

УДК 004.89

DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-209-224

EDN: XRQMYE

Научная статья

Коллaborативная диалоговая система имитационного моделирования растений на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта

И. А. Пшенокова¹, М. И. Анчёков¹, К. Ч. Бжихатлов^{1,2}, З. В. Нагоев^{1,2},
О. В. Нагоева^{✉2}, А. А. Хамов¹

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. Актуальность работы определяется необходимостью повышения производительности, управляемости и эффективности процессов селекции и возделывания растений на основе создания их моделей, обладающих прогностической силой. Разработана общая архитектура систем имитационного моделирования растений на основе агентов универсального искусственного интеллекта. Обоснована возможность применения для разработки таких систем метафоры проектирования децентрализованных коллаборативных диалоговых систем на основе агентов универсального искусственного интеллекта. Разработаны обобщенные мультиагентные алгоритмы обучения управляемых нейрокогнитивных архитектур агентов универсального искусственного интеллекта в составе имитационных моделей растений на основе извлечения знаний из текстов и высказываний на естественном языке и реализации исследовательского поведения автономных мобильных роботов в реальной среде.

Цель исследования – разработка методологии создания имитационных моделей растений на основе диалоговых агентов универсального искусственного интеллекта.

Методы исследования. Обоснована возможность применения для разработки таких систем метафоры проектирования децентрализованных коллаборативных диалоговых систем на основе агентов универсального искусственного интеллекта.

Результаты. Разработаны основные принципы построения открытых имитационных моделей растений, обладающих выразительной и прогностической силой, на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта.

Заключение. Разработана общая архитектура систем имитационного моделирования растений на основе агентов универсального искусственного интеллекта и автономных мобильных роботов.

Ключевые слова: имитационное моделирование растений, агенты универсального искусственного интеллекта, нейрокогнитивные системы и алгоритмы, цифровое фенотипирование, молекулярное строение растений

Поступила 07.11.2025, одобрена после рецензирования 27.11.2025, принята к публикации 09.12.2025

Для цитирования. Пшенокова И. А., Анчёков М. И., Бжихатлов К. Ч., Нагоев З. В., Нагоева О. В., Хамов А. А. Коллаборативная диалоговая система имитационного моделирования растений на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 6. С. 209–224. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-209-224

Collaborative dialogue system for plant simulation based on neuropsychological agents of universal artificial intelligence

I.A. Pshenokova¹, M.I. Anchekov¹, K.Ch. Bzhikhatlov^{1,2}, Z.V. Nagoev^{1,2},
O.V. Nagoeva^{✉2}, A.A. Khamov¹

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

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

Abstract. The relevance of this work stems from the need to enhance the productivity, manageability, and efficiency of plant breeding and cultivation processes by creating predictive models. A general architecture for plant simulation systems based on universal artificial intelligence agents is developed. The feasibility of using a design metaphor for decentralized collaborative dialog systems based on universal artificial intelligence agents for developing such systems is substantiated. Generalized multi-agent training algorithms are developed for controlling neurocognitive architectures of artificial intelligence agents in plant simulation models; these algorithms are based on knowledge extracted from texts and natural language utterances, as well as the implementation of exploratory behavior by autonomous mobile robots in a real environment.

Aim. The study is to develop a methodology for creating simulation models of plants based on dialogue agents of universal artificial intelligence.

Research methods. The possibility of using a design metaphor for decentralized collaborative dialogue systems based on universal artificial intelligence agents to develop such systems is substantiated.

Results. Fundamental principles for constructing open-source plant simulation models with high expressiveness and predictive power have been developed based on neuropsychological agents from universal artificial intelligence.

Conclusion. A general architecture for plant simulation systems has been developed created on universal artificial intelligence agents and autonomous mobile robots.

Keywords: plant simulation modeling, general artificial intelligence agents, neurocognitive systems and algorithms, digital phenotyping, molecular structure of plants

Submitted 07.11.2025,

approved after reviewing 27.11.2025,

accepted for publication 09.12.2025

For citation. Pshenokova I.A., Anchekov M.I., Bzhikhatlov K.Ch., Nagoev Z.V., Nagoeva O.V., Khamov A.A. Collaborative dialogue system for plant simulation based on neuropsychological agents of universal artificial intelligence. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 6. Pp. 209–224. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-6-209-224

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность задачи имитационного моделирования растений определяется необходимостью повышения производительности, управляемости и эффективности процессов селекции и возделывания растений [1–6]. Сложность этой задачи, связанная с существенной нелинейностью, динамичностью, активностью, требованиями соблюдения физической, химической, биологической корректности, необходимостью использования значительных вычислительных ресурсов, трудностями идентификации и прикладного использования, определяет необходимость применения для ее решения методов мультиагентного моделирования и систем универсального искусственного интеллекта [7–10].

Длительный многоэтапный характер процессов в области селекции, семеноводства, возделывания растений и их многообразие, требования вовлечения в них значительного количества специалистов различного профиля и (на современном этапе) систем «умного» земледелия, автономных сельскохозяйственных роботов и систем искусственного интеллекта определяют необходимость применения для построения обучения универсальных интеллектуальных программных агентов метафоры проектирования децентрализованной коллaborативной диалоговой системы прототипирования и имитационного моделирования.

Объект исследования – архитектура систем имитационного моделирования растений, обладающих прогностической силой.

Предмет исследования – возможность применения для разработки таких систем метафоры проектирования децентрализованных коллаборативных диалоговых систем на основе агентов универсального искусственного интеллекта.

Задача исследования – разработка основных принципов построения открытых имитационных моделей растений, обладающих выразительной и прогностической силой, на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта.

Актуальность исследования. Актуальность задачи имитационного моделирования растений определяется необходимостью повышения производительности, управляемости и эффективности процессов селекции и возделывания растений.

1. АРХИТЕКТУРА И НАЗНАЧЕНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСТЕНИЙ

На рисунках 1 и 2 приведено схематическое изображение вариантов использования и архитектуры обобщенной системы имитационного моделирования растений, представляющей собой распределенный децентрализованный сервис сбора, хранения и обработки данных и знаний, основанный на применении интеллектуальных программных агентов.



Рис. 1. Варианты использования распределенного сервиса на базе имитационной модели растений

Fig. 1. Options for using a distributed service based on a plant simulation model

Как было указано выше, сложность задачи проектирования и создания подобного сервиса настолько высока, что требует применения метафоры проектирования децентрализованной диалоговой коллaborативной системы прототипирования, предполагающей организацию конструктивного взаимодействия и обучения агентов универсального искусственного интеллекта операторами – партнерами по человеко-машинному коллективу – с использованием естественного языка.

