

Формальная модель генома агента общего искусственного интеллекта на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур

М. И. Анчёков¹, А. З. Апшев¹, К. Ч. Бжихатлов¹, С. А. Канкулов²,
З. В. Нагоев¹, О. В. Нагоева², И. А. Пшенокова¹, А. А. Хамов¹, А. З. Энес²

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 исследования определяется необходимостью разработки и программной реализации агентов общего искусственного интеллекта, способных к самообучению на основе адаптации к условиям решения проблем универсального спектра на основе онтоэпифилософиогенетического процесса обучения. Исследование направлено на разработку формализации агента общего искусственного интеллекта, пригодной для создания его имитационной модели. Построена формализация интеллектуального агента на основе двухуровневых мультиагентных нейрокогнитивных архитектур с использованием автоматного описания и мультиагентных функций. Разработано формальное описание геномов агентов-нейронов в составе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры и генотипа интеллектуального агента. Полученная формализация может быть использована при создании программного обеспечения систем общего искусственного интеллекта.

Ключевые слова: общий искусственный интеллект, мультиагентные системы, нейрокогнитивные архитектуры, абстрактные детерминированные автоматы, многопоколенная оптимизация, генетические алгоритмы, мультиагентные функции

Поступила 02.10.2023, одобрена после рецензирования 09.10.2023, принята к публикации 10.10.2023

Для цитирования. Анчёков М. И., Апшев А. З., Бжихатлов К. Ч. 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

MSC: 68T42

Original article

Formal genome model of a general artificial intelligence agent based on multi-agent neurocognitive architectures

M.I. Anchekov¹, A.Z. Apshev¹, K.Ch. Bzhikhatlov¹, S.A. Kankulov²,
Z.V. Nagoev¹, O.V. Nagoeva², I.A. Pshenokova¹, A.A. Khamov¹, A.Z. Enes²

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. The relevance of the research is determined by the need to develop and programmatically implement artificial general intelligence agents capable of self-learning based on adaptation to the conditions of solving problems of the universal spectrum based on the ontoepiphilosociogenetic learning process. The research is aimed at developing a formalization of a general artificial intelligence agent suitable for creating its simulation model. A formalization of an intelligent agent is constructed based on two-level multi-agent neurocognitive architectures using an automatic description and multi-agent functions. A formal description of the genomes of neuron agents as part of a multi-agent neurocognitive architecture and the genotype of an intelligent agent has been developed. The resulting formalization can be used to create software for general artificial intelligence systems.

Keywords: general artificial intelligence, multi-agent systems, neurocognitive architectures, abstract deterministic automata, multi-generational optimization, genetic algorithms, multi-agent functions

Submitted 02.10.2023,

approved after reviewing 09.10.2023,

accepted for publication 10.10.2023

For citation. Anchekov M.I., Apshev A.Z., Bzhikhatlov K.Ch. et al. Formal genome model of a general artificial intelligence agent 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

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость моделирования генома агента общего искусственного интеллекта возникает в связи с его онтоэписоциофилогенетической природой [1–3]. Ее сущность состоит в том, что управляющая мультиагентная нейрокогнитивная архитектура такого интеллектуального агента формируется в течение всего времени его функционирования («жизни») под воздействием генетических, фенотипических, средовых и социальных факторов.

Сам процесс формирования такой когнитивной архитектуры заключается в ситуативно детерминированном динамическом изменении состава структурно-функциональных элементов самой этой архитектуры – так называемых *агнейронов* (агентов-нейронов) [4] – взаимодействующих друг с другом программных агентов искусственной жизни – и связей между ними.

Как показано в [5], такой процесс основан прежде всего на алгоритме так называемого *онтонейроморфогенеза*, описывающем взаимодействие агнейронов между собой в целях максимизации своих целевых функций с использованием механизма обмена сообщениями, основанном на формировании причинно-следственных связей путем имитационного моделирования роста и деградации условных аксо-дендрональных связей между этими агнейронами.

Целевые функции агнейронов и интеллектуальных агентов ориентированы на максимизацию параметра энергии, представляющего собой описательную величину, характеризующую условную меру способности агента сохранять активность в течение определенного времени [4].

Имитируя этот процесс, алгоритм онтонейроморфогенеза обеспечивает генетическую, средовую и социальную составляющие роста и развития мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры агента общего искусственного интеллекта, так как, с одной стороны, он использует так называемый *генотип* такого агента, состоящий из множества так называемых *геномов* агнейронов, для того, чтобы моделировать генезис состава агнейронов и связей между ними, т.е. реализует генетический процесс. Такой процесс может быть использован в алгоритмах многопоколенной оптимизации [6], специально разработанных для сложных интеллектуальных агентов.

С другой стороны, такой рост детерминирован эпигенетическими факторами, которые включают в себя как средовые условия, связанные с реализацией так называемого *тела* агента общего искусственного интеллекта (виртуальный программный агент, робот, аппаратно-программный комплекс), так и социальные условия, определяемые составом так называемого

социального окружения интеллектуального агента (другие интеллектуальные агенты, пользователи, роботы), которые взаимодействуют с ним с помощью подготовленных каналов коммуникации, как правило, с целью его полезного применения в составе группы [7].

В [1–3] разработаны основные принципы структурно-функциональной организации генотипов интеллектуальных агентов и генотипов агнейронов, описан характер их взаимодействия в процессе онтоэпизоциофилогенетического развития таких агентов.

В [7] показано, что сами агнейроны функционируют под управлением собственной внутренней управляющей когнитивной архитектуры, которая не является «нейрокогнитивной» (так как находится внутри агнейрона), однако в целом рекурсивно повторяет структурный состав когнитивных узлов нейрокогнитивной архитектуры самого интеллектуального агента.

