

## Лаборатория автономных робототехнических систем

**Руководитель лаборатории:** Савельев Антон Игоревич, кандидат технических наук – математические модели управления робототехническими средствами, методы и алгоритмы для построения траекторий движения робототехнических систем, сервисы киберфизического пространства, обработка изображений, saveliev@iias.spb.su.

### **Области исследований лаборатории**

Разработка математического и программно-аппаратного обеспечения автономных робототехнических систем, включая методы группового управления, топологической робототехники, кинематики и динамики движения многозвенных систем, управления беспилотными летательными аппаратами, обработку изображений и создание опытных образцов распределенных систем для преобразования информации на борту роботов.

**Общая численность:** 19 сотрудников.

### **Научные сотрудники и краткое наименование направления работ**

Блинов Дмитрий Владимирович, младший научный сотрудник – программное обеспечение наземных робототехнических средств и их моделирование, blinov.d@iias.spb.su.

Ватаманюк Ирина Валерьевна, младший научный сотрудник – методы, алгоритмы и архитектуры робототехнических и информационно-управляющих систем, vatamaniuk@iias.spb.su.

Крестовников Константин Дмитриевич, младший научный сотрудник – модели и алгоритмы для распределения энергетических ресурсов в рое робототехнических средств путем двунаправленной беспроводной передачи энергии, k.krestovnikov@iias.spb.su.

Лазукин Андрей Александрович, младший научный сотрудник – алгоритмы и методы управления для взаимодействия надводных и подводных аппаратов, принципы беспроводной передачи энергии между ними, lazukun.a@iias.spb.su.

Лебедев Игорь Владимирович, младший научный сотрудник – методы и алгоритмы управления беспилотными летательными аппаратами, lebedev@iias.spb.su.

Лебедева Валерия Валентиновна, младший научный сотрудник – методы и алгоритмы управления беспилотными летательными аппаратами, lebedeva.v@iias.spb.su.

Пухальский Ян Викторович, младший научный сотрудник – системы управления агроэкологического производства, puhalsky.y@spcras.ru.

Черских Екатерина Олеговна, младший научный сотрудник – мультиагентные сенсорные системы с событийным принципом работы, cherskikh.e@iias.spb.su.

Ширяева Елена Олеговна, младший научный сотрудник – алгоритмы управления и методы визуализации данных наземных робототехнических средств, shiryeva.e@iias.spb.su.

### **Аспиранты**

Васюнина Юлия Геннадиевна, «Модель, алгоритмы и программные средства оптимизации расположения воздушных и наземных роботизированных средств для организации бесшовной передачи данных на открытой местности», (научный руководитель – к.т.н. Савельев А.И.).

Егоров Артём Витальевич, «Модели, алгоритмы и программные средства локализации БПЛА на основе обработки гиперспектральных изображений подстилающей поверхности», (научный руководитель – к.т.н. Савельев А.И.).

Ерашов Алексей Алексеевич, «Методы, алгоритмы и программные средства решения прямой и обратной задач кинематики многозвенных систем на основе методов машинного обучения» (научный руководитель – д.т.н., проф. Ронжин А.Л.).

Лебедев Игорь Владимирович, «Алгоритмы, методы и программное обеспечение управления мультироторным беспилотным летательным аппаратом с многосевыми двигательными блоками для проведения мониторинга инфраструктурных объектов» (научный руководитель – к.т.н. Савельев А.И.).

Лебедева Валерия Валентиновна, «Алгоритмы и подход к планированию пути для группы беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа в сложной геометрической среде» (научный руководитель – к.т.н. Савельев А.И.).

Подтихов Артур Владимирович, «Метод, алгоритмы и программные средства локализации наземных роботов на основе пассивных сенсорных устройств в условиях городской среды», (научный руководитель – к.т.н. Савельев А.И.).

Черских Екатерина Олеговна, «Методы, алгоритмы и архитектура мультиагентной сенсорной системы, состоящей из многоцелевых гомогенных ячеек с событийным принципом работы» (научный руководитель – д.т.н., проф. Ронжин А.Л.).