Основной содержательный смысл создания и применения имитационных моделей растений состоит, по нашему мнению, в том, что такие модели могут стать функциональной основой интеллектуальных сервисов поддержки принятия решений и управления процессами селекции и семеноводства растений и производства продукции растениеводства, основанных на синтезе, накоплении и использовании знаний по принципу открытой системы.

Этот подход в среднесрочной перспективе призван компенсировать сложность, трудоемкость создания таких моделей и сервисов.

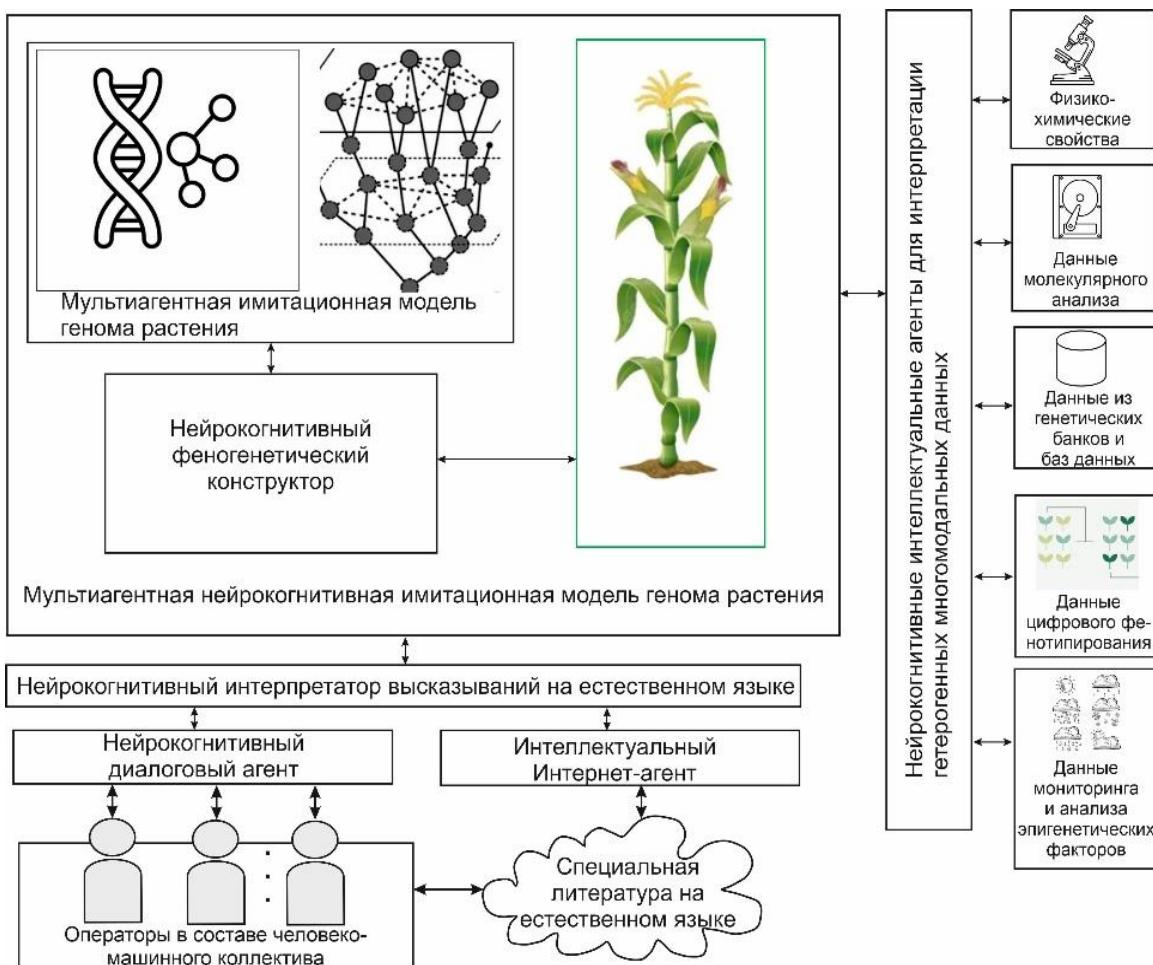


Рис. 2. Общая архитектура распределенного сервиса на базе имитационной модели растений

Fig. 2. General architecture of a distributed service based on a plant simulation model

Обобщенная схема циркуляции знаний в такой системе приведена на рисунке 3.

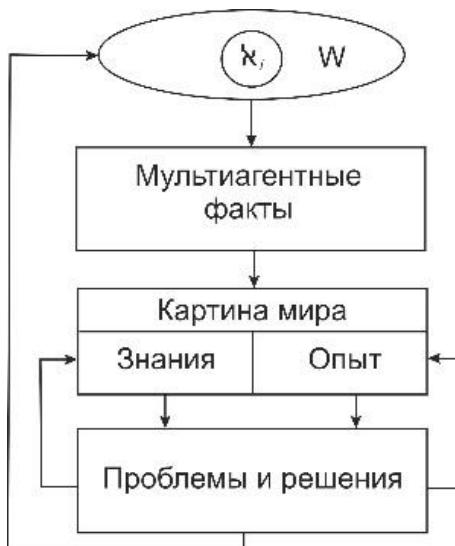


Рис. 3. Схема приобретения и использования знаний в открытой интеллектуальной системе имитационного моделирования

Fig. 3. Knowledge acquisition and use scheme in an open intelligent simulation modeling system

Рассмотрим основные принципы создания такой системы на основе применения агентов универсального искусственного интеллекта, определенные в [11], использование которых, по нашему мнению, является необходимым условием для достижения вышеописанной функциональности имитационных моделей растений.

К настоящему моменту в целом сложилось представление об архитектуре перспективной обобщенной системы коллаборативного прототипирования, основанной на имитационных моделях сред, агентов и явлений и применении интеллектуальных программных агентов [12–14]. Такая система должна обладать свойствами коллаборативности, гетероинтеллектуальности, диалоговой управляемости, федеративности, настраиваемой корректности виртуальной среды, мультиагентной автономности. Функциональную основу такой системы составляют агенты универсального искусственного интеллекта. Сущностное и формальное определение такого агента дано в [11]. Ключевое функциональное свойство агента универсального искусственного интеллекта, существенное в контексте создания гетероинтеллектуальных систем коллаборативного конструирования и прототипирования, – способность к автономной идентификации, онтологизации и решению задач, поставленных оператором, и проблем, препятствующих реализации этих задач. При этом предполагается, что такие постановки выполняются в форме естественно-языковых высказываний, которые интеллектуальный агент понимает и может поддерживать диалог с пользователем, направленный на уточнение поставленной миссии и ее деталей, информирование о ходе реализации задач.

