

УДК 004.896

А. Л. Ронжин

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
г. Санкт-Петербург, Россия

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ И РОБОТИЗАЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО НАУЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

A. L. Ronzhin

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russia

INTELLECTUALIZATION AND ROBOTIZATION OF DOMESTIC SCIENTIFIC EQUIPMENT FOR INTERDISCIPLINARY RESEARCH

А. Л. Ронжин

Санкт-Петербургський Федеральний дослідницький центр Російської академії наук,
м. Санкт-Петербург, Росія

ІНТЕЛЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ТА РОБОТИЗАЦІЯ ВІТЧИЗНЕВОГО НАУКОВОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МІЖДИСЦИПЛІНАРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Системные междисциплинарные исследования, проводимые в Санкт-Петербургском Федеральном исследовательском центре Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН) включают в себя разработку научного оборудования, в том числе информационно-измерительного программно-аппаратного обеспечения для проведения внутренних фундаментальных и прикладных работ, а также довести его функциональные и эргономические характеристики до уровня, необходимого для коммерциализации и вывода на рынок образцов промышленной продукции.

Ключевые слова: технологии искусственного интеллекта, робототехника, научное оборудование, междисциплинарные исследования

Systemic interdisciplinary research conducted at the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS) includes the development of scientific equipment, including information-measuring software and hardware for carrying out internal fundamental and applied work, as well as bringing its functional and ergonomic performance to the level required for the commercialization and introduction to the market of industrial products.

Key words: artificial intelligence technologies, robotics, scientific equipment, interdisciplinary research

Системні міждисциплінарні дослідження, що проводяться в Санкт-Петербурзькому Федеральному дослідному центрі Російської академії наук (СПб ФІЦ РАН) включають розробку наукового обладнання, в тому числі інформаційно-вимірювального програмно-апаратного забезпечення для проведення внутрішніх фундаментальних і прикладних робіт, а також довести його функціональні та ергономічні характеристики до рівня, необхідного для комерціалізації та виведення на ринок зразків промислової продукції.

Ключові слова: технології штучного інтелекту, робототехніка, наукове обладнання, міждисциплінарні дослідження.

Актуализация создания собственного экспериментального научного оборудования на основе технологий искусственного интеллекта и робототехнических решений вызвана несколькими причинами [1], [2]. Во-первых, это внешние факторы: нарастающая технологическая локализация, недостаточное финансирование, отсутствие кадрового потенциала для реализации трансфера технологий и достижений фундаментальной науки. Во-вторых, это собственный потенциал СПб ФИЦ РАН: компетенции ученых из различных областей и существующие опытные производства электроники позволяет создавать уникальное оборудование для вертикальных ферм, точного земледелия, аквакультуры, аэролимнологии и других междисциплинарных направлений. На рис. 1 приведены ключевые исследования, проводимые несколькими подразделениями СПб ФИЦ РАН, в области разработки робототехнических средств, цифровой трансформации сельского хозяйства и рационального природопользования.



Рисунок 1 – Междисциплинарные исследования агроэкологических задач

Открыто новое научное направление – аэролимнология, посвященное системной интеграции междисциплинарных знаний при использовании беспилотных летательных аппаратов и обработке полученных данных, осуществляется на основе технологий искусственного интеллекта при изучении лимнологических объектов и процессов [3]. Приведены несколько примеров созданного научного оборудования на основе технологий искусственного интеллекта и робототехнических решений.

Разработан интеллектуальный дночерпатель, отличающийся автоматизированным захлопыванием ковшей по результатам оценивания плотности грунта и вертикальности погружения дночерпателя в грунт, обеспечивающий сокращение количества неудачных попыток отбора грунта и гарантированный захват площади донного осадка, соответствующей рабочей площади дночерпателя в вертикальном положении, что значительно увеличивает скорость исследования донных осадков водоёмов со сложным грунтом (галька, глина), большими глубинами при волне до 1,5-2 м при спуске на лебедке или вручную [4].

Разработано стационарно устанавливаемое ультразвуковое устройство для борьбы с «цианобактериальным цветением» малых водоемов, отличающееся малой интенсивностью акустического сигнала с круговой диаграммой направленности, создаваемого массивом параллельно соединенных пьезокерамических ультразвуковых излучателей на основных резонансных частотах от 25 до 250 кГц, размещающихся в герметичном корпусе с положительной плавучестью на глубине 1-1.5 метра под водой, обеспечивающее контроль, подавление развития цианобактерий в пресноводных водоемах и безопасность для биотических сообществ водоема, водорослей, рыб, птиц и людей [5].