Применение такого рекурсивного подхода мотивировано сходством функций, реализуемых интеллектуальным агентом и агнейроном. Основная из этих функций – решение так называемых *проблем* на основе синтеза своего поведения. Под проблемой понимается необходимость изменения состояния системы «агент – среда», констатируемая (на обоих уровнях – интеллектуального агента и агнейрона) когнитивными узлами мультиагентной когнитивной архитектуры, ответственными за идентификацию состояний (функция состояний) и их разметку значениями целевых функций (функция разметки состояний) [3].

Решением проблемы является путь в *динамическом дереве решений* [8] из вершины, описывающей текущее состояние, в некоторую целевую вершину, которую интеллектуальная управляющая система агента (интеллектуального агента, агнейрона) также должна определить самостоятельно.

Таким образом, внутренняя мультиагентная когнитивная архитектура агнейрона, состоящая из акторов, и мультиагентная нейрокогнитивная архитектура интеллектуального агента, состоящая из таких агнейронов, в целом реализуют сходную функциональную задачу – максимизация собственной целевой функции на основе идентификации проблем и синтеза поведения, направленного на их решение.

Разница состоит в том, что агнейрон решает эту задачу в узкой области специализации, что и позволяет разместить его в функциональный узел мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры в качестве специализированного агента. Интеллектуальный же агент общего искусственного интеллекта по определению применяет свою управляющую когнитивную архитектуру для синтеза своего поведения, направленного на идентификацию и решение универсального (для своей системы «агент – среда») спектра проблем. Такая способность, с нашей точки зрения, и является основным классифицирующим свойством систем общего искусственного интеллекта [3].

В данной работе предпринимается попытка выбора математического аппарата для формализации вышеописанных структур и процессов с целью их последующей алгоритмизации при реализации программной системы общего искусственного интеллекта, основанной на управляющей мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре.

Актуальность данного исследования определяется необходимостью разработки и программной реализации агентов общего искусственного интеллекта, способных к самообучению на основе адаптации к условиям решения проблем универсального спектра на основе онтоэпизоциофилогенетического процесса обучения.

1. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АГЕНТ, АГНЕЙРОНЫ И АКТОРЫ

Первое формальное описание агента общего искусственного интеллекта на основе мультиагентной когнитивной архитектуры было дано в [4]. Для построения такого описания были применены так называемые *мультиагентные функции* [9].

Подобно агнейронам в составе когнитивной архитектуры интеллектуального агента акторы в составе когнитивной архитектуры агнейрона располагаются на определенных уровнях, соответствующих когнитивным узлам инварианта мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры. Эти уровни для когнитивной архитектуры агнейрона мы называем *акторкогнитонами*.

Актор $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ типа T_l располагается в l -м акторкогнитоне когнитивной архитектуры агнейрона $\mathfrak{N}_{kT_j}^{ij(\gamma-1)}$, в свою очередь располагающегося на j -м уровне (*нейрокогнитоне*) интеллектуального агента \mathfrak{N}_i^γ , который помещен во внешнюю по отношению к нему среду (окружающий мир) W . Индекс h обозначает номер актора в акторкогнитоне $K_{lT_l}^{ijk}$, индекс k – номер агнейрона в нейрокогнитоне $\mathfrak{P}_{jT_j}^i$, индекс l – номер акторкогнитона, индекс j – номер нейрокогнитона, а индекс i – номер интеллектуального агента. Индекс $\gamma - 1$ обозначает условный ранг агнейрона, характеризующий уровень вложенности интеллектуальных систем друг в друга. Интеллектуальный агент \mathfrak{N}_i^γ , в которого вложен агнейрон $\mathfrak{N}_{kT_j}^{ij(\gamma-1)}$, как следует из обозначений, имеет ранг на единицу выше.

Агнейрон $\mathfrak{N}_{kT_j}^{ij(\gamma-1)}$ типа T_j содержит в себе акторкогнитоны $K_{lT_l}^{ijk}$, которые также подразделяются на типы T_l , но в отличие от нейрокогнитонов $\mathfrak{P}_{jT_j}^i$ в их состав входят не агнейроны $\mathfrak{N}_{kT_j}^{ij(\gamma-1)}$, а акторы $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$.

Опишем актор $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ формально *абстрактным детерминированным конечным автоматом*:

$$\alpha_{hT_l}^{ijkl} = (X_{hT_l}^{ijkl}, S_{hT_l}^{ijkl}, Y_{hT_l}^{ijkl}, \delta_{hT_l}^{ijkl}, \lambda_{hT_l}^{ijkl}),$$

где $X_{hT_l}^{ijkl} = \{x_{hT_l v}^{ijkl}\}$ – входной язык автомата, состоящий из высказываний вида:

$$x_{hT_l v}^{ijkl} = \left(\begin{array}{c} (\alpha_{hT_l v1}^{ijkl}, x_{hT_l v1}^{ijkl}, \Delta v_{hT_l v1}^{ijkl}), (\alpha_{hT_l v2}^{ijkl}, x_{hT_l v2}^{ijkl}, \Delta v_{hT_l v2}^{ijkl}), \dots, \\ (\alpha_{hT_l vq}^{ijkl}, x_{hT_l vq}^{ijkl}, \Delta v_{hT_l vq}^{ijkl}) \end{array} \right),$$

где $\alpha_{hT_l vq}^{ijkl}$ – эталонные значения имен контрагентов, от которых ожидаются сообщения $x_{hT_l vq}^{ijkl}$ и/или порции энергии $\Delta v_{hT_l vq}^{ijkl}$. Такое эталонное высказывание интерпретируется на содержательном уровне как информация о том, что актор $\alpha_{hT_l vq}^{ijkl}$ прислал актору $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ на вход автомата $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ сообщение $x_{hT_l vq}^{ijkl}$ и порцию энергии $\Delta v_{hT_l vq}^{ijkl}$.