В этом случае обмен знаниями между агентами универсального искусственного интеллекта, на основе которых будет построена система имитационного моделирования растений, и операторами – партнерами таких интеллектуальных агентов по выполнению согласованного коллективного поведения в рамках кооперации в составе коллаборативной системы диалогового прототипирования может быть описан обобщенным алгоритмом, приведенным на рисунке 4.

Что же представляет собой агент универсального искусственного интеллекта, способный к пониманию и синтезу высказываний в процессе содержательного диалога с оператором?

рами на естественном языке? В [11] дается содержательное и формальное определение таких агентов. Приведем далее формальное определение агентов универсального искусственного интеллекта в кратком варианте, отсылая читателя за деталями определения к процитированной работе.

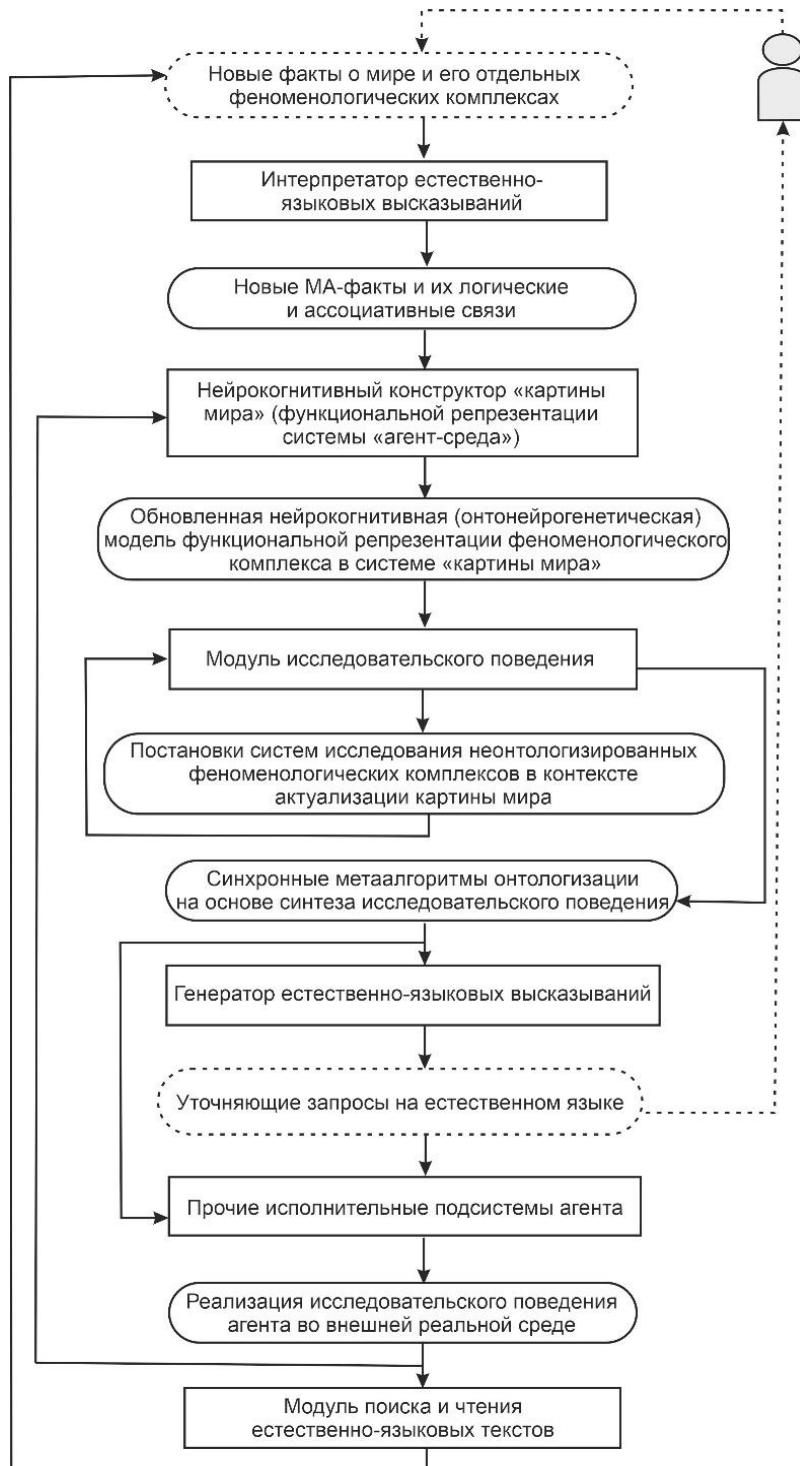


Рис. 4. Схема алгоритма обмена знаниями между интеллектуальными агентами и операторами в составе колаборативной диалоговой системы

Fig. 4. Scheme of the algorithm for knowledge exchange between intelligent agents and operators as part of a collaborative dialogue system

2. АГЕНТ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Пусть некоторый интеллектуальный агент $\aleph_{\tau_{b^i}}^{\text{v}\vec{i}\gamma\tau_{e^{\text{imax}}}}$, принадлежащий классу \mathbf{L} так называемых *коллективных вычислителей* [11] (например, постановщик задачи, оператор), для решения проблемы $p_{h_i\tau_d}^{id}$ строит алгоритм:

$$a_{l_i\tau_d}^{idh_i} = u_{l_i\tau_d}^{idh_i}(p_{h_i\tau_d}^{id}), f_{l_i\tau_d}^{idh_i\Xi*} = c^i \left(a^i \left(p_{h_i\tau_d}^{id}, p_{h_i^o\tau_{d+x}}^{idh_i l_i\Xi*} \right) \right), \exists \aleph_{k_q\tau_d}^{\text{v}\vec{i}(\gamma-1)} \in \mathbf{L},$$

$$P_{d\tau_{x_d}}^i = \left\{ p_{h_i\tau_d}^{id}, p_{k_q h_{k_q}\tau_d}^{\text{v}id} \right\}, P_{d\tau_{x_d+y}}^{i\Xi*} = \left\{ p_{h_i^o\tau_{d+x}}^{idh_i l_i\Xi*}, p_{k_q h_{k_q}\tau_{x_d+y}}^{\text{v}idh_{k_q} l_{k_q}\Xi*} \right\},$$

$$a_{l_{k_q}\tau_d}^{\text{v}idh_{k_q}} = u_{l_{k_q}\tau_d}^{\text{v}idh_{k_q}} \left(p_{k_q h_{k_q}\tau_d}^{\text{v}id} \right), f_{l_{k_q}\tau_{x_d+y}}^{\text{v}idh_{k_q}\Xi*} = c^{\text{v}i} \left(a^{\text{v}i} \left(p_{k_q h_{k_q}\tau_d}^{\text{v}id}, p_{h_{k_q}^o\tau_{d+y}}^{\text{v}idh_{k_q} l_{k_q}\Xi*} \right) \right),$$