## **Гранты и проекты**

Савельев А.И. Грант РФФИ № 20-79-10325 «Разработка принципов и подходов к адаптивному управлению автономными мобильными киберфизическими системами в условиях изменяющегося окружения», 2020–2023 гг.

Ронжин А.Л., Грант РФФИ № 22-69-00231 «Принципы функционирования беспроводных нодальных сейсмических систем под управлением группы беспилотных воздушных средств на труднодоступных территориях со сложным рельефом местности», 2022–2025 гг.

Савельев А.И., Грант Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-3094.2022.1.6 «Подход к позиционированию подводного автономного аппарата для получения беспроводной электрической энергии от зарядной станции надводного аппарата», 2022–2023 гг.

Договор № 6/НИР/2022 от 08.07.2022 г. с ФГБОУ ВО КГТУ на выполнение работ по разработке материально-технического и учебно-методического обеспечения образовательного онлайн-курса наземной робототехники, 2022–2023 гг.

Договор № 1М/М от 15.07.2022 г. с ООО «РУФИЛМС ИННОВЕЙШЕН» на разработку сенсорного браслета для распознавания жестов пальцев руки, на основе емкостного принципа, и отслеживания параметров движений конечности, обеспечивающего функционал компьютерной мыши, 2022–2023 гг.

Договор № 5/НИР/2023/СПИИРАН от 11.08.2023 г. с ООО «ЭКОС СЕКЬЮРИТИ РУС» на разработку программной и аппаратной частей системы ключницы для управления доступом к ключам и администрирования пользователей, 2023–2024 гг.

## **Сотрудничество с ВУЗами**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Военная академия связи им. С.М. Будённого – Савельев А.И.

Национальный исследовательский университет ИТМО – Лазукин А.А.

## **Международное сотрудничество**

Савельев А.И. – организация совместных научных мероприятий и исследований с университетом Цинхуа (Китай), университетом Фучжоу (Китай), компанией Gaitech Intelligence (Китай), издательством Шанхайского университета Цзяо Тун (Китай), Гуандунским университетом нефтехимических технологий (Китай), Белорусским государственным университетом информатики и радиоэлектроники (Республика Беларусь), Объединенным институтом проблем информатики национальной академии наук (Республика Беларусь), Мексиканским национальным автономным университетом UNAM (Мексика), институтом систем управления Министерства науки и образования Азербайджанской Республики (Азербайджан).

## **Членство в российских и международных организациях, диссертационных советах**

Савельев А.И. – сопредседатель организационного комитета международной конференции по интерактивной коллаборативной робототехнике ICR; сопредседатель организационного комитета международной конференции по цифровизации сельского хозяйства и органическому производству ADOP; начальник отдела Инженерный гараж Инженерной школы ГУАП; член национального комитета международных соревнований «RoboCup»; ментор проекта «Акселератор ГУАП».

## **Интеллектуальная собственность**

Программа для ЭВМ «Программное обеспечение для носимого устройства с жестовым дистанционным управлением периферийными объектами», авторы Козуляев А.В., Конотопова Е.А., Савельев А.И., Ерашов А.А., Рябинов А.В., Крестовников К.Д., дата регистрации: 14.02.2023, рег. номер: RU 2023616837.

Патент на изобретение «Беспилотный летательный аппарат для транспортировки компонентов крови», авторы Лебедев И.В., Лебедева В.В., Савельев А.И., Черноусова П.М., Носов А.М., Ромашова Ю.Е., дата регистрации: 07.03.2023, рег. номер: RU 2791340 С1.

Патент на изобретение «Двунаправленная система беспроводной передачи энергии», авторы Крестовников К.Д., Савельев А.И., Ерашов А.А., дата регистрации: 22.08.2023, рег. номер: RU 2802056 С1.