В вышеприведенном определении автомата $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ множество $Y_{hT_l}^{ijkl} = \{y_{hT_l v}^{ijkl}\}$ – это *выходной язык автомата*, состоящий из эталонных (используемых для формирования выходов) высказываний вида:

$$y_{hT_l v}^{ijkl} = \left(\begin{array}{c} (\alpha_{hT_l v1}^{ijkl}, y_{hT_l v1}^{ijkl}, \Delta v_{hT_l sv1}^{ijkl}), (\alpha_{hT_l v2}^{ijkl}, y_{hT_l v2}^{ijkl}, \Delta v_{hT_l sv2}^{ijkl}), \dots, \\ (\alpha_{hT_l vg}^{ijkl}, y_{hT_l vg}^{ijkl}, \Delta v_{hT_l svg}^{ijkl}) \end{array} \right),$$

где $\alpha_{hT_l v g}^{ijkl}$ – эталонные значения имен контрагентов, которым автомат $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ отправляет сообщения $u_{hT_l v g}^{ijkl}$ и/или порции энергии $\Delta v_{hT_l v g}^{ijkl}$, а g^{\max} – максимальное количество операций отправки таких сообщений контрагентам. Такое эталонное высказывание интерпретируется на содержательном уровне как информация о том, что актор $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ отправляет актору $\alpha_{hT_l v g}^{ijkl}$ свое выходное сообщение $u_{hT_l v g}^{ijkl}$ и/или порцию энергии $\Delta v_{hT_l v g}^{ijkl}$.

В вышеприведенном определении актора $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ множество $S_{hT_l}^{ijkl} = \{S_{hT_l b \tau_c}^{ijkl}\}$ – это множество состояний этого автомата вида:

$$S_{hT_l b \tau_c}^{ijkl} = \left(\left(S_{hT_l b(1)\tau_c}^{ijkl}, \left(S_{hT_l b(1)\tau_c}^{ijkl} \right)' \right), \left(S_{hT_l b(2)\tau_c}^{ijkl}, \left(S_{hT_l b(2)\tau_c}^{ijkl} \right)' \right), \dots, \right. \\ \left. \left(S_{hT_l n_b \tau_c}^{ijkl}, \left(S_{hT_l n_b \tau_c}^{ijkl} \right)' \right), \Delta v_{hT_l \tau_c}^{ijkl}, v_{hT_l \tau_c}^{ijkl} \right),$$

где $S_{hT_l b \tau_c}^{ijkl}$ – переменные, характеризующие конкретные параметры актора $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ на шаге дискретного времени τ_c , $\left(S_{hT_l b \tau_c}^{ijkl} \right)'$ – их текущие значения, а $\Delta v_{hT_l \tau_c}^{ijkl}$ – количество энергии, на которое изменяется общее количество энергии $v_{hT_l \tau_c}^{ijkl}$ этого актора при его переходе в состояние $S_{hT_l b \tau_c}^{ijkl}$ из некоторого предыдущего состояния

$$S_{hT_l b \tau_{c-p}}^{ijkl} : v_{hT_l \tau_c}^{ijkl} = v_{hT_l \tau_{c-p}}^{ijkl} + \Delta v_{hT_l \tau_{c-p}}^{ijkl}.$$

Работа автомата описывается его функцией переходов:

$$\delta_{hT_l}^{ijkl} : S_{hT_l}^{ijkl} \times X_{hT_l}^{ijkl} \rightarrow S_{hT_l}^{ijkl}$$

и функцией выходов:

$$\lambda_{hT_l}^{ijkl} : S_{hT_l}^{ijkl} \times X_{hT_l}^{ijkl} \rightarrow Y_{hT_l}^{ijkl},$$

реализованных с помощью продукционных правил (знаний) $\gamma_{hT_l v}^{ijkl}$ вида:

$$\gamma_{hT_l v}^{ijkl} = \langle P_{hT_l v}^{ijkl}, L_{hT_l v}^{ijkl} \Rightarrow Y_{hT_l v}^{ijkl}, Q_{hT_l v}^{ijkl} \rangle,$$

$$L_{hT_l v}^{ijkl} = \bigwedge_{q=1}^{q^{\max}} l_{hT_l v q}^{ijkl},$$

$$l_{hT_l v q}^{ijkl} = \begin{cases} \text{. Истина, } l_v = \text{. Истина.} \wedge \mathfrak{I}_{kT_j}^{ij(\gamma-1)} \rightarrow W : \Delta v_{ijklh}^W \\ \text{. Ложь, } l_v = \text{. Ложь.} \\ \emptyset, \mathfrak{I}_{kT_j}^{ij(\gamma-1)} \nrightarrow W : \Delta v_{ijklh}^W \end{cases}, \quad Y_{hT_l v}^{ijkl} = \{y_{hT_l v g}^{ijkl}\},$$

$$y_{hT_l v g}^{ijkl} = \begin{cases} (\alpha_{zT_e v g}^{ijke}, m_{ijklhg}^{ijkez}, \Delta v_{ijklhgs}^{ijkez}), \alpha_{hT_l}^{ijkl} \rightarrow \alpha_{zT_e v g}^{ijke} : (m_{ijklhg}^{ijkez}, \Delta v_{ijklhgs}^W) \\ \emptyset, \mathfrak{I}_{kT_j}^{ij(\gamma-1)} \nrightarrow W : \Delta v_{ijklhgs}^W \end{cases},$$

$$l_v = l(\alpha_{uT_d}^{ijkd}, \alpha_{hT_l v q}^{ijkl}) \wedge l(m_{ijkduq}^{ijklh}, x_{hT_l v q}^{ijkl}) \wedge l(\Delta v_{ijkduq}^{ijklh}, \Delta v_{hT_l v q}^{ijkl}) \forall q,$$

$$\alpha_{uT_d}^{ijkd} \rightarrow \alpha_{hT_l}^{ijkl} l(: m_{ijkduq}^{ijklh}, \Delta v_{ijkduq}^W),$$

$$l(x, y) = \begin{cases} \text{.Истина.}, & x = y \\ \text{.Ложь.}, & x \neq y \end{cases}$$

