

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.224.01,  
созданного на базе Федерального государственного учреждения  
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»  
Российской академии наук, по диссертации  
на соискание ученой степени доктора технических наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 10 апреля 2023 №9

О присуждении Карпову Валерию Эдуардовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

**Диссертация** «Методы группового управления искусственными агентами на основе биологически инспирированных моделей поведения» по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» принята к защите 20 декабря 2022 г., протокол № 22, диссертационным советом 24.1.224.01, созданным на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 747/нк от 22 июня 2016 г.

**Соискатель** Карпов Валерий Эдуардович, 1968 года рождения, в 1993 году с отличием закончил Московский институт электронного машиностроения по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети». Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Исследование методов автоматической генерации баз знаний на основе процедуры эволюционного моделирования» защитил в 1998 году в диссертационном совете, созданном на базе Московского государственного института электроники и математики (технического университета) (МГИЭМ). В 2002 г. получил ученое звание доцента. С 1994 по 2003 гг. работал в МГИЭМ сначала старшим преподавателем, с 2000 г. – доцентом. В 2003-2010 гг. занимал должность ведущего научного сотрудника Научно-исследовательского института Информационных технологий при Правительстве Москвы. В 2011 году вернулся в МГИЭМ на должность доцента. С 2015 года по настоящее время работает в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» в должности начальника Лаборатории робототехники.

**Диссертация выполнена** в лаборатории робототехники Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий Научно-исследовательского центра «Курчатовский институт».

**Официальные оппоненты:**

1. Кузнецов Олег Петрович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Лаборатории 11 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им.

В.А.Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН).

2. Редько Владимир Георгиевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник Центра оптико-нейронных технологий Федерального государственного учреждения "Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук" (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН).

3. Ющенко Аркадий Семенович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Робототехнические системы и мехатроника" Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)" (МГТУ им. Н.Э.Баумана).

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ) – в своем положительном заключении, подписанном Галиной Валентиновной Рыбиной, доктором технических наук, профессором кафедры "Кибернетика" (№22) Института интеллектуальных кибернетических систем НИЯУ МИФИ, а также Андреем Маркояновичем Загребаяевым, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой "Кибернетика" (№22) Института интеллектуальных кибернетических систем НИЯУ МИФИ, указала, что диссертационная работа Карпова Валерия Эдуардовича является значимым научным достижением в области системного анализа, в части разработки общего методологического базиса для организации систем групповой робототехники, предназначенного для создания эффективных принципов и моделей группового управления роботами, функционирующими в сложных, динамических средах. Диссертация соответствует паспорту специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» по формуле и по областям исследования: пп.3, 4, 5 и 9: (3) разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; (4) разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; (5) разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; (9) разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов. Диссертационная работа В.Э. Карпова полностью удовлетворяет требованиям к докторским диссертациям, установленным действующим Положением о присуждении ученых степеней №842, а ее автор, Карпов Валерий Эдуардович, заслуживает присуждения степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика». Отзыв

рассмотрен и одобрен на расширенном заседании кафедры "Кибернетика" (№22) Института интеллектуальных кибернетических систем НИЯУ МИФИ: протокол №2/23 от 22.02.2023; присутствовало на заседании 15 чел.; результаты голосования: за – 15, против – нет.

**Соискатель имеет 102 опубликованные научные работы. По теме диссертации соискателем опубликовано 47 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 11 работ, 19 – в изданиях из перечня ВАК и/или индексируемых в базах Web of Science Core Collection, Scopus.** Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, в диссертации отсутствуют. Диссертация не нарушает п.14 Положения о присуждении ученых степеней. Автор подробно указал личный вклад в опубликованные с соавторами работы.