Программа для ЭВМ «Программное обеспечение для управления передающей частью беспроводной системы передачи энергии на базе резонансного автогенератора», авторы Савельев А.И., Крестовников К.Д., дата регистрации: 18.09.2023, рег. номер: RU 2023669595.

Программа для ЭВМ «Программный модуль позиционирования робота по ArUco-маркерам», авторы Савельев А.И., Крестовников К.Д., Летенков М.А., дата регистрации: 19.10.2023, рег. номер: RU 2023681828.

Программа для ЭВМ «Программный комплекс формирования миссий группы наземных роботов», авторы Крестовников К.Д., Аникин Д.А., дата регистрации: 11.12.2023, рег. номер: RU 2023686919.

### **Новые результаты исследований**

1. Разработана математическая модель управления группой наземных роботов, отличающаяся новыми условиями решения задачи, учитывающая перераспределение энергетических ресурсов между роботами и оптимизирующая выполнение целевых задач [17].

2. Разработан комплекс алгоритмов группового централизованного управления наземными роботами, отличающийся совокупностью правил и реализующий перераспределение энергетических ресурсов на маршрутах между точками местоположения целевых задач при передвижении на открытом пространстве с переменным рельефом, обеспечивающий уменьшение общего времени выполнения целевых задач [16, 17, 22].

3. Разработан метод имитационного моделирования посадки беспилотного летательного аппарата (БПЛА) на подвижную роботизированную платформу в условиях внешних воздействий, включающий алгоритм автономной посадки БПЛА на роботизированную платформу с фрактальным маркером, который позволяет сформировать набор данных для оценки влияния внешних воздействий на время посадки БПЛА [1, 26].

4. Разработан алгоритм локализации наземного робота, основанный на семантической информации об объектах городской среды, который исключает из рассмотрения динамические объекты и улучшает сопоставление ключевых точек, обеспечивающий прирост точности локализации робота в среднем на 23% [10].

5. Разработан метод и описана архитектура динамического формирования изображений Head-up дисплея (HUD) для автономных роботов, учитывающий выполняемые задачи и использующий граничные вычисления с целью сокращения объема передаваемой пользователю информации, в результате тестирования было выявлено, что для 87,5% пользователей такой HUD является предпочтительнее [21].

### **Список публикаций:**

*Статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых в WoS, Scopus:*

1. Anikin D., Ryabinov A., Saveliev A., Semenov A. Autonomous Landing Algorithm for UAV on a Mobile Robotic Platform with a Fractal Marker. International Conference on Interactive Collaborative Robotics. Cham: Springer Nature Switzerland. 2023. pp. 357–368. DOI: 10.1007/978-3-031-43111-1\_32. (Scopus).
2. Cherskikh E. A Conceptual Model of Sensor System Ontology with an Event-Based Information Processing Method. Neuroscience and Behavioral Physiology. 2022. vol. 52. no. 8. pp. 1310–1317. DOI: 10.1007/s11055-023-01360-5. (Scopus Q4, BAK).
3. Erashov A., Saveliev A., Blinov D. Neural Network Approach for Solving Inverse Kinematics Problem of Modular Reconfigurable Systems. Frontiers in Robotics and Electromechanics. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. pp. 77–91. DOI: 10.1007/978-981-19-7685-8\_6. (Scopus Q4).
4. Iakovlev R., Lebedeva V., Egorov I., Bryksin V., Ronzhin A. Method for Searching Deployment Zones of Ground Seismic Sensors by a Heterogeneous Group of UAVs in an Environment with a Complex Topography. Frontiers in Robotics and Electromechanics. Singapore: Springer Nature Singapore. 2023. pp. 343–358. DOI: 10.1007/978-981-19-7685-8\_22. (Scopus Q4).
5. Lazukin A., Saveliev A., Krestovnikov K. Low Input Voltage DC-DC Converter for Harvesting Energy by Microbial Fuel Cell. Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software. Springer, Cham. 2023. pp. 613–627. DOI: 10.1007/978-3-031-21435-6\_52. (Scopus).
6. Lazukin A., Saveliev A., Krestovnikov K., Volchenko N., Maslennikov S. Automated Coastal Monitoring of Aquaculture Areas Using Microbial Fuel Cell Technology. Agriculture Digitalization and Organic Production. Smart Innovation, Systems and Technologies. Springer. 2023. vol. 362. pp. 397–407. DOI: 10.1007/978-981-99-4165-0\_36. (Scopus).
7. Lebedeva V., Erashov A. Algorithm for Interaction of UAVs and Ground-Based Robotic Systems for Collaboration Operations over Vast Territory. International Russian Automation Conference (RusAutoCon). IEEE. 2023. pp. 525–531. DOI: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272800. (Scopus).