Здесь индексы l , d и e указывают на акторкогнитоны в составе агнейрона, P_{hTlv}^{ijkl} – множество предусловий для выполнения ядра продукции, $L_{hTlv}^{ijkl} \rightarrow Y_{hTlv}^{ijkl}$ – ядро продукции, состоящее из *антецедентной* (условной) части L_{hTlv}^{ijkl} и *консеквентной* части Y_{hTlv}^{ijkl} , l_{hTlvq}^{ijkl} – антецедентная клауза, u_{hTlvq}^{ijkl} – сообщение, определяющее один из выходов продукции, $\Delta v_{ijklhgs}^W$ – количество энергии, которое актор α_{hTl}^{ijkl} должен затратить на выполнение вычисления g -й клаузы консеквентной части продукции, Q_{hTlv}^{ijkl} – постусловие продукционного правила. Индекс v указывает на номер продукционного правила, индекс q – на номер клаузы, q^{max} – на общее количество клауз в антецедентной части L_{hTlv}^{ijkl} продукции l_{hTlv}^{ijkl} , а индекс g – на номер клаузы, g^{max} – на общее количество клауз в консеквентной ее части Y_{hTlv}^{ijkl} . Индекс s указывает на тип функции (операции), используемой в клаузах консеквентной части правила, – функция отправки сообщений.

Правила l_{hTlv}^{ijkl} формируют базу знаний l_{hTl}^{ijkl} актора α_{hTl}^{ijkl} .

Акторы в составе акторкогнитонов агнейрона $l_{kTj}^{ij(\gamma-1)}$ могут взаимодействовать друг с другом, отправляя друг другу сообщения и порции энергии. Пусть актор α_{uTd}^{ijkd} отправляет актору α_{hTl}^{ijkl} сообщение m_{ijkdu}^{ijklh} . Запишем это как:

$$\alpha_{uTd}^{ijkd} \rightarrow \alpha_{hTl}^{ijkl} : m_{ijkdu}^{ijklh}$$

Если в ответ актор α_{hTl}^{ijkl} отправляет актору α_{uTd}^{ijkd} порцию энергии Δv_{ijklh}^{ijkdu} , соответственно, запишем:

$$\alpha_{hTl}^{ijkl} \rightarrow \alpha_{uTd}^{ijkd} : \Delta v_{ijklh}^{ijkdu}$$

Если актор α_{uTd}^{ijkd} выполняет массовую рассылку своего сообщения, отправляя его всем акторам типа T_l , находящимся в акторкогнитоне K_{lTl}^{ijk} , обозначим это следующим образом:

$$\alpha_{uTd}^{ijkd} \rightarrow K_{lTl}^{ijk} : m_{ijkdu}^{ijkl*}$$

Получив сообщение m_{ijkdu}^{ijkl*} , акторы $\alpha_{hTl}^{ijkl} \in K_{lTl}^{ijk}$ выполняют в своих базах знаний l_{hTl}^{ijkl} поиск правила:

$$l_{hTlv}^{ijkl}, l_q = l(\alpha_{uTd}^{ijkd}, \alpha_{hTlvq}^{ijkl}) \wedge l(m_{ijkdu}^{ijkl*}, x_{hTlvq}^{ijkl}) = \text{.Истина.},$$

где v – индекс, указывающий на правило, а q – на клаузу в этом правиле. Те акторы, у которых в базах знаний существует такое правило, в ответ на сообщение m_{ijkdu}^{ijkl*} от актора α_{uTd}^{ijkd} выполняют расчет своих функций переходов и выходов, переход в новые состояния, формирование и отправку некоторым акторам своих выходных сообщений, а все другие акторы в акторкогнитоне K_{lTl}^{ijk} на это сообщение никак не реагируют.

Рассмотрим выходные языки $Y_{uT_d}^{ijkd} = \{y_{uT_d v}^{ijkd} | v = 1, 2, \dots, v_u^{\max}\}$ акторов $\alpha_{uT_d}^{ijkd}$ как упорядоченные по номеру правила v в базах знаний $\gamma_{uT_d}^{ijkd}$ множества всех возможных выходов $y_{uT_d v}^{ijkd}$. Определим множество всех выходных языков акторов $\alpha_{uT_d}^{ijkd} \in K_{dT_d}^{ijk}$:

$$Y_{T_d}^{ijkd} = \bigcup_{u=1}^{u^{\max}} Y_{uT_d}^{ijkd}$$

Аналогично рассмотрим выходные языки $Y_{hT_l}^{ijkl} = \{y_{hT_l v}^{ijkl} | v = 1, 2, \dots, v_h^{\max}\}$ акторов $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ как упорядоченные по номеру правила v в базах знаний $\gamma_{hT_l}^{ijkl}$ множества всех возможных выходов $y_{hT_l v}^{ijkl}$. В общем случае выходы акторов являются токенами – символами (символьными строками).

Определим множество всех выходных языков акторов $\alpha_{hT_l}^{ijkl} \in K_{lT_l}^{ijk}$:

$$Y_{T_l}^{ijkl} = \bigcup_{h=1}^{h^{\max}} Y_{hT_l}^{ijkl}$$

Зададим отображение \mathfrak{y} из множества $Y_{T_d}^{ijkd}$ в множество $Y_{T_l}^{ijkl}$:

$$\begin{aligned} \mathfrak{y}: Y_{T_d}^{ijkd} &\rightarrow Y_{T_l}^{ijkl}, \\ \forall y_{uT_d v}^{ijkd} \in \left\{ \langle y_{1T_d v_1^1}^{ijkd}, y_{2T_d v_2^2}^{ijkd}, \dots, y_{u^{\max}T_d v_c^{u^{\max}}}^{ijkd} \rangle | c = \overline{1, c^{\max}} \right\}, \\ &\left\{ \exists u, \exists v_c^u, \alpha_{uT_d}^{ijkd} \rightarrow \alpha_{hT_l}^{ijkl} : y_{uT_d v_c^u}^{ijkd}, y_{uT_d v_c^u}^{ijkd} \neq \emptyset \right\}, \\ \exists y_{1T_l v_1^1}^{ijkl} \in \left\{ \langle y_{1T_l v_1^1}^{ijkl}, y_{2T_l v_2^2}^{ijkl}, \dots, y_{h^{\max}T_l v_c^{h^{\max}}}^{ijkl} \rangle | c = \overline{1, c^{\max}} \right\}, \\ \exists \alpha_{hT_l}^{ijkl}, \exists \gamma_{hT_l v_c^h}^{ijkl}, l_{v_c^h} = \text{Истина}, y_{hT_l v_c^h}^{ijkl} = \lambda_{hT_l}^{ijkl} \left(s_{hT_l c}^{ijkl}, y_{uT_d v_c^u}^{ijkd} \right), \\ c^{\max} = \prod_{u=1}^{u^{\max}} v_c^{u^{\max}}, v_c^{u^{\max}} = |Y_{uT_d}^{ijkd}|, \end{aligned}$$