Наиболее значимые работы:

1. Карпов В.Э., Карпова И.П., Кулинич А.А. Социальные сообщества роботов. М.: УРСС. – 2019. – 352 с.
2. Карпов В.Э., Королева М.Н. К вопросу о формализации этики поведения коллаборативного робота // Информационные и математические технологии в науке и управлении, № 4 (28), 2022.
3. Карпов В.Э., Сорокоумов П.С. К вопросу о моральных аспектах адаптивного поведения искусственных агентов // Искусственные общества, 2021, 16(2).
4. Karpov, V.E. Can a robot be a moral agent? // In Artificial Intelligence. Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI). 18th Russian Conference, RCAI 2020, Moscow, Russia, October 10–16, 2020, Proceedings. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-59535-7> (Scopus).
5. Карпов В.Э. Социальные сообщества роботов: от реактивных к когнитивным агентам. // Мягкие измерения и вычисления, 2019, 15(2). – с. 61–77.
6. Карпов В.Э., Ровбо М.А., Овсянникова Е.Е. Система моделирования поведения групп робототехнических агентов с элементами социальной организации Кворум // Программные продукты и системы. 2018. Т. 31. № 3. – с. 581–590. (RSCI)
7. Карпова И.П., Карпов В.Э. Агрессия в мире аниматов, или О некоторых механизмах управления агрессивным поведением в групповой робототехнике. // Управление большими системами. 2018. Т. 76. – с. 173–218 (RSCI).
8. Karpov, V. The parasitic manipulation of an animat's behavior. // Biologically Inspired Cognitive Architectures, 2017, 21, pp.67–74. (Wos/Scopus)
9. Карпов В.Э. Модели социального поведения в групповой робототехнике // Управление большими системами. 2016. № 59. – с. 165–232. (RSCI).
10. Karpov V.E. A Sign-Oriented Mobile Robot-Control System // Sci. Tech. Inf. Process. Allerton Press, Inc., 2016. Vol. 43, № 5-6. Pp. 281–288. (Карпов В.Э.

Об одной реализации знак-ориентированной системы управления мобильного робота // Искусственный интеллект и принятие решений. 2015. Т.3. С.53–61). (WoS/Scopus)

11. Karpov, V., Karpova, I. Leader election algorithms for static swarms. // Biologically Inspired Cognitive Architectures, 2015, 12, pp.54–64. (WoS/Scopus)
12. Karpov, V. Robot's temperament. // Biologically Inspired Cognitive Architectures, 2014, 7, 76–86. (WoS/Scopus)
13. Karpov V.E. Emotions and Temperament of Robots: Behavioral Aspects // Journal of Computer and Systems Sciences International, 2014, Vol. 53, No. 5, pp. 743–760. Pleiades Publishing, Ltd., 2014. (Карпов В.Э. Эмоции и темперамент роботов. Поведенческие аспекты // Известия РАН. Теория и системы управления. 2014. № 5, pp. 126–145.) (WoS/Scopus)
14. Karpov, V.E., Valtsev, V.B. Dynamic Planning of Robot Behavior Based on an “Intellectual” Neuron Network. // Scientific and Technical Information Processing, 2011, 38(5), pp.344–354. (WoS/Scopus)
15. Karpova, I., Karpov, V. Some Mechanisms for Managing Aggressive Behavior in Group Robotics. // Annals of DAAAM and Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM 2018; Zadar, Croatia; 24-27 October 2018. Vol. 29, Iss. 1, 2018, pp. 0566-0573 (Scopus).

**На автореферат поступило восемь положительных отзывов, которые подписали:**

1. Гедике Александр Игоревич, доцент кафедры прикладной математики Общеобразовательного факультета ФГБОУ ВО ТГАСУ, кандидат технических наук.

Замечаний нет.

2. Голенков Владимир Васильевич, профессор кафедры интеллектуальных информационных технологий «Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники», доктор технических наук, профессор.