где $\aleph_{k_q\tau_d}^{\text{v}\vec{i}(\gamma-1)}$ – агент из класса л-вычислителей, который в соответствии с алгоритмом $a_{l_i\tau_d}^{idh_i}$ для решения локальной проблемы $p_{h_i\tau_d}^{id}$ оператора $\aleph_{\tau_{b^i}}^{\text{v}\vec{i}\gamma\tau_{e^{\text{imax}}}}$ должен решить свою локальную проблему $p_{k_q h_{k_q}\tau_d}^{\text{v}id}$ при помощи алгоритма $a_{l_{k_q}\tau_d}^{\text{v}idh_{k_q}}$. Сделав это, он совместно с оператором решит и коллективную проблему $P_{d\tau_{x_d}}^i$, перейдя к целевым проблемам $P_{d\tau_{x_d+y}}^{i\Xi*}$ при помощи генерации эффекторных траекторий $f_{l_i\tau_d}^{idh_i\Xi*}$ и $f_{l_{k_q}\tau_{x_d+y}}^{\text{v}idh_{k_q}\Xi*}$. Здесь v – индекс, обозначающий искусственное происхождение агента $\aleph_{k_q\tau_d}^{\text{v}\vec{i}(\gamma-1)}$.

Оператор $\aleph_{\tau_{b^i}}^{\text{v}\vec{i}\gamma\tau_{e^{\text{imax}}}}$ для привлечения агента $\aleph_{k_q\tau_d}^{\text{v}\vec{i}(\gamma-1)}$ к совместному решению проблемы $p_{h_i\tau_d}^{id}$ при помощи функции языкового кодирования $\psi_l^{\text{v}icod}$ строит для этого агента задание, выраженное в сообщении:

$$m_{iz\tau_d}^{\text{v}k_q dh_{k_q}} = \psi_l^{\text{v}icod} \left(P_{d\tau_{x_d}}^i, P_{d\tau_{x_d+y}}^{i\Xi*}, a_{l_i\tau_d}^{idh_i}, a_{l_{k_q}\tau_d}^{\text{v}idh_{k_q}} \right),$$

раскодировав которое при помощи функции языкового декодирования $\psi_l^{k_q \text{dec}} \left(m_{iz\tau_d}^{\text{v}k_q dh_{k_q}} \right)$, агент $\aleph_{k_q\tau_d}^{\text{v}\vec{i}(\gamma-1)}$ получает информацию о том, что он должен выполнить алгоритм $a_{l_{k_q}\tau_d}^{\text{v}idh_{k_q}}$ с целью перехода от проблемы $p_{k_q h_{k_q}\tau_d}^{\text{v}id}$ к проблеме $p_{h_{k_q}^o\tau_{d+y}}^{\text{v}idh_{k_q} l_{k_q}\Xi*}$. Система «оператор – агент – среда» реализует коллективную траекторию:

$$F^{i\gamma} = U^{i\gamma} = \Phi^{i\gamma} \left(P_{d\tau_{x_d}}^i, P_{d\tau_{x_d+y}}^{i\Xi*} \right) = \left(f_{l_i\tau_d}^{idh_i\Xi*}, f_{l_{k_q}\tau_{x_d+y}}^{\text{v}idh_{k_q}\Xi*} \right).$$

В силу того, что вся информация приходит к агенту $\aleph_{k_q\tau_d}^{\text{v}\vec{i}(\gamma-1)}$ во входном сенсорном потоке, можно записать:

$$p_{h\tau_d}^{v k_q d h_{k_q}} = p^i \left(s^i \left(r_{h\tau_{d-g}}^{i\tau_d}, \mathfrak{v}_l^{k_q \mathbf{dec}} \left(m_{i\tau_d}^{v k_q d h_{k_q}} \right) \right) \right),$$

где $p_{h\tau_d}^{v k_q d h_{k_q}}$ – новая локальная проблема, решение которой детерминировано необходимостью выполнения задания $m_{i\tau_d}^{v k_q d h_{k_q}}$, принятого от оператора $\aleph_{\tau_b}^{v i \tau e^{i \max}}$. Этую проблему агент $\aleph_{k_q \tau_d}^{v i (\gamma-1)}$ идентифицирует в своей системе управления на базе анализа сенсорной траектории $r_{h\tau_{d-g}}^{i\tau_d}$ и декодированных функцией $\mathfrak{v}_l^{k_q \mathbf{dec}} \left(m_{i\tau_d}^{v k_q d h_{k_q}} \right)$ данных о $P_{d\tau_{x_d}}^i, P_{d\tau_{x_d+y}}^{i\Xi^*}, a_{l_i \tau_d}^{i d h_i}, a_{l_{k_q} \tau_d}^{v i d h_{k_q}}$.

Построив при помощи функции p^i локальную проблему $p_{h\tau_d}^{v k_q d h_{k_q}}$, агент $\aleph_{k_q \tau_d}^{v i (\gamma-1)} \in \mathbb{L}$ с помощью своего закона управления генерирует траекторию:

$$f_{j\tau_{x_d+y}}^{v i d h_{k_q} h l_{k_q} \Xi^*} = \left(f_{j\tau_{x_d}}^{v i d h_{k_q} h l_{k_q} \Xi^*}, f_{l_{k_q} \tau_{x_d+y}}^{v i d h_{k_q} \Xi^*} \right) = u^{v i h M a} \left(p_{h\tau_d}^{v k_q d h_{k_q}} \right) =$$

$$= \begin{cases} u_{k_q \tau_x}^{v i h} \left(p_{h\tau_d}^{v k_q d h_{k_q}} \right), \exists a_{k_q \tau_d}^{v i h} \in \mathbf{A}^{v k_q} \\ u_{k_q \tau_x}^{v i h M} \left(p_{h\tau_d}^{v k_q d h_{k_q}} \right), \nexists a_{k_q \tau_d}^{v i h} \in \mathbf{A}^{v k_q} \end{cases}$$

где $f_{j\tau_{x_d+y}}^{v i d h_{k_q} h l_{k_q} \Xi^*}$ – общая эффекторная траектория, $f_{l_{k_q} \tau_{x_d+y}}^{v i d h_{k_q} \Xi^*}$ – ее целевая часть, а $f_{j\tau_{x_d}}^{v i d h_{k_q} h l_{k_q} \Xi^*}$ – подготовительная часть общей траектории. Для того, чтобы из текущего состояния $\aleph_{k_q \tau_d}^{v i (\gamma-1)}$ оператор $\aleph_{\tau_b}^{v i \tau e^{i \max}}$ смог реализовать целевую часть, ему необходимо сначала исполнить подготовительную часть общей траектории.