где v_c^u – номер правила в базе знаний $\gamma_{uT_d}^{ijkd}$, выбираемый на шаге c , а условие

$$\alpha_{uT_d}^{ijkd} \rightarrow \alpha_{hT_l}^{ijkl} : y_{uT_d v_c^u}^{ijkd}$$

позволяет отбирать только те сообщения $y_{uT_d v_c^u}^{ijkd}$, которые акторы $\alpha_{uT_d}^{ijkd} \in K_{dT_d}^{ijk}$ отправили актору $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$.

Такое отображение было впервые введено в [9] и получило название \mathfrak{y} -функция («айн-функция»). *Айн-функции* – это семейство так называемых *мультиагентных функций*, дискретные области определения и области значений которых задаются множествами выходов некоторых агентов.

Для обозначения этого отображения, его аргументов и значений используется также запись $y_{T_l c}^{ijkl} = \mathfrak{y}(y_{T_d c}^{ijkd})$, или запись $K_{T_l}^{ijk} = \mathfrak{y}(K_{T_d}^{ijk})$. В последнем случае в качестве

аргументов айн-функции указаны не выходные сообщения акторов, а акторкогнитоны, в которых эти акторы содержатся, что допустимо, исходя из вышеприведенного определения отображения, задаваемого айн-функцией.

Пусть акторы $\alpha_{uR^0}^{ijk1}$, входящие в первый акторкогнитон K_{1R}^{ijk} – так называемый *акторкогнитон распознавания* – в составе агнейрона $\mathbb{1}_{kT_j}^{ij(7-1)}$, выполняют функцию распознавания сигналов, описывающих некоторые внешние по отношению к этому агнейрону объекты. Распознавание выполняется на основе обработки выходных сигналов $m_{ij1uv^u g^{uv}}^{ijk1*}$ сенсоров $\alpha_{uR^r}^{ijk1} \in K_{1R}^{ijk}$ (индекс T_1 из используемой выше нотации актора раскрывается как R^r , указывающий на название $y_{uR^r v}^{ijkl}$ типа актора), которые они генерируют при взаимодействии с вышеперечисленными объектами и отправляют на последующую обработку акторам $\alpha_{uR^0}^{ijk1}$, которые так же, как и сенсоры $\alpha_{uR^r}^{ijk1}$, относятся к акторкогнитону распознавания K_{1R}^{ijk} :

$$y_{T_1 c}^{ijkl} = \mathfrak{y}(y_{T_{ac}}^{ijkd}).$$

Тогда взаимодействие между акторкогнитонами $K_{1R^r}^{ijk}$ и $K_{1R^0}^{ijk}$ можно описать выражением

$$K_{1R^0}^{ijk} = \mathfrak{y}_{K_{1R^r}^{ijk}}^{K_{1R^0}^{ijk}}(K_{1R^r}^{ijk}).$$

Здесь для того чтобы уточнить, между какими именно акторкогнитонами строится отображение, при обозначении айн-функции указаны индексы ее области определения (нижний индекс) и области значений (верхний индекс).

Если в составе акторкогнитона K_{1R}^{ijk} нет акторов $\alpha_{uR^0}^{ijk1}$, которые обрабатывают данные конкретные входные сообщения $m_{ij1uv^u g^{uv}}^{ijk1*}$, то агнейрон может столкнуться с трудностями реализации своих системных целей, так как эти сообщения могут описывать состояние системы «агнейрон – среда», критичное для достижения этих целей, оказывающее на этот процесс существенное негативное или позитивное влияние.

Поэтому в разрабатываемой нами мультиагентной нейрокогнитивной архитектуре агнейрона предусмотрен механизм онтологизации таких прецедентов с помощью так называемых *акторных фабрик* $\varphi_{uR^0}^{ijk1}$, представляющих собой акторов, выполняющих функцию порождения акторов различных типов по требованию. В вышеописанной ситуации акторная фабрика $\varphi_{uR^0}^{ijk1}$, получив на вход сообщения $m_{ij1uv^u g^{uv}}^{ijk1*}$ от акторов $\alpha_{uR^r}^{ijk1}$ и не получив ни от одного из акторов $\alpha_{uR^0}^{ijk1}$ акторкогнитона K_{1R}^{ijk} сообщения о том, что какой-либо из них обрабатывает какие-либо из этих сообщений, порождает нового актора $\alpha_{hR^0}^{ijk1}$ и вписывает в его базу знаний правила, с помощью которых он в дальнейшем будет обрабатывать сообщения $m_{ij1uv^u g^{uv}}^{ijk1*}$

$$\varphi_{uR^0}^{ijk1} \uparrow \alpha_{hR^0}^{ijk1} \left(\left\{ \left(\alpha_{uR^r}^{ijk1}, m_{ij1uv^u g^{uv}}^{ijk1*} \right) \mid \forall \alpha_{uR^r}^{ijk1} \forall m_{ij1uv^u g^{uv}}^{ijk1*}, \alpha_{uR^r}^{ijk1} \rightarrow K_{1R}^{ijk} : m_{ij1uv^u g^{uv}}^{ijk1*} \right\} \right).$$