В качестве замечаний указано:

1) При описании архитектуры индивида и моделей его поведения автор достаточно подробно излагает предложенные им подходы и обосновывает полученные решения экспериментально, однако в автореферате не приводится обоснование принятия автором решения в пользу тех или иных подходов по сравнению с другими близкими по сути подходами, такими как например, генетические алгоритмы или модель BDI (belief-desire-intention) для поведения интеллектуальных агентов;

2) В части автореферата, посвященной реализации базовых механизмов социоподобного поведения, рассмотрен ряд аспектов такого поведения, таких как общение, подражание, обучение, агрессия и других, однако не обоснован выбор именно этого множества аспектов и не обоснована его достаточность для решения комплексной задачи управления групповым поведением;

3) Несмотря на наличие реальных практических внедрений, в части автореферата, посвященной вопросам апробации, применение предложенных моделей и алгоритмов рассматривается на примере искусственной задачи имитации поведения колонии муравьев, что не в полной мере позволяет проиллюстрировать практическую значимость полученных результатов.

3. Городецкий Владимир Иванович, д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник АО "ЭВРИКА".

В качестве замечаний указано:

1) Автор пишет «Парадигма МСП определяет своего рода язык описания искусственных социумов» - это не язык, а скорее, библиотека механизмов для реализации стандартного социального поведения. Язык в данном контексте формируется «знаками» лидера, которые инициируют тот или иной механизм – это не сигналы.

2) Описанные механизмы организации взаимодействий автор называет универсальными. В общем случае искусственные социумы могут быть реализованы и другими способами организации взаимодействий, например, через протоколы управления групповым поведением, через протокол общих намерений и другие способы. Описанные базовые механизмы поддержания различных видов социального поведения – это только часть возможных механизмов, которая копирует биоподобные механизмы взаимодействия в социумах. Поэтому об их «универсальности» можно рассуждать только в соответствующих оговорках и ограничениях.

3) Разработанная архитектура и автоматные модели поведения допускают ограниченное групповое управление поведением социума – это только модели самоорганизации, которые позволяют управлять *типом* группового поведения социума, но не рассчитаны на реализацию конкретного группового (эмерджентного) поведения. Другими словами, в работе рассматриваются задачи, решаемые *с точностью до типа эмерджентного поведения*. Нужен еще один шаг – синтез конкретного управления как компьютерной программы механизма управления (обычно в поведенческих системах – на основе модели с обратной связью). Это замечание, скорее, не о недостатке работы, а о неточной формулировке ее постановки.

4. Грибова Валерия Викторовна, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе ФГБУН "Институт автоматизации и процессов управления" Дальневосточного отделения РАН.

В качестве замечаний и вопросов указано:

1) Автором предлагаются различные модели и механизмы группового социоподобного поведения. Как выбрать наиболее оптимальный для конкретной задачи механизм? Проводился ли анализ основных классов задач и выбор на их основе наиболее подходящей модели социоподобного поведения?

2) Рассматривались ли ограничения каждого класса задач, в том числе с точки зрения вычислительной сложности и возможного времени реакции?

3) Ограничением работы является отсутствие методологических основ создания такого класса систем.

5. Евдокименков Вениамин Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой 704 "Информационно-управляющие комплексы ЛА" НИУ "Московский авиационный институт" (МАИ), и Ким Николай Владимирович, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры 704 "Информационно-управляющие комплексы ЛА" НИУ МАИ.

В качестве замечаний указано:

1) Отсутствие сведений о том, как проводится количественная оценка данных в (2.3).

2) Отсутствие сравнительных результатов решения известных задач, например, поисковых, предлагаемых и традиционными методами.

3) Действиям группы роботов обязательно предшествует этап предварительного планирования. На этом этапе определяется способ решения поставленной задачи на основе анализа текущей ситуации. В дальнейшем результаты предварительного планирования могут корректироваться в процессе оперативного управления. В работе не рассматривается взаимодействие развиваемых автором методов и алгоритмов управления группами автономных агентов (роботов) на основе принципов социоподобного взаимодействия с этапом предварительного планирования, влияние которого на эффективность групповых действий достаточно велико.

4) Для анализа поведения агента используется конечно-автоматная модель, функционирующая в стационарной случайной среде, описываемой цепью Маркова. Предположение о стационарности случайной среды функционирования агентов требует обоснования.

6. Еремеев Александр Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прикладной математики и искусственного интеллекта НИУ "Московский энергетический институт".