Разработаны оборудование и беспроводные средства комплексной автоматизации, предназначенные для роботизированных систем проактивного управления жизненным циклом производства, хранения и транспортировки продукции закрытых вертикальных ферм и аквакультуры на установках замкнутого водоснабжения, в том числе в сложных климатических условиях Арктики на основе оригинальных компонентов, включая: автономные гидропонные и аэропонные системы; светодиодное освещение для растений; системы для контроля и автоматизации цикла выращивания; сенсорные системы для анализа состояния окружающей среды; интерфейс авторизации; интерфейс отслеживания показателей датчиков; интерфейсы управления контейнерами, конфигурациями и технологиями выращивания; интерфейсы управления существующими теплицами в облаке [6].

Разработано программно-аппаратное обеспечение фитоламп сине-красного спектра, отличающееся независимой настройкой светодиодов каждого типа излучения, за счёт многоканального импульсного регулятора тока светодиодов обеспечивающее широкий диапазон напряжения источника питания (8 – 18 В), управление яркостью свечения каждой группы светодиодов совокупной мощностью до 20 Вт, благодаря использованию микроконтроллера в качестве регулятора имитируются суточные циклы освещения для определенного вида растений. Управляющий микроконтроллер поддерживает интерфейс 1-wire, позволяющий программировать лампу или удаленно управлять ее режимами [7]. Лампы оснащаются парными разъёмами, позволяющими соединять их в каскад без применения дополнительных проводов питания и управления. Крепление ламп может осуществляться как саморезами, так и магнитами к стальным поверхностям.

Создана линейка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в том числе мультироторного типа GD-4 (размеры 1,4 × 1,4 × 0,4 м; масса полезной нагрузки 15 кг; время полета от 25 до 30 мин; максимальная скорость 50 км/ч; дальность полета до 25 км; максимальная высота полета 1,5 км) и БПЛА самолетного типа с вертикальным взлётом и посадкой (размах крыла 2,1 м; масса полезной нагрузки 1 кг; время полета от 30 до 45 мин; максимальная скорость 90 км/ч; дальность полета до 40 км; максимальная высота полета 2 км) [8], [9]. Ведется разработка собственной бортовой аппаратуры: полетного контроллера для БПЛА (микроконтроллер ESP32; питание модуля: 7 – 26 В; барометрический датчик высоты; 6 каналов управления двигателями/сервоприводами; интерфейс передачи данных Wi-Fi; интерфейс передачи данных Bluetooth; проводной интерфейс USB 2.0; интерфейс передачи данных CANbus; выход для питания высокоуровневого вычислителя) и платы инерциальной системы навигации для БПЛА (питание: 5-26 В; барометрический датчик высоты; интерфейс передачи данных UART/ CANbus; два 6-осевых IMU-датчика; компас).

Разработана наземная сельскохозяйственная робототехническая платформа для борьбы с грызунами на земельных угодьях, отличающаяся наличием дополнительного манипуляционного оборудования для загрузки отравляющих веществ против грызунов в норы, системы технического зрения, обученной на разных типах почв и размерах отверстий нор, обеспечивающая навигацию на земельных угодьях и точное наведение сопла манипулятора в отверстие норы [10].

Разработана система распознавания нор грызунов и загрузки отравляющих веществ, устанавливаемая на наземную робототехническую платформу, отличающаяся применением полносвязной свёрточной сети для семантической сегментации нор разных размеров отверстий, степени засыпанности, типов почв и других факторов состояния поля, манипулятором с точным наведением в горизонтальной плоскости, вертикальным вводом сопла и пневматической подачей отравляющих веществ в отверстие норы [11].

Проводится моделирование надводного судна с аэродвижителем для движения в сильно эвтрофицированных водоемах при мониторинге и транспортировке средств борьбы с цианобактериальным цветением [12], а также разработка алгоритмов позиционирования автономного необитаемого подводного аппарата для зарядки аккумуляторов на основе беспроводной системы передачи энергии [13].

Геоинформационные аналитические системы, тематические сервисы мониторинга и прогнозирования развития пространственных объектов и процессов на основе дистанционного зондирования Земли и других гетерогенных источников информации при решении агроэкологических задач размещаются на платформе ЦКП «Северо-Западный центр мониторинга и прогнозирования развития территорий» [14].

Дальнейшая работа направлена на развитие и трансфер разрабатываемых интеллектуальных технологий и робототехнических средств по автоматизации процессов управления вертикальными фермами, точного земледелия, отбора проб при решении агроэкологических задач.