В этой записи применен знак ' \uparrow ' и в скобках при обозначении порождаемого актора $\alpha_{hR^0}^{ijk1}$ указаны в качестве параметров все пары акторов и отправленных ими в акторкогнитон K_{1R}^{ijk} оставшихся необработанными сообщений $\left(\alpha_{uR^r}^{ijk1}, m_{ij1uv^u g^{uv}}^{ijk1*} \right)$ для того, чтобы указать

на тот факт, что акторная фабрика $\varphi_{uR^0}^{ijk1}$, создавая нового актора, передает ему новую базу знаний ${}_{hR^0}^{ijk1}$, содержащую правила ${}_{hR^0v}^{ijk1}$, необходимые для обработки таких сообщений:

$$\varphi_{uR^0}^{ijk1} \rightarrow \alpha_{hR^0}^{ijk1}; {}_{hR^0}^{ijk1}, \forall \alpha_{uR^r}^{ijk1} \forall m_{ij1uv^u g^{uv}}, \alpha_{uR^r}^{ijk1} \rightarrow K_{1R}^{ijk}: m_{ij1uv^u g^{uv}},$$

$$\exists {}_{hR^0v}^{ijk1}, \alpha_{hTlvq}^{ijkl} = \alpha_{uR^r}^{ijk1}, x_{hTlvq} = m_{ij1uv^u g^{uv}}$$

Опираясь на состав акторкогнитонов так называемого *инварианта когнитивной архитектуры*, задающего последовательность когнитивных узлов обработки информации, выполняемой интеллектуальным агентом для синтеза искомого пути в динамическом дереве решений, описанного в [4] (рис. 1), для описания последовательности сигналов, генерируемых когнитивной архитектурой агнейрона $\mathfrak{N}_{kT_j}^{ij(\gamma-1)}$, можно использовать запись:

$$y_{kT_j}^{ij} = \mathfrak{y}_{K_{4A}^{ijk}}^{K_{5F}^{ijk}} \left(\mathfrak{y}_{K_{3G}^{ijk}}^{K_{4A}^{ijk}} \left(\mathfrak{y}_{K_{2E}^{ijk}}^{K_{3G}^{ijk}} \left(\mathfrak{y}_{K_{1R^0}^{ijk}}^{K_{2E}^{ijk}} \left(\mathfrak{y}_{K_{1R^r}^{ijk}}^{K_{1R^0}^{ijk}} (K_{1R^r}^{ijk}) \right) \right) \right) \right) \right),$$

где K_{2E}^{ijk} – так называемый *эмоциональный* акторкогнитон, функцией которого в инварианте когнитивной архитектуры агнейрона $\mathfrak{N}_{kT_j}^{ij(\gamma-1)}$ является разметка состояний значениями целевой функции агнейрона и идентификация типа проблемной ситуации; K_{3G}^{ijk} – целевой акторкогнитон, функцией которого является управление поиском целевой вершины в динамическом дереве принятия решений; K_{4A}^{ijk} – акторкогнитон действий, функция которого состоит в поиске пути в этом дереве из текущей вершины в целевую; K_{5F}^{ijk} – акторкогнитон эффекторов агнейрона, функция которого состоит в формировании и передаче другим агнейронам в составе интеллектуального агента \mathfrak{N}_i^γ выходов $y_{kT_j}^{ij}$.

Аналогично для инварианта нейрокогнитивной архитектуры интеллектуального агента \mathfrak{N}_i^γ можно записать:

$$y_{kT_j}^{ij} = \mathfrak{y}_{\mathfrak{P}_{4A}^i}^{\mathfrak{P}_{5F}^i} \left(\mathfrak{y}_{\mathfrak{P}_{3G}^i}^{\mathfrak{P}_{4A}^i} \left(\mathfrak{y}_{\mathfrak{P}_{2E}^i}^{\mathfrak{P}_{3G}^i} \left(\mathfrak{y}_{\mathfrak{P}_{1R^0}^i}^{\mathfrak{P}_{2E}^i} \left(\mathfrak{y}_{\mathfrak{P}_{1R^r}^i}^{\mathfrak{P}_{1R^0}^i} (\mathfrak{P}_{1R^r}^i) \right) \right) \right) \right) \right),$$

где в качестве аргументов фигурируют соответственно нейрокогнитоны: $\mathfrak{P}_{1R^r}^i$ – сенсорный; $\mathfrak{P}_{1R^0}^i$ – распознавания; \mathfrak{P}_{2E}^i – эмоциональный, \mathfrak{P}_{3G}^i – целевой; \mathfrak{P}_{4A}^i – действия, выполняющие функции, аналогичные указанным выше при описании соответствующих акторкогнитонов.

В отношении агнейронов действует механизм порождения по требованию, аналогичный описанному выше для акторов.

Применение этого механизма на обоих уровнях вкупе с работой мультиагентных функций между акторкогнитонами и нейрокогнитонами обеспечивает онтологическое обучение интеллектуального агента общего искусственного интеллекта с учетом филогенетических и социальных факторов.

Рассмотрим, каким образом можно формализовать генотип такого интеллектуального агента с тем, чтобы он обеспечивал применение алгоритмов многопоколенной оптимизации над популяциями таких агентов с целью реализации генетической части их обучения.

2. МОДЕЛЬ ГЕНОМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА

Как было указано выше, при порождении актора акторная фабрика $\varphi_{uR^0}^{ijk1}$ отправляет этому актору (записывает в него) базу знаний $\gamma_{hR^0}^{ijk1}$, в которой содержатся правила $\gamma_{hR^0v}^{ijk1}$. Аналогичный процесс имеет место при порождении акторов всех других типов. Следовательно, для того чтобы акторкогнитоны агнейрона $\mathbb{1}_{kT_j}^{ij(\gamma-1)}$ могли порождать акторов различных типов по требованию, необходимо, во-первых, чтобы в состав генома агнейрона входила информация о том, какую базу данных необходимо загрузить в порождаемого актора данного типа.