8. *Lebedeva V., Kamynin K., Lebedev I., Kuznetsov L., Saveliev A.* Method for Distributed Mapping of Terrain by a Heterogeneous Group of Robots Based on Google Cartographer. *Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software.* 2023. pp. 584–597. DOI: 10.1007/978-3-031-21435-6\_50. (Scopus).
9. *Lebedeva V., Lebedev I.* Development of an Algorithm for Coverage Path Planning for Survey of the Territory Using UAVs. *Frontiers in Robotics and Electromechanics.* Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. pp. 315–329. DOI: 10.1007/978-981-19-7685-8\_20. (Scopus Q4).
10. *Podtikhov A., Saveliev A.* Ground Mobile Robot Localization Algorithm Based on Semantic Information from the Urban Environment. *International Conference on Interactive Collaborative Robotics.* Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. pp. 164–174. DOI: 10.1007/978-3-031-43111-1\_15. (Scopus).
11. *Puhalsky J., Loskutov S., Saveliev A., Shiffon J., Postnikov G., Kaushan P., Vinogradov M.* Prospects for the Use of Additives in the Form of Fly Ash and Coke Breeze in the Creation of Soil Mixtures for Growing Plants. *Agriculture Digitalization and Organic Production. Smart Innovation, Systems and Technologies.* Springer, Singapore, 2023. vol. 362. pp. 193–202. DOI: 10.1007/978-981-99-4165-0\_18. (Scopus).
12. *Ronzhin A., Khalilov E., Lazukin A., Saveliev A., Ma Z., Wang M.* Theoretical and Technological Foundations for Water Blooming Prevention Using Laser Radiation. *Agriculture Digitalization and Organic Production. Smart Innovation, Systems and Technologies.* Springer, Singapore, 2023. vol. 362. pp. 409–418. DOI: 10.1007/978-981-99-4165-0\_37. (Scopus).
13. *Saveliev A., Lebedev I.* Method of Autonomous Survey of Power Lines Using a Multi-rotor UAV. *Frontiers in Robotics and Electromechanics.* Singapore: Springer Nature Singapore. 2023. pp. 359–376. DOI: 10.1007/978-981-19-7685-8\_23. (Scopus Q4).
14. *Vasunina Y., Anikin D., Saveliev A.* Algorithm of UAV Trajectory Creation for Data Collecting from Seismological Sensors. *International Russian Automation Conference (RusAutoCon).* IEEE, 2023. pp. 747–752. DOI: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272909. (Scopus).
15. *Агафонов В.М., Бугаев А.С., Ерохин Г.Н., Ронжин А.Л.* Векторная декомпозиция сейсмических данных методами волнового обращения во времени. *Russian Journal of Earth Sciences.* 2023. Т. 23. № 3. С. 1–13. DOI: 10.2205/2023ES000837. (Scopus, WoS Q3).
16. *Крестовников К.Д.* Алгоритмы управления двунаправленной беспроводной системой передачи энергии при перераспределении энергоресурсов в группе наземных роботов. *Мехатроника, автоматизация, управление.* 2023. Т. 24. № 9. С. 481–488. DOI: 10.17587/mau.24.481-488. (Scopus).
17. *Крестовников К.Д.* Математическая модель и алгоритмы управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов. *Информационно-управляющие системы.* 2023. № 6. С. 20–34. DOI: 10.31799/1684-8853-2023-6-20-34. (Scopus).
18. *Крестовников К.Д., Ерашов А.А., Савельев А.И.* Разработка аппаратного обеспечения и алгоритмов функционирования носимого сенсорного устройства для распознавания двигательной активности руки и жестов. *Информационно-управляющие системы.* 2023. № 4. С. 35–46. DOI: 10.31799/1684-8853-2023-4-35-46. (Scopus Q4).