В качестве замечаний указано:

1) Перечисляя известных ученых, занимающихся исследованиями в области формальных моделей поведения, теории многоагентных систем, включая биологически инспирированные подходы, следовало бы отметить и руководителя научной школы по биоинспирированным подходам к эволюционному моделированию Южного федерального университета (Института компьютерных технологий и информационной безопасности, г. Таганрог) д.т.н., профессора Курейчика В.М.

2) Управление искусственными агентами типа роботов и групп роботов происходит в режиме реального времени, часто в условиях достаточно жестких временных ограничений. Однако для приведенных в автореферате алгоритмов только для алгоритма на стр. 24 приведена оценка сложности. Также отметим, что для алгоритмов на стр. 24, 25, 43 указаны исходные данные, а для алгоритма на стр. 17 эти данные не приводятся.

3) На с.5 отмечается, что "Под базисом понимается необходимое и

достаточное множество механизмов...". На с. 45, перечисляя полученные новые результаты, указано, что "Создан набор моделей и алгоритмов, реализующий базовые механизмы социоподобного взаимодействия: функциональная дифференциация, определение доминанта, когезия, контактное и подражательное поведение, социальное обучение и пр. Показано, что к этому базису сводятся все наблюдаемые феномены социального взаимодействия." Доказательств (кроме "показано") необходимости и достаточности предложенного базиса в автореферате не приводится.

7. Стефанюк Вадим Львович, доктор технических наук, профессор РУДН, с.н.с., в.н.с. Лаборатории "Ц-4 "Распределенные вычисления и теория управления" ФНБУН Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН.

В качестве замечания указано:

По автореферату у рецензента имеется одно замечание, связанное с вопросом выбора устойчивого термина для проведенного в диссертации важного исследования. Чаще всего, термин *групповое* предполагает иерархическое управление группами детей, школьников, студентов и различных многоагентных систем. При такой интерпретации термин *групповое управление* требует более точного определения, "кто и кем управляет". Тогда как термин *коллективное поведение* имеет весьма очевидную коннотацию и представляется рецензенту более предпочтительным.

8. Фридман Александр Яковлевич, профессор, д.т.н. по специальности 05.13.11, в.н.с. Института информатики и математического моделирования Федерального Исследовательского Центра «Кольский Научный Центр Российской академии наук» (ИИММ КНЦ РАН).

В качестве замечаний указано:

1) При разработке базового набора моделей социоподобного поведения агентов отмечено, что основные концепты такого поведения, используемые в методах управления, не тождественны омонимическим понятиям, которыми оперируют нейрофизиологи, психологи и другие специалисты по поведению групп людей, но не пояснены существенные отличия этих концептов от их традиционных определений.

2) Указано, что БЗ каждого агента представляет собой набор продукционных правил, но не описано представление знаний для реализации методов формирования группового поведения агентов.

3) В автореферате не очерчена область применимости предложенных методов по типам решаемых задач и отсутствуют численные оценки результатов практического применения разработанного аппарата (например, из упомянутых актов внедрения).

**Выбор официальных оппонентов** обосновывается их компетентностью в области системного анализа, теории многоагентных систем, адаптивного и группового управления, моделей коллективного и группового поведения, систем групповой робототехники, что подтверждается их исследованиями и

публикациями в высокорейтинговых научных журналах; ведущая организация – НИЯУ МИФИ – является одним из ведущих в мире научно-исследовательских центров, в котором работают специалисты в области создания проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- **предложен** новый систематизированный подход к управлению группами автономных агентов, что позволяет квалифицировать результаты исследования как новое научное направление – использование парадигмы моделей социоподобного поведения для обеспечения коллективного решения комплексных задач группами автономных агентов;

- **разработана и обоснована** новая методология организации группового управления, обеспечивающая формирование социоподобных сообществ искусственных агентов на основе разработанных биологически инспирированных моделей, методов и алгоритмов организации внутригруппового взаимодействия;