Во-вторых, в этом геноме должна также содержаться информация о том, каким образом при загрузке программного интеллектуального агента общего искусственного интеллекта в оперативную память должны создаваться сами акторные фабрики, отвечающие за порождение акторов в различных когнитонах, а также о том, как именно они должны функционировать. Эту часть генома можно назвать *структурной*.

Так как акторная фабрика $\varphi_{uR^0}^{ijk1}$ сама является актором, ее функционирование обеспечивается собственной базой знаний $\gamma_{h\varphi}^{ijk1}$.

При загрузке программы интеллектуального агента в оперативную память данные генома должны интерпретироваться некоторым алгоритмом $\mathbf{a}^c(\gamma_{h\varphi}^{ijk1})$, который, используя правила базы знания $\gamma_{h\varphi}^{ijk1}$, порождает саму акторную фабрику $\varphi_{uR^0}^{ijk1}$, что условно можно записать:

$$\varphi_{uR^0}^{ijk1} = \mathbf{a}^c(\gamma_{h\varphi}^{ijk1}).$$

Кроме того, после создания акторной фабрики $\varphi_{uR^0}^{ijk1}$ в системе должен работать некоторый алгоритм $\mathbf{a}^c(\varphi_{uR^0}^{ijk1})$, обеспечивающий порождение акторов $\varphi_{uR^0}^{ijk1}$ и загрузку в них баз знаний $\gamma_{hR^0}^{ijk1}$, что условно можно записать:

$$\gamma_{hR^0}^{ijk1} = \mathbf{a}^f(\varphi_{uR^0}^{ijk1}).$$

По нашему мнению, эти алгоритмы должны относиться к *функциональной части* области генома агнейрона, отвечающей за синтез акторов типа R^0 .

Такую область $\mathbf{g}_{R^0x}^{ijk1}$ генома $\mathbf{G}_{T_j}^{ij}$ агнейрона $\mathbb{1}_{kT_j}^{ij(\gamma-1)}$ по аналогии с принятым в биологии структурным делением природных геномов будем называть *геном*:

$$\mathbf{g}_{R^0x}^{ijk1} = \{(\mathbf{g}_{R^0x}^{ijk1})^p, (\mathbf{g}_{R^0x}^{ijk1})^b, (\mathbf{g}_{R^0x}^{ijk1})^r\},$$

$$(\mathbf{g}_{R^0x}^{ijk1})^p = \gamma_{h\varphi}^{ijk1}, (\mathbf{g}_{R^0x}^{ijk1})^b = \gamma_{hR^0v}^{ijk1}, (\mathbf{g}_{R^0x}^{ijk1})^r = \left(\mathbf{a}^c(\gamma_{h\varphi}^{ijk1}), \mathbf{a}^f(\varphi_{uR^0}^{ijk1})\right).$$

Здесь $(\mathbf{g}_{R^0x}^{ijk1})^p$ – *некодирующая часть* гена, содержащая данные, необходимые для синтеза акторной фабрики, $(\mathbf{g}_{R^0x}^{ijk1})^b$ – *кодирующая часть* (или *открытая рамка считывания*) гена, $(\mathbf{g}_{R^0x}^{ijk1})^r$ – *часть регуляторных алгоритмов*.

После того, как акторы $\alpha_{hR^0}^{ijk1}$ созданы, их базы знаний $\gamma_{hR^0}^{ijk1}$ начинают изменяться (как правило, расширяясь), так как в них с помощью алгоритмов онтологического обучения добавляются новые правила.

Геном $\mathbf{G}_{T_j}^{ij}$ агнейрона $\gamma_{kT_j}^{ij(\gamma-1)}$ (или геном нейрокогнитона $\gamma_{jT_j}^i$) состоит из генов $\mathbf{g}_{T_{lx}}^{ijkl}$, кодирующих акторы $\alpha_{hT_l}^{ijkl}$ различных типов T_l в составе мультиагентной когнитивной архитектуры этого агнейрона:

$$\mathbf{G}_{T_j}^{ij} = (\mathbf{g}_{R^0_1}^{ijk1}, \mathbf{g}_{R^r_2}^{ijk1}, \mathbf{g}_{E_3}^{ijk2}, \mathbf{g}_{G_4}^{ijk3}, \mathbf{g}_{A_5}^{ijk4}, \mathbf{g}_{F_6}^{ijk5}).$$

Соответственно *генотип* \mathbf{G}^i интеллектуального агента \mathfrak{N}_i^γ состоит из *геномов* $\mathbf{G}_{T_jx}^{ij}$ нейрокогнитонов $\gamma_{jT_j}^i$:

$$\mathbf{G}^i = (\mathbf{G}_{R^0_1}^{i1}, \mathbf{G}_{R^r_2}^{i1}, \mathbf{G}_{E_3}^{i2}, \mathbf{G}_{G_4}^{i3}, \mathbf{G}_{A_5}^{i4}, \mathbf{G}_{F_6}^{i5}).$$

Необходимо добавить, что начальный набор геномов $\mathbf{G}_{T_jx}^{ij}$ в составе генотипа \mathbf{G}^i интеллектуального агента \mathfrak{N}_i^γ создает программист нейрокогнитивных архитектур – *нейроинженер*. Затем запускается программа, которая считывает генотип \mathbf{G}^i и создает интеллектуального агента \mathfrak{N}_i^γ , состоящего на начальном этапе из нейрокогнитонов, содержащих геномы $\mathbf{G}_{T_jx}^{ij}$.

Затем из этих геномов порождаются фабрики агнейронов (нейрофабрики) $\varphi_{jT_j}^i$. На этом генетическая часть начального развертывания интеллектуального агента в памяти завершается, и интеллектуальный агент переходит в режим онтологического обучения.

В [1, 10, 11] намечены контуры алгоритмической базы многопоколенной оптимизации, в ходе которой интеллектуальные агенты общего искусственного интеллекта на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур могли бы стать субъектами генетических алгоритмов, добавив тем самым эффективности сложному онтоэпифилосоциогенетическому процессу обучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования построена формализация интеллектуального агента общего искусственного интеллекта на основе двухуровневых мультиагентных нейрокогнитивных архитектур с использованием автоматного описания и мультиагентных функций.

