить, что интерфейс системы должен позволять менять условия моделирования и иметь возможность работы с несколькими пользователями одновременно. На рисунке 2 приведена структура подобной системы моделирования.



*Рис. 2. Структура интеллектуальной системы моделирования экономических процессов*

В качестве формализма системы интеллектуального моделирования рассматриваются мультиагентные нейрокогнитивные архитектуры [15], основанные на моделировании проактивных нейронов. Используемая модель нейрона в отличие от классических нейронных сетей предполагает наличие собственной базы знаний и целевой функции, а также разделение по

типам. Взаимодействие же между нейронами осуществляется за счет динамически заключаемых и расторгаемых контрактов, отвечающих за обмен информацией и энергией. Структура подобной мультиагентной модели показана на рисунке 3.



*Рис. 3. Базовая архитектура мультиагентной нейрокогнитивной модели*

Модель включает в себя множество отдельных интеллектуальных агентов, каждый из которых состоит из нескольких функциональных групп нейронов (слоев), где присутствует специальный нейрон, имеющий возможность создавать новые нейроны в архитектуре. Обмен сообщениями между слоями архитектуры, а также между сенсорами и эффекторами разных агентов позволяет системе строить план действий, обеспечивающий максимизацию целевой функции всего интеллектуального агента в целом. В перспективе применение подобного формализма позволит моделировать более сложные процессы поведения отдельных агентов, что обеспечит прогностическую точность разрабатываемой модели.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования была разработана концепция интеллектуальной системы моделирования экономических процессов, которая может стать частью системы управления инновационным развитием региона. Приведена структура мультиагентной модели региональной экономики, в которой рассматриваются отдельные экономические агенты, а также внешняя среда и региональная система управления. Поведение агента в подобной модели определяется набором доступных ресурсов, производственными возможностями, базой знаний, отвечающей за реакцию на внешние условия и целевой функцией агента. В качестве формализма системы моделирования агентов предполагается использование мультиагентных нейрокогнитивных архитектур. Предложенная архитектура обеспечит моделирование сложных процессов взаимодействия экономических агентов вплоть до движения ресурсов в зависимости от внешних условий и решений, принятых региональной системой управления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gurtuev A., Makhosheva S., Ivanov Z., Khadzhieva M.* Theoretical and methodological foundations for the development and formal model of behavior of a subject of a multi-level innovation environment with information asymmetry // *BIO Web of conferences*. 2024. Vol. 84. P. 4017. DOI: 10.1051/e3sconf/202346003024
2. *Zalnieriute M., Bennett Moses L., Williams G.* The rule of law and automation of government decision-making // *Modern law review*. 2019. Vol. 82. No. 3. Pp. 425–455. DOI: 10.1111/1468-2230.12412
3. *Zhao B.* Analysis on the negative impact of AI development on employment and its countermeasures // *SHS Web of conferences*. 2023. Vol. 154. P. 03022. DOI: 10.1051/shsconf/202315403022
4. *Casas P., Torres J.L.* Government size and automation // *International tax and public finance*. 2024. DOI: 10.1007/s10797-024-09833-0
5. *Larsson K.G.* Digitization or equality: When government automation covers some, but not all citizens // *Government information quarterly*. 2021. Vol. 38. No. 1. P. 101547. DOI: 10.1016/j.giq.2020.101547
6. *Lakman I.A., Gorshechnikova A.V., Shamsutdinova N.K., Prudnikov V.B.* Spatial modeling of human potential in the Republic of Bashkortostan // *Statistics and economics*. 2019. Vol. 16. No. 4. Pp. 35–44. DOI: 10.21686/2500-3925-2019-4-35-44
7. *Cheng K., Wang X., Liu S., Zhuang Y.* Spatial differences and dynamic evolution of economic resilience: from the perspective of China's eight comprehensive economic zones // *Economic change and restructuring*. 2024. Vol. 57. No. 2. DOI: 10.1007/s10644-024-09665-2
8. *Zhang J., Liu Q., Wang C., Li H.* Spatial-temporal modeling for regional economic development: A quantitative analysis with panel data from Western China // *Sustainability*. 2017. Vol. 9. No. 11. P. 1955. DOI: 10.3390/su9111955
9. *Musikhin I., Karpik A.* Use of GIS technology and cellular automata for modeling multiple socio-economic scenarios of regional spatial development and inter-regional cooperation // *Geo-spatial information science*. 2023. Vol. 26. No. 1. Pp. 1–23. DOI: 10.1080/10095020.2023.2182237
10. *Wang Z., Zheng J., Han C. et al.* Exploring the potential of OpenStreetMap Data in regional economic development evaluation modeling // *Remote sensing*. 2024. Vol. 16. No. 2. P. 239. DOI: 10.3390/rs16020239
11. *Kassen M.* Blockchain and e-government innovation: Automation of public information processes // *Information systems*. 2022. Vol. 103. P. 101862. DOI: 10.1016/j.is.2021.101862
12. *Wang H.* Application of intelligent analysis based on project management in development decision-making of regional economic development // *Applied artificial intelligence*. 2023. Vol. 37. No. 1. DOI: 10.1080/08839514.2023.2204263
13. *Das D., Banerjee S., Chatterjee P. et al.* Design and development of an intelligent transportation management system using blockchain and smart contracts // *Cluster computing*. 2022. Vol. 25. No. 3. Pp. 1899–1913. DOI: 10.1007/s10586-022-03536-z
14. *Ng K.S., Yang A.Y.* Development of a system model to predict flows and performance of regional waste management planning: A case study of England // *Journal of environmental management*. 2023. Vol. 325. P. 116585. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116585
15. *Nagoev Z., Pshenokova I., Pshenokova I. et al.* Learning algorithm for an intelligent decision making system based on multi-agent neurocognitive architectures // *Cognitive systems research*. 2021. Vol. 66. Pp. 82–88. DOI: 10.1016/j.cogsys.2020.10.015

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

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

### **Информация об авторах**

**Блиев Имран Амурбекович**, аспирант Научно-образовательного центра, Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360002, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

bliev.imran@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6640-8395>, SPIN-код: 6119-2238

**Бжихатлов Кантемир Чамалович**, канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360002, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

haosit13@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>, SPIN-код: 9551-5494