Агент $\aleph_{k_q \tau_d}^{v i (\gamma-1)}$ при условии присутствия специального алгоритма $a_{k_q \tau_d}^{v i h}$ решения проблемы $p_{h\tau_d}^{v k_q d h_{k_q}}$ в базе знаний и алгоритмов (онтоме) $\mathbf{A}^{v k_q}$ использует выполняемую этим алгоритмом функцию $u_{k_q \tau_x}^{v i h} \left(p_{h\tau_d}^{v k_q d h_{k_q}} \right)$ для построения общей эффекторной траектории $f_{j\tau_{x_d+y}}^{v i d h_{k_q} h l_{k_q} \Xi^*}$. При условии отсутствия такого алгоритма агент $\aleph_{k_q \tau_d}^{v i (\gamma-1)}$ применяет метаалгоритмическую функцию $u_{k_q \tau_x}^{v i h M} \left(p_{h\tau_d}^{v k_q d h_{k_q}} \right)$ для того, чтобы создать специальный алгоритм $a_{k_q \tau_d}^{v i h}$.

Таким же образом агент $\aleph_{k_q \tau_d}^{v i (\gamma-1)}$ действует и в случае, когда в процессе построения и выполнения общей эффекторной траектории $f_{j\tau_{x_d+y}}^{v i d h_{k_q} h l_{k_q} \Xi^*}$ в потоке $p_{\tau_d}^{k_q \tau_{x_d+y}}$ появляются новые проблемы $p_{h^b \tau_{x_d+y_b}}^{v k_q d h_{k_q}}$, которые ведут к отклонению от целевой части траектории $f_{l_{k_q} \tau_{x_d+y}}^{v i d h_{k_q} \Xi^*}$.

Соответственно, для построения и реализации эффекторной траектории F^{i^*} оператору $\aleph_{\tau_b^i}^{\aleph i \tau_{e^{i \max}}}$ требуется отправить агенту $\aleph_{k_q \tau_d}^{\aleph i (\gamma-1)}$ сообщение $m_{iz \tau_d}^{\aleph k_q dh_{k_q}}$. После этого все действия, необходимые для генерации общей эффекторной траектории $f_{j \tau_{x_d+y}}^{\aleph idh_{k_q} hl_{k_q} \Xi^*}$, с учетом действий, необходимых для онтологизации, идентификации и решения проблем $p_{h^b \tau_{x_d+y_b}}^{\aleph k_q dh_{k_q}}$, искусственный интеллектуальный агент должен выполнить самостоятельно.

Агента $\aleph_{k_q \tau_d}^{\aleph i (\gamma-1)} \in \mathbf{L}$, закон управления которого имеет вид:

$$f_{j \tau_{x_d+y}}^{\aleph idh_{k_q} hl_{k_q} \Xi^*} = u^{\aleph ihMa} \left(p_{h \tau_d}^{\aleph k_q dh_{k_q}} \right),$$

будем называть *агентом универсального искусственного интеллекта (универсальным искусственным интеллектом (УИИ))*.

Иными словами, мы считаем агентом универсального искусственного интеллекта такого программного агента, который способен обучиться пониманию и синтезу высказываний на естественном языке до уровня, достаточного для поддержки диалога с операторами с целью извлечения знаний о миссиях, и выполнить задачи, поставленные и возникающие в рамках этой миссии, самостоятельно компенсируя все возникающие в процессе выполнения возмущения.

3. АЛГОРИТМЫ ОБУЧЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ РАСТЕНИЙ НА БАЗЕ АГЕНТОВ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Основные принципы и мультиагентные алгоритмы обучения интеллектуальных программных нейрокогнитивных агентов естественному языку, понимания и синтеза естественно-языковых высказываний приведены в [15]. Общий принцип построения таких мультиагентных алгоритмов, который, например, иллюстрируется рисунком 5, состоит в том, что при взаимодействии программного агента с оператором посредством естественного языка, они оба, являясь агентами универсального интеллекта, реализуют синтез управления своим поведением в интересах онтологизации, идентификации и решения проблем универсального спектра в системе «агент – среда».

У одного из агентов (оператор) есть функциональная нейрокогнитивная система решения некоторой проблемы (идентификации, онтологизации), а у другого (программного агента в составе имитационной модели растения) ее нет. На рисунке 5 в нейрокогнитивной архитектуре такого агента показаны все функциональные системы, включая концепты, связанные с элементами и системами феноменологии функциональной презентации естественного языка. Расшифровки пиктограмм в целях экономии места здесь не приводим. Они даны в [15]. На рисунке, в частности, показано, что после приема и интерпретации высказывания оператора на естественном языке у программного агента, ранее не обладавшего функциональной системой, описывающей некоторые мультиагентные факты о растении, такая нейрокогнитивная функциональная система появляется.