Разработано формальное описание геномов агентов-нейронов в составе мультиагентной нейрокогнитивной архитектуры и генотипа интеллектуального агента.

Полученные формальные описания могут быть использованы при создании программного обеспечения систем общего искусственного интеллекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анчёков М. И., Бжихатлов К. Ч., Нагоев З. В., Нагоева О. В., Пшенокова И. А. Онтоэпифилогенетическое развитие систем общего искусственного интеллекта на основе мультиагентных нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 61–75. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-61-75.
2. Апшев А. З., Аталиков Б. А., Канкулов С. А., Малышев Д. А., Сундуков З. А., Энес А. З. Онтофилогенетические алгоритмы синтеза фенотипов интеллектуальных программных

агентов для применения в задачах многопоколенной оптимизации управляющих нейрокогнитивных архитектур // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 76–91. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-76-91.

3. Nagoev Z., Nagoeva O., Anchokov M. et al. The symbol grounding problem in the system of general artificial intelligence based on multi-agent neurocognitive architecture. *Cognitive Systems Research*. 2023. No. 79. Pp. 71–84.

4. Нагоев З. В. Интеллектика, или Мышление в живых и искусственных системах. Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2013. 232 с.

5. Нагоев З. В. Онтонейроморфогенетическое моделирование // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 46–56.

6. Holland J.H. *Adaptation in natural and artificial systems*. University of Michigan Press. Ann Arbor, 1975.

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

8. Stuart Russell, Peter Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA)*. 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

9. Нагоев З. В. Мультиагентные экзистенциальные отображения и функции // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 4(54). С. 63–71.

10. Анчёков М. И., Бжыхатлов 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

11. Анчёков М. И., Боготова З. И., Пшенокова И. А. 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.

REFERENCES

1. Anchekov M.I., Bzhikhatlov K.Ch., Nagoev Z.V. et al. Onto-episociophilogenetic development of general artificial intelligence systems based on multi-agent neurocognitive architectures. *News of Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 61–75. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-61-75. (In Russian)

2. Apshev A.Z., Atalikov B.A., Kankulov S.A. et al. Ontophylogenetic algorithms for the synthesis of phenotypes of intelligent software agents for use in multigenerational optimization problems control neuro-cognitive architectures. *News of Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 76–91. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-76-91. (In Russian)

3. Nagoev Z., Nagoeva O., Anchekov M. et al. The symbol grounding problem in the system of general artificial intelligence based on multi-agent neurocognitive architecture. *Cognitive Systems Research*. 2023. No. 79. Pp. 71–84.

4. Nagoev Z.V. *Intellektika, ili myshleniye v zhivyykh i iskusstvennykh sistemakh* [Intelligence, or thinking in living and artificial systems]. Nalchik: Izdatel'stvo KBNTS RAN, 2013. 232 p. (In Russian)

5. Nagoev Z.V. Ontoneuromorphogenetic modeling. *News of Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 46–56. (In Russian)

6. Holland J.H. *Adaptation in natural and artificial systems*. University of Michigan Press. Ann Arbor, 1975.

7. 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)

8. Stuart Russell, Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach (AIMA). 2nd ed. Moscow: Williams, 2007. 1424 p.

9. Nagoev Z. V. Multi-agent existential mappings and functions. *News of Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2013. No. 4(54). Pp. 63–71. (In Russian)

10. Anchekov M.I., Bzhikhatlov K.Ch., Leshkenov A.M. High-performance systems for phenotyping agricultural crops. *News of 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)

11. Anchekov M.I., Bogotova Z.I., Pshenokova I.A. et al. Collaborative breeding system based on a consortium of heterogeneous intelligent agents. *News of 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)

Информация об авторах

Анчѐков Мурат Инусович, науч. сотр. лаборатории «Молекулярная селекция и биотехнология», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

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

Апшев Артур Заурович, стажер-исследователь лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

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

apshev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7628-0825>

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>

Канкулов Султан Ахмедович, стажер-исследователь лаборатории «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

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

skankulov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2996-7376>

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

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

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

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

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

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

Пшенокова Инна Ауесовна, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. лаборатории «Нейрокогнитивные автономные интеллектуальные системы», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

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

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

Хамов Анзор Азаматгериевич, мл. науч. сотр. лаборатории «Молекулярная селекция и биотехнология», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360000, Россия, Нальчик, ул. Кирова, 224;

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

Энес Ахмед Зюлфикар, стажер-исследователь лаборатории «Интеллектуальные среды обитания», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;
ahmedenes@mail.ru

Information about the authors

Anchekov Murat Inusovich, Researcher of the Laboratory “Molecular selection and biotechnology”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;
murat.antchok@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8977-797X>

Apshev Artur Zaurovich, Trainee researcher of the Laboratory “Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems” of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;
apshev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7628-0825>

Bzhikhatlov Kantemir Chamalovich, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Head of the Laboratory “Neurocognitive Autonomous Intelligent Systems” of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;
haosit13@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0924-0193>

Kankulov Sultan Akhmedovich, Trainee researcher of the Laboratory “Intellectual Habitats” of the 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;
skankulov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2996-7376>

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

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;
zaliman@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9549-1823>

Nagoeva Olga Vladimirovna, Researcher of the Department “Multiagent Systems” of the 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;
nagoeva_o@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2341-7960>

Pshenokova Inna Auesovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory “Neurocognitive autonomous intelligent systems” of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360002, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street;
pshenokova_inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3394-7682>

Khamov Anzor Azamatgerievich, Junior researcher of the Laboratory “Molecular selection and biotechnology” of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 224 Kirov street;
opitnoe2014@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3269-4572>

Enes Akhmed Zyulfikar, Trainee researcher of the Laboratory “Intellectual Habitats” of the Institute of Computer Science and Problems of Regional Management – branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street
ahmedenes@mail.ru