

Поиск теоретических подходов для исследования киберфизических систем и сред с интеллектуальным управлением

Р. Н. Абуталипов, А. У. Заммиев[✉], Г. В. Чернышев

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

Аннотация. В рамках исследований бионаноробототехники актуальной является разработка методологических подходов, интегрирующих междисциплинарные знания. С этой целью предложена архитектурная модель когнитивной инфокоммуникационной системы (КИКС), основанной на принципах доменного моделирования. В работе анализируются возможности применения теории категорий и интуиционистской логики для формализованного описания и предсказания характеристик биоинтегрированных киберфизических систем и сред с интеллектуальным управлением. Предложен метод представления топологической структуры КИКС посредством концепции «предпучка». Для повышения точности и эффективности моделирования рекомендовано использование современных инструментальных средств, таких как гомотопическая теория типов, помощники по доказательству теорем, языки функционального и логического программирования, дискретно-событийные имитационные модели.

Ключевые слова: бионаноробототехника, мягкая робототехника, многоклеточные инженерные живые системы, теория категорий, интуиционистская логика, предпучок, интеллектуальное управление, когнитивная инфокоммуникационная система, киберфизические системы и среды, проектирование

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абуталипов Р. Н., Заммиев А. У., Нагоев З. В. Бионаноробототехника: концептуализация, проблематика и задачи исследований // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 6(74). С. 11–17. EDN: XRUYRN
2. Абуталипов Р. Н., Заммиев А. У. Интеррепрезентативные сети (ИРС) и репрезентативность VR визуализации наноструктур и процессов в наносреде // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 4(72). С. 5–9. EDN: WKDXXD
3. Абуталипов Р. Н., Заммиев А. У. Доменная модель когнитивной инфокоммуникационной системы для интеллектуального медицинского онлайн-сервиса на базе бионаносенсорных устройств // Славянский форум. 2018. № 1(19). С. 104–113. EDN: YWXRMT
4. Заммиев А. У., Абуталипов Р. Н. Поиск, исследование и развитие технологий бионаноробототехники для устойчивого развития горных территорий в эпоху шестого технологического уклада // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 3(37). С. 447–457. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-3-447-457
5. Абуталипов Р. Н., Заммиев А. У. Актуальные методологические проблемы междисциплинарных исследований в области бионаноробототехники // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2019. № 6(92). С. 10–20. DOI: 10.35330/1991-6639-2019-6-92-10-20
6. Абуталипов Р. Н., Заммиев А. У. Актуальные задачи бионаноробототехники в области виртуального прототипирования бионаноустройств // Перспективные системы

и задачи управления: Материалы XV всероссийской научно-практической конференции и XI молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах», Нижний Архыз, 5–9 октября 2020 года. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2020. С. 193–200. EDN: HDQFSF

7. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У.* Достижения и перспективы бионаноробототехники на современном этапе развития науки и техники. Необходимость и возможность модернизации бионаноробототехники для молекулярного биопроизводства // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2020. № 6(98). С. 7–13. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-6-98-7-13

8. *Заммоев А. У., Абуталипов Р. Н.* Поиск методов и исследование возможностей применения современных технологий виртуального прототипирования и конструирования биоинженерных систем при проектировании бионаноустройств и систем бионаноробототехники // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2020. № 6(98). С. 34–42. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-6-98-34-42

9. *Заммоев А. У., Абуталипов Р. Н.* Доменная модель когнитивной информационно-коммуникационной системы как основа среды виртуального прототипирования устройств и систем бионаноробототехники // Сборник научных трудов II международной научно-практической конференции «Цифровая трансформация науки и образования». Нальчик, 1–4 октября 2021 года. Нальчик, 2021. С. 140–148. EDN: DTKSPA

10. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У.* Разработка элементов технологии экспериментального прототипирования мягких полимерных мехатронных конструкций // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 1(105). С. 12–24. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-1-105-12-24