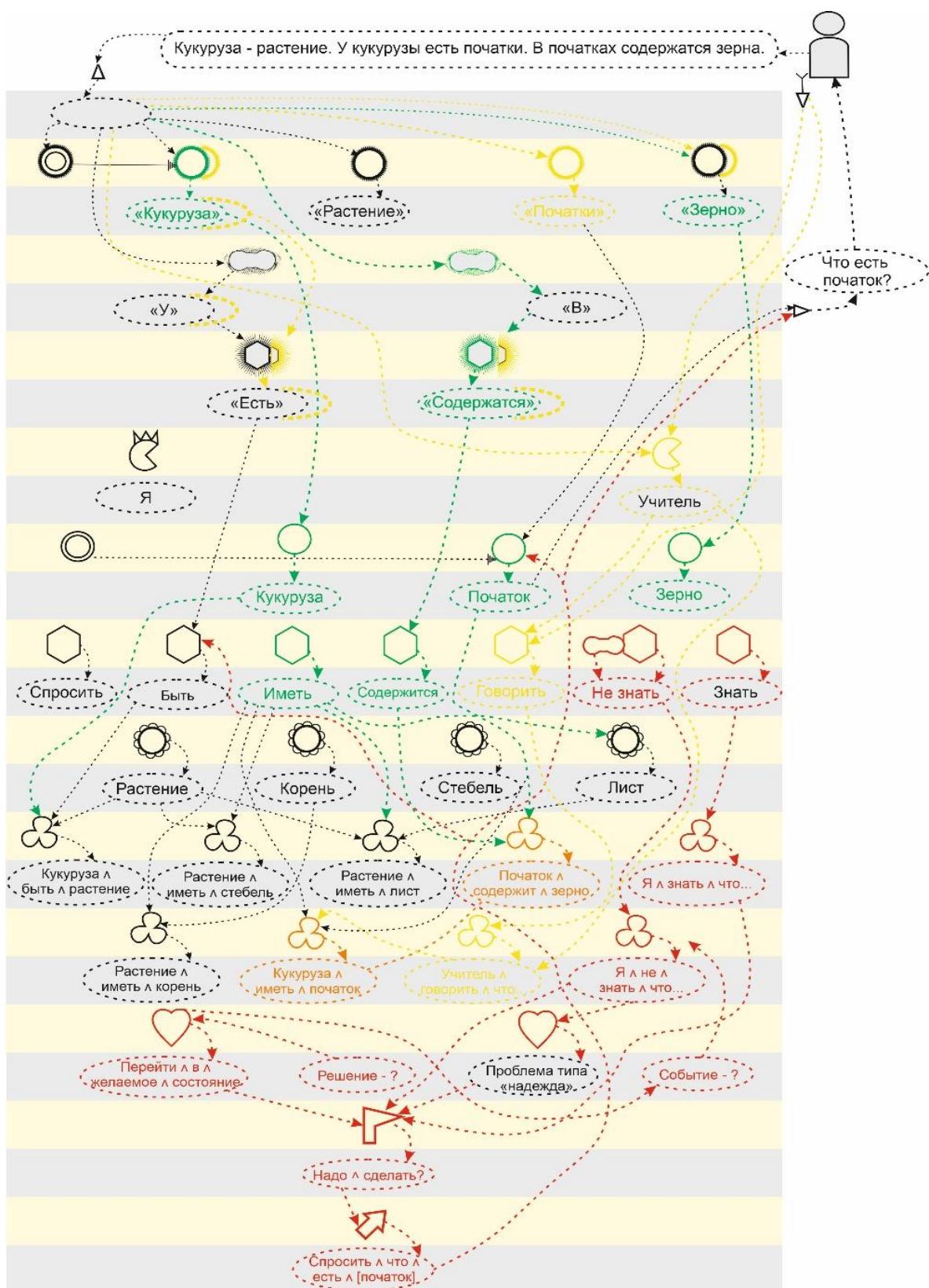


Рис. 5. Мультиагентный алгоритм извлечения знаний из высказывания на естественном языке

Fig. 5. Multi-agent algorithm for extracting knowledge from a natural language statement

Кроме алгоритмов извлечения знаний на основе интерпретации высказываний на естественном языке, разрабатываемая колаборативная система имитационного моделирования растений предполагает применение автономных роботов и программных агентов, способных выполнять исследовательские задачи и функционировать в качестве мобильных и стационарных сенсоров и эффекторов. На рисунке 6 приведен фрагмент мультиагентного алгоритма управления исследовательским поведением автономного мобильного робота, выполняющего цифровое фенотипирование растений.

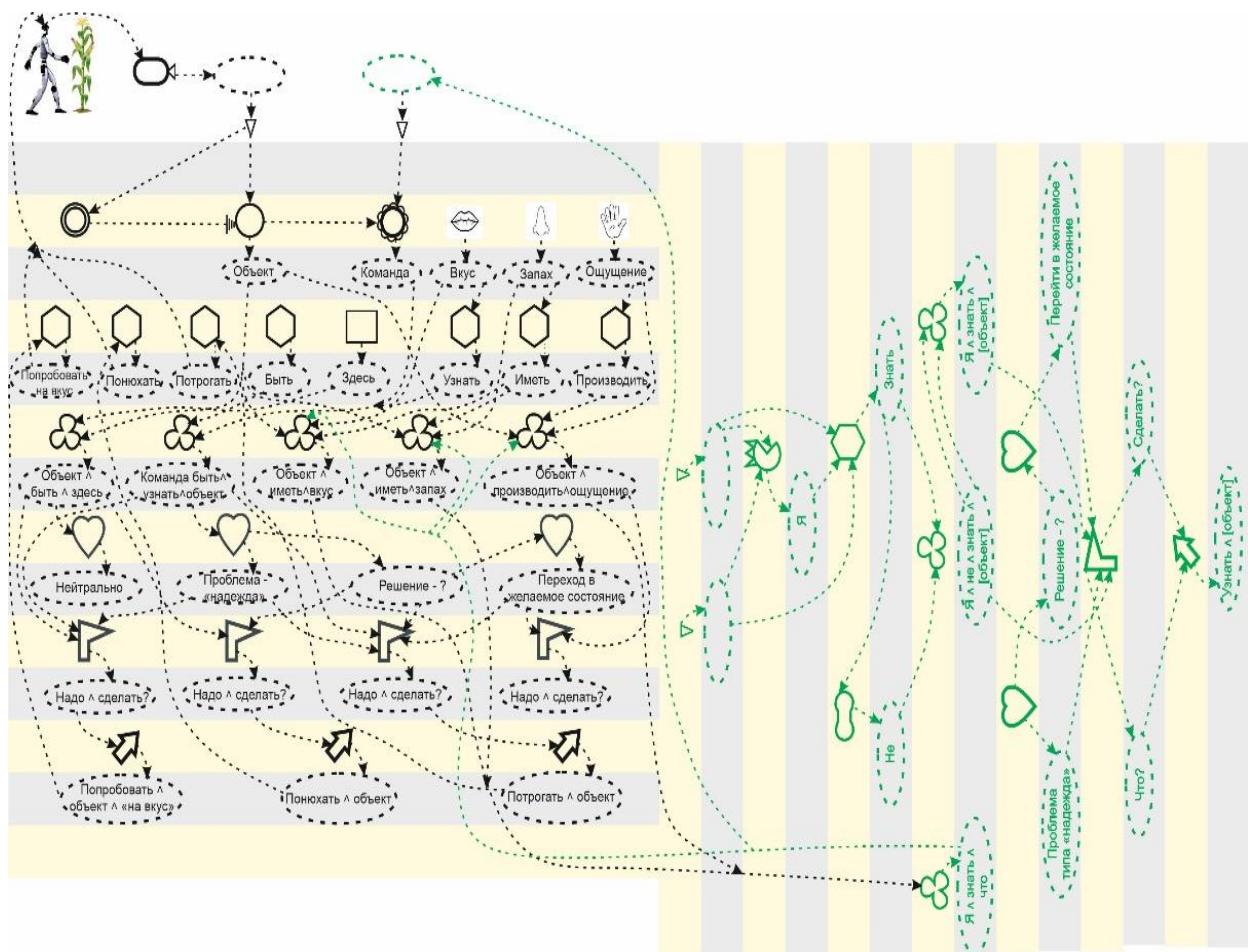


Рис. 6. Нейрокогнитивный алгоритм управления мобильным роботом цифрового фенотипирования растений

Fig. 6. Neurocognitive control algorithm for a mobile robot for digital plant phenotyping

Наибольшее количество знаний о структуре, составе и свойствах растений сосредоточено в специальной литературе, написанной на естественном языке и доступной в открытых источниках. Применение агентов универсального интеллекта в качестве основы децентрализованной системы управления знаниями имитационной модели растений предполагает возможность и необходимость самостоятельного обучения таких агентов путем извлечения недостающих знаний из таких источников на основе реализации алгоритмов исследовательского поведения (рис. 7).