*Статьи, опубликованные в отечественных изданиях, индексируемых в РИНЦ:*

19. *Астапова М.А., Лебедев И.В., Уздяев М.Ю.* Методика построения траектории беспилотных летательных аппаратов для автономного сбора визуальных данных о повреждениях линий электропередач в инфракрасном и ультрафиолетовом спектрах. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2023. Т. 11. № 1. С. 1–25. DOI: 10.26102/2310-6018/2023.40.1.003. (РИНЦ).
20. *Ерашов А.А., Аникин Д.А., Черских Е.О., Савельев А.И., Брыскин В.М., Агафонов В.М.* Алгоритмы оценивания параметров неоднородной поверхности и управления беспилотным летательным аппаратом при установке сейсмического датчика. *Труды МФТИ.* 2023. Т. 15. № 4(60). (RSCI, РИНЦ).
21. *Заикин М.И., Летенков М.А., Камынин К.В., Астапова М.А.* Метод динамического формирования изображений HUD дисплея для наземных автономных робототехнических средств. *Известия Юго-Западного государственного университета.* 2023. (РИНЦ, ВАК).
22. *Крестовников К.Д.* Алгоритмическое и аппаратное обеспечение перераспределения энергоресурсов в группе наземных роботов. *XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023).* 2023. С. 80–83. (РИНЦ).

23. *Ле В.Н., Ронжин А.Л.* Способы и технические средства позиционирования и навигации роботов в водной среде. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2023. № 6(116). С. 167–178. DOI: 10.35330/1991-6639-2023-6-116-167-178. (РИНЦ).
24. *Ронжин А.Л., Халилов Э.Н., Лазукин А.А., Савельев А.И., Ма З., Ванг М.* Моделирование способов управления динамикой цианобактериального цветения с применением воздушных и надводных робототехнических средств. Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14. № 7. С. 86–91. DOI: 10.37614/2949-1215.2023.14.7.009. (РИНЦ).
25. *Рябинов А.В., Виноградов М.С., Левоневский Д.К., Лоскутов С.И.* Автоматизация управления процессами выращивания культур в тепличных комплексах вертикального типа. Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. № 2. С. 201–213. DOI: 10.36107/spfp.2023.381. (РИНЦ).
26. *Рябинов А.В., Савельев А.И., Аникин Д.А.* Моделирование влияния внешних воздействий на процесс автоматизированной посадки БПЛА-квадрокоптера на подвижную платформу с использованием технического зрения. Моделирование и анализ информационных систем. 2023. Т. 30. № 4. С. 366–381. DOI: 10.18255/1818-1015-2023-4-366-381. (RSCI, РИНЦ, ВАК).
27. *Савельев А.И., Камынин К.В., Ерашов А.А., Черских Е.О.* Алгоритм планирования локальных траекторий движения наземного робототехнического средства с учетом глобального маршрута. Робототехника и техническая кибернетика. 2023. Т. 11. № 3. С. 188–196. DOI: 10.31776/RTSJ.11304. (RSCI, РИНЦ, ВАК К1).
28. *Савельев А.И., Крестовников К.Д., Ерашов А.А.* Анализ подходов к функционированию автономного необитаемого аппарата и надводного судна при проведении совместных миссий. Системы анализа и обработки данных. 2022. № 4(88). С. 49–62. DOI: 10.17212/2782-2001-2022-4-49-62. (РИНЦ).