11. *Абуталипов Р. Н., Заммоев А. У.* Проблема разработки теоретических основ проектирования и прототипирования устройств и систем бионаноробототехники в киберфизических системах и средах // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 28–38. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-28-38

12. *Заммоев А. У., Абуталипов Р. Н.* Разработка техники виртуального прототипирования мягких полимерных мехатронных конструкций // Материалы XVIII всероссийской научно-практической конференции и XIV молодежной школы-семинара «Перспективные системы и задачи управления», п. Домбай, Карачаево-Черкесская Республика, 3–7 апреля 2023 года. Таганрог: Лукоморье, 2023. С. 302–313

13. *Князева Е. Н.* Трансдисциплинарные стратегии исследований // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2011. № 10(112). С. 193–201. EDN: OJQDNT

14. *Чернышев Г. В.* К созданию информационных инструментальных средств поддержки представления знаний. XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, 16–19 июня 2014 г.: Труды. М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2014. С. 8762–8772.

15. *Чернышев Г. В.* О типизации иерархических структур данных // Междунар. науч. конф. «Дискретная математика, алгебра и их приложения». Минск, 14–18 сентября 2015 г. Минск: Институт математики НАН Беларуси, 2015. С. 139–141.

16. *Chernyshev G.* Theoretical aspects of definition for hierarchical structures types / Proceedings of International Russian-Chinese Conference “Actual Problems of Applied Mathematics and Physics”. Tegenekly village, Boarding House «Elbrus», 14–18, December 2015. Pp. 48–50.

17. Coq 8.20.0 documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://coq.inria.fr/doc/V8.20.0/refman/index.html> (дата обращения: 25.09.2024)

18. *Norell U.* Towards a practical programming language based on dependent type theory // Chalmers University of Technology, 2007. 166 p. URL: <https://ncatlab.org/nlab/files/Norell-PracticalDTT.pdf>
19. *Eilenberg S., MacLane S.* General theory of natural equivalences // Transactions of the American Mathematical Society. 1945. Vol. 58. No. 2. Pp. 231–294.
20. *Маклейн С.* Категории для работающего математика / пер. под ред. В. А. Артамонова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 351 с. ISBN: 5-9221-0400-4
21. *Category Theory (Stanford Encyclopedia of Philosophy).* [Электронный ресурс]. URL: <https://plato.stanford.edu/entries/category-theory/> (дата обращения: 25.09.2024)
22. *Fong B., Spivak D. I.* Seven sketches in compositionality: An invitation to applied category theory // arXiv. Preprint arXiv:1803.05316. 2018
23. *Васюков В. Л.* Логический плюрализм и неклассическая теория категорий // Логические исследования: ежегодник. 2012. № 18. С. 60–76. EDN: PFOEPV
24. *Родин А. В.* Теория категорий и поиски новых математических оснований физики // Вопросы философии. 2010. № 7. С. 67–81. EDN: MSXDKX
25. *Гуц А. К., Паутова Л. А.* Теория категорий в социологии: общества как объекты топоса Гротендика // Математические структуры и моделирование. 2015. № 3(35). С. 61–71. EDN: VCYIOF
26. *Сергиенко Н. А.* Теория категорий в отечественной и зарубежной науке: классический подход // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2017. № 7-1(73). С. 150–153. EDN: YQEKKV
27. *Жожикашвили А. В.* Категорная технология создания и развития интеллектуальных систем, основанных на знании // Информационные процессы. 2016. Т. 16. № 4. С. 312–332. EDN: XEIE NR
28. *Игамбердиев А. У.* Логика организации живых систем. Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1995. 152 с.
29. *Ковалев С. П.* Теория категорий как математическая прагматика модельно-ориентированной системной инженерии // Информатика и ее применения. 2018. Т. 12. № 1. С. 95–104. DOI: 10.14357/19922264180112. EDN: YTTRFC
30. *Ковалев С. П.* Алгебраические методы проектирования гетерогенных киберфизических систем // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 2. С. 144–147. DOI: 10.52348/2712-8873_ММТТ_2021_2_144
31. *Ковалев С. П.* Методы теории категорий в цифровом проектировании гетерогенных киберфизических систем // Информатика и ее применения. 2021. Т. 15. № 1. С. 23–29. DOI: 10.14357/19922264210104
32. *Ковалев С. П.* Проектирование гетерогенных киберфизических систем с применением теории категорий // Мехатроника, автоматизация, управление. 2022. Т. 23. № 2. С. 59–67. DOI: 10.17587/mau.23.59-67
33. *MacLane S., Moerdijk L.* Sheaves in geometry and logic: a first introduction to topos theory (Universitext). New York: Springer, 1994. 640 p.
34. *Гротендик А.* О некоторых вопросах гомологической алгебры: перевод с фр. Б. Б. Венкова / Под ред. А. Л. Онищика. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 175 с.
35. *Гротендик А.* Урожай и посевы. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 288 с.
36. *Голдблатт Р.* Топосы. Категорный анализ логики. М.: Мир, 1983. 487 с.
37. *Натанзон С. М.* Введение в пучки, расслоения и классы Черна. М.: МЦНМО, 2010. 48 с. ISBN: 978-5-94057-647-1
38. *Букур И., Деляну А.* Введение в теорию категорий и функторов. М.: Мир, 1972. 260 с.