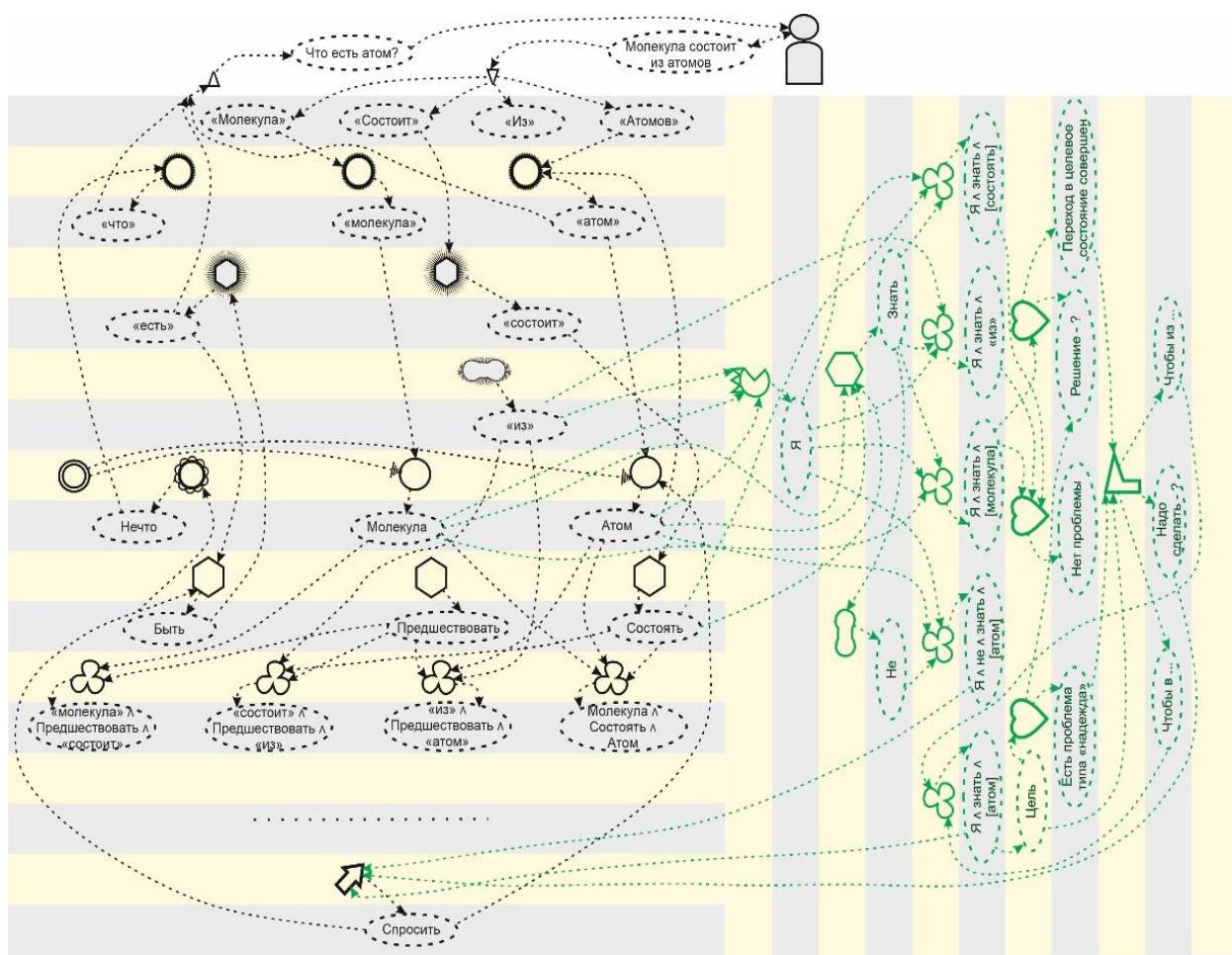


Рис. 7. Фрагмент гносеографического алгоритма извлечения знаний о молекулярной структуре растения из текста специальной литературы

Fig. 7. Fragment of an epistemological algorithm for extracting knowledge about the molecular structure of a plant from specialized literature

Агенты универсального искусственного интеллекта, способные к извлечению знаний из текстов на естественном языке, получили в [11] название *гносеографические*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана общая архитектура систем имитационного моделирования растений на основе агентов универсального искусственного интеллекта и автономных мобильных роботов.

Обоснована возможность применения для разработки таких систем метафоры проектирования децентрализованных коллаборативных диалоговых систем на основе агентов универсального искусственного интеллекта.

Разработаны основные принципы построения открытых имитационных моделей растений, обладающих выразительной и прогностической силой, на основе нейропсихологических агентов универсального искусственного интеллекта.