Список литературы

1. Анцыферов С. С. Методология развития интеллектуальных систем [Текст] / С. С. Анцыферов, А. С. Сигов, К. Н. Фазилова // Проблемы искусственного интеллекта. – 2022. – № 2 (25). – С. 42-47.
2. Ронжин А. Л. Преимущества и риски реорганизации научных организаций: опыт Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН [Текст] / А. Л. Ронжин // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 5 (109). – С. 158-169.
3. О теоретических основах аэролимнологии: изучение пресных водоемов и прибрежных территорий с применением воздушных робототехнических средств [Текст] / Дудакова Д. С., Анохин В. М., Дудаков М. О., Ронжин А. Л. // Информатика и автоматизация. – 2022. – Т. 21, № 6. – С. 1359-1393.
4. Ронжин А. Л. Концептуальная и теоретико-множественная модели задачи функционирования и применения системотехнических решений для пробоотбора донных отложений [Текст] / Ронжин А. Л., Дудаков М. О., Дудакова Д. С. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. – 2023. – Т. 15, № 1. – С. 43-54.
5. Проблема регуляции токсигенного цветения пресноводных водоемов [Текст] / Румянцев В. А., Рыбакин В. Н., Рудский И. В., Павлова О. А., Капустина Л. Л., Митрукова Г. Г., Коровин А. Н. // Водные ресурсы. – 2022. – Т. 49, № 2. – С. 238-248.
6. Astapova M. Method for monitoring growth of microgreens in containers using computer vision in infrared and visible ranges [Текст] / Astapova M., Saveliev A., Markov Y. // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2022. – Vol. 245. – pp. 383-394.
7. Астапова М. А. Оптимизация параметров лазерной стимуляции красного спектра растений салата в закрытом грунте [Текст] / Астапова М. А., Савельев А. И. // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 2 (47). – С. 3-11.

8. Астапова М.А. Методика построения траектории беспилотных летательных аппаратов для автономного сбора визуальных данных о повреждениях линий электропередач в инфракрасном и ультрафиолетовом спектрах [Текст] / Астапова М.А., Лебедев И.В., Уздяев М.Ю. // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11, № 1 (40). – С. 27-28.
9. Управление группой БПЛА при отработке кризисных полетных ситуаций в решении транспортных задач [Текст] / [Савельев А.И., Лебедева В.В., Лебедев И.В. и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2022. – № 1 (225). – С. 110-120.
10. Яковлев Р.Н. Сравнительная оценка подходов к определению точек захвата объектов робототехническим средством [Текст] / Яковлев Р.Н., Рубцова Ю.И., Ерашов А.А. // Мехатроника, автоматизация, управление. – Т. 22, № 2. – С. 83-93.
11. Разработка устройства сопряжения для модульной сельскохозяйственной робототехнической платформы [Текст] / Крестовников К.Д., Ерашов А.А., Васюнина Ю.Г., Савельев А.И. // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2022. – Т. 16, № 1. – С. 78-88.
12. Савельев А.И. Анализ подходов к функционированию автономного необитаемого аппарата и надводного судна при проведении совместных миссий [Текст] / Савельев А.И., Крестовников К.Д., Ерашов А. // Системы анализа и обработки данных. – 2022. – № 4 (88). – С. 49-62.
13. Крестовников К.Д., Ерашов А.А., Савельев А.И. Подход к беспроводному заряду аккумуляторной батареи автономных необитаемых подводных аппаратов [Текст] / Крестовников К.Д., Ерашов А.А., Савельев А.И. // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – № 4-1 (58). – С. 144-155.
14. Технологии визуализации, обработки пространственных данных, мониторинга и проактивного управления развитием экосистем Северо-Западного региона [Текст] / Ронжин А.Л., Зеленцов В.А., Богомолов А.В., Кулешов С.В. // Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления. Материалы VI Международной научно-практической конференции. Редколлегия: Р.В. Намм (отв. редактор) [и др.]. – Хабаровск, 2021. – С. 207-213.

References

1. Antsyferov S.S., Sigov A.S., Fazilova K.N. Methodology for the development of intelligent systems [Metodologiya razvitiya intellektual'nykh sistem] *Problems of artificial intelligence* [Problemy iskusstvennogo intellekta]. 2022. No. 2 (25). pp. 42-47.
2. Ronzhin A.L. Advantages and risks of reorganization of scientific organizations: the experience of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences [Preimushchestva i riski reorganizatsii nauchnykh organizatsiy: opyt Sankt-Peterburgskogo Federal'nogo issledovatel'skogo tsentra RAN] *Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences* [Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN]. 2022. No. 5 (109). pp. 158-169.
3. Dudakova D.S., Anokhin V.M., Dudakov M.O., Ronzhin A.L. On the theoretical foundations of aerolimnology: the study of fresh water bodies and coastal areas with the use of air robotic means [O teoreticheskikh osnovakh aerolimnologii: izucheniye presnykh vodoyemov i pribrezhnykh territoriy