- **предложена** обобщенная задача территориального гомеостаза, разрешающая проблему унификации моделей и методов и определяющая функциональный базис, основанный на механизмах социального поведения; к решению этой обобщенной задачи может быть сведен ряд практических задач групповой робототехники, таких как патрулирование, охрана территории, фуражировка и пр.;

- **создан** ряд моделей, методов и алгоритмов, реализующих элементы социоподобного поведения и позволяющих создавать самоорганизующиеся робототехнические системы – социумы роботов, характеризующиеся расширенными адаптивными возможностями и широкой сферой применения.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

- **впервые предложено** систематическое рассмотрение механизмов образования социума как пути развития адаптационных возможностей применительно к группам искусственных агентов – роботов;

- **разработаны** теоретические основы построения новой формы организации группового управления, основанного на принципах взаимодействия искусственных агентов, аналогичных тем, которые наблюдаются в социуме живых организмов.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что** они использованы для создания компонент системы управления коллаборативной тренировочной роботизированной мобильной платформой, решающей задачи мониторинга и разведки в условиях угрозы или возникновения чрезвычайных ситуаций (ООО «ЯРСПАС»); применялись при создании системы мониторинга прибрежной акватории группой малых автономных необитаемых подводных аппаратов (ООО «Аварийно-спасательная служба Нефтегазового и Топливо-Энергетического



Комплекса»); использованы в учебном процессе в Департаменте компьютерной инженерии Московского института электроники и математики НИУ "Высшая школа экономики"; реализованы в Электростальском институте (филиале) Московского политехнического университета при проведении НИР "Разработка экспериментального образца аппаратно-программного комплекса сбора и обработки данных для контроля характеристик и калибровки целевой аппаратуры КА ДЗЗ в части создания макета подвижной платформы для проведения подспутниковых наземных радиометрических измерений (шифр "Мониторинг-СГ-1.3.1.1.1-МПП)", что подтверждается актами о внедрении. Кроме того, результаты диссертационной работы использованы при выполнении госбюджетных НИОКР в НИЦ "Курчатовский институт", научным руководителем, ответственным исполнителем и непосредственным участником которых являлся диссертант, а также ряда проектов РФФИ и РНФ.

**Оценка достоверности исследования выявила, что результаты:**

- получены путем корректного применения методов дискретной математики и теории автоматов, правильно подобранными методиками исследования, проведения вычислений и имитационного моделирования; воспроизводимы и подтверждены многочисленными машинными и натурными экспериментами и внедрением предложенных моделей и алгоритмов поведения в реальные робототехнические системы;

- прошли всестороннюю апробацию на профильных научных конференциях и семинарах.

В работах, опубликованных в соавторстве, **личный вклад** соискателя является определяющим. Им предложена и описана сама концепция моделей социального поведения, которая легла в основу разработанного подхода. В отношении системы моделирования автору принадлежит концепция и архитектура данной системы, а также ее программная реализация. Автору принадлежит постановка задачи и концепция морального агента, а также описание модели эмпатии. Соискатель предложил концепцию архитектуры семиотической системы управления. Им разработаны методы и алгоритмы выбора лидера, модель статического роя, предложены структура системы управления робота. Автором лично были проведены все апробации результатов исследования.

Соискатель Карпов В.Э. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, удовлетворившую авторов вопросов.

На заседании 10 апреля 2023 года диссертационный совет принял решение присудить В.Э. Карпову ученую степень доктора технических наук за решение фундаментальной научной проблемы – создание на основе биологически инспирированного подхода методологического базиса для организации управления и взаимодействия в группах искусственных агентов, функционирующих в сложных динамических и недетерминированных средах, имеющего важное значение для повышения эффективности групповых

робототехнических систем, обеспечения их надежности, масштабируемости и универсализма.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 34 человек, из них 10 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 45 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 25, против присуждения ученой степени – 9, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета 24.1.224.01

д.т.н., профессор, академик РАН

Ю.С. Попков

Ученый секретарь диссертационного  
совета 24.1.224.01

к.ф.-м.н., доцент



И.В. Смирнов

«10» апреля 2023 г.