Разработаны обобщенные мультиагентные алгоритмы обучения управляющих нейрокогнитивных архитектур агентов универсального искусственного интеллекта в составе имитационных моделей растений на основе извлечения знаний из текстов и высказываний на естественном языке и реализации исследовательского поведения автономных мобильных роботов в реальной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Anchekov M. I. et al.* RETRACTED: Principles of ontophylogenetic development of artificial general intelligence systems based on multi-agent neurocognitive architectures // BIO Web of Conferences. EDP Sciences. 2024. Vol. 84. P. 02015
2. *Анчёков М. И., Курашев Ж. Х., Лешкенов А. М.* Применение многоагентных робототехнических систем в сельском хозяйстве // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 6. С. 158–164. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-158-164
3. *Нагоев З. В. и др.* Универсальная экспертная система на базе онтоэпизофилогенетического обучения федераций интеллектуальных нейрокогнитивных агентов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2024. Т. 26. № 6. С. 197–207. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-197-207
4. *Анчёков М. И. и др.* Формальная модель генома агента общего искусственного интеллекта на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 5(115). С. 11–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-5-115-11-24
5. *Анчёков М. И., Лешкенов А. М.* Система виртуального моделирования робототехнических систем сельскохозяйственного назначения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 125–131. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-125-131
6. *Нагоев З. В. и др.* Алгоритм нейрокогнитивного обучения мультиагентной системы эволюционного моделирования экспрессии генов по данным ПЦР-анализа растений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 179–192. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-179-192
7. *Анчёков М. И., Бжихатлов К. Ч., Лешкенов А. М.* Высокопроизводительные системы фенотипирования сельскохозяйственных культур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5(109). С. 19–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-19-24
8. *Анчёков М. И., Боготова З. И., Пиленкова И. А., Нагоев З. В. и др.* Коллаборативная селекционная система на основе консорциума гетерогенных интеллектуальных агентов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 5(109). С. 25–37. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-25-37
9. *Нагоев З. В., Анчёков М. И., Курашев Ж. Х., Хамов А. А.* Алгоритм нейрокогнитивного обучения мультиагентной системы эволюционного моделирования экспрессии генов по данным ПЦР-анализа растений // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 179–192.
10. *Нагоев З. В., Пиленкова И. А., Нагоева О. В. и др.* Имитационная модель нейрокогнитивной системы управления автономным программным агентом, выполняющим кооперативное поведение с целью автоматического пополнения онтологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234
11. *Нагоев З. В.* Основные принципы нейрокогнитивного моделирования сознания агента универсального искусственного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 1. С. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170
12. *Нагоев З. В., Оихунов М. М.* Математические модели деформируемых сред для интеллектуальных систем виртуального прототипирования. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН. 2013. С. 201.
13. *Нагоев З. В.* Интеллектуика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 232 с.
14. *Russell S., Norvig P.* Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA). 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

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

REFERENCES

1. Anchekov M.I. et al. RETRACTED: Principles of ontophylogenetic development of artificial general intelligence systems based on multi-agent neurocognitive architectures. *BIO Web of Conferences. EDP Sciences*, 2024. Vol. 84. P. 02015
2. Anchekov M.I., Kurashev Zh.Kh., Leshkenov A.M. Application of multi-agent robotic systems in agriculture. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 6. Pp. 158–164. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-158-164. (In Russian)
3. Nagoev Z.V. et al. Universal expert system based on ontoepisociophylogenetic learning of federations of intelligent neurocognitive agents. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024. Vol. 26. No. 6. Pp. 197–207. DOI: 10.35330/1991-6639-2024-26-6-197-207. (In Russian)
4. Anchekov M.I. et al. Formal model of the genome of an agent of general artificial intelligence based on multi-agent neurocognitive architectures. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 5 (115). Pp. 11–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-5-115-11-24. (In Russian)
5. Anchekov M.I., Leshkenov A.M. Virtual modeling system for robotic systems for agricultural purposes. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 125–131. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-125-131. (In Russian)
6. Nagoev Z.V. et al. Neurocognitive learning algorithm for a multi-agent system for evolutionary modeling of gene expression based on plant PCR analysis. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6 (116). Pp. 179–192. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-179-192. (In Russian)
7. Anchekov M.I., Bzhikhatov K.Ch., Leshkenov A.M. High-performance systems for phenotyping agricultural crops. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5(109). Pp. 19–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-19-24. (In Russian)
8. Anchekov M.I., Bogotova Z.I., Pshenokova I.A., Nagoev Z.V. et al. Collaborative breeding system based on a consortium of heterogeneous intelligent agents. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 5(109). Pp. 25–37. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-5-109-25-37. (In Russian)
9. Nagoev Z.V., Anchekov M.I., Kurashev Zh.Kh., Khamov A.A. Neurocognitive learning algorithm for a multi-agent system for evolutionary modeling of gene expression based on plant pcr analysis data. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 179–192. (In Russian)
10. Nagoev Z.V., Pshenokova I.A., Nagoeva O.V. et al. Simulation model of a neurocognitive control system for an autonomous software agent performing cooperative behavior for the purpose of automatic ontology replenishment. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2023. No. 6(116). Pp. 226–234. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-226-234. (In Russian)
11. Nagoev Z.V. Basic principles of neurocognitive modeling of consciousness of an agent of universal artificial intelligence. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 1. Pp. 152–170. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-1-152-170. (In Russian)
12. Nagoev Z.V., Oshkhunov M.M. *Matematicheskiye modeli deformiruyemykh sred dlya intellektual'nykh sistem virtual'nogo prototipirovaniya* [Mathematical Models of Deformable Media for Intelligent Systems of Virtual Prototyping]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 201 p. (In Russian)

13. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili Myshleniye v zhivykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intellectics, or Thinking in Living and Artificial Systems]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 232 p. (In Russian)
14. Russell S., Norvig P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (AIMA). 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.
15. 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 conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Пшенокова Инна Ауесовна, канд. физ.-мат. наук, зав. НИЦ «Интеллектуальные интегрированные информационно-управляющие системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>, SPIN-код: 3535-2963

Анчёков Мурат Инусович, заведующий лабораторией «Имитационное моделирование феногенетических процессов» НИЦ «Интеллектуальные генетические системы», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

murat.antchok@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8977-797X>, SPIN-код: 3299-0927

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

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

директор Института информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

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

Нагоев Залимхан Вячеславович, канд. техн. наук, генеральный директор Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

вед. науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>, SPIN-код: 6279-5857

Нагоева Ольга Владимировна, науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

nagoeva_o@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2341-7960>

Хамов Анзор Азаматгериевич, мл. науч. сотр. лаборатории «Молекулярная селекция и биотехнология», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;
opitnoe2014@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3269-4572>

Information about the authors

Inna A. Pshenokova, Candidate of Physics and Mathematics, Head of the Research Center “Intellectual Integrated Information and Management Systems”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>, SPIN-code: 3535-2963

Murat I. Anchekov, Head of the Laboratory of Simulation Modeling of Phenogenetic Processes at the Scientific Research Center of Intelligent Genetic Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

murat.antchok@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8977-797X>, SPIN-code: 3299-0927

Kantemir Ch. Bzhikhatlov, Candidate of Physics and Mathematics, Head of the Laboratory of Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

Director of the Institute of Informatics and Regional Management Problems – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;

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

Zalimkhan V. Nagoev, Candidate of Technical Sciences, General Director of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

Leading Researcher, Multi-Agent Systems Department, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;

zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>, SPIN-code: 6279-5857

Olga V. Nagoeva, Researcher, Multi-Agent Systems Department, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

37-a, I. Armand street, Nalchik, 360000, Russia;

nagoeva_o@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2341-7960>

Anzor A. Khamov, Junior Researcher, Laboratory of Molecular Breeding and Biotechnology, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2, Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

opitnoe2014@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3269-4572>