39. *Category Theory* (Теория категорий. Конспект лекций Н. А. Вавилова и А. Ю. Лузгарева). URL: <http://cadadr.org/notes/categories.pdf> (дата обращения: 25.09.2024).
40. *Ненейвода А. Н.* Л.Э.Я. Брауэр «недостоверность принципов логики» // Логические исследования. 2016. Т. 22. № 1. С. 171–176. EDN: WHTPCT
41. *Гейтинг А.* Интуиционизм. Введение: перевод с англ. В. А. Янкова / Под ред. и с коммент. А. А. Маркова. М.: Мир, 1965. 200 с.
42. *Колмогоров А. Н.* О принципе tertium non datur // Математический сборник. 1925. Т. 32. № 4. С. 646–667.
43. *Колмогоров А. Н.* Современные споры о природе математики // Научное слово. 1929. Вып. 6. С. 41–54.
44. *Марков А. А.* Избранные труды. Т. II. Теория алгоритмов и конструктивная математика, математическая логика, информатика и смежные вопросы. М.: МЦНМО, 2003. 626 с. ISBN: 5-94057-113-1
45. *Новоселов М. М.* К истории дискуссий об интуиционистской логике // Философия науки. 1998. Т. 4. № 1. С. 223–232. EDN: UMMKVJ
46. *Шанин Н. А.* О конструктивном понимании математических суждений // Проблемы конструктивного направления в математике: сборник работ. Тр. МИАН СССР. 1958. Т. 52. С. 226–311.
47. *Краус М., Кучбах Э., Вошни О.-Г.* Сбор данных в управляющих вычислительных системах: пер. с нем. М.: Мир, 1987. 294 с.

Информация об авторах

Абуталипов Ренат Надельшаевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. совместной лаборатории ИИПРУ КБНЦ РАН и НПО «Андроидная техника» «Бионаноробототехника», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

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

bnt_nat_2016@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0187-563X>, SPIN-код: 6219-9432

Заммоев Аслан Узеирович, канд. техн. наук, зав. совместной лабораторией ИИПРУ КБНЦ РАН и НПО «Андроидная техника» «Бионаноробототехника», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

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

zammoev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7966-3557>, SPIN-код: 6317-3115

Чернышев Геннадий Васильевич, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. отдела автоматизации и информатизации региональных систем управления, Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

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

henrychern@yandex.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0870-6318>, SPIN-код: 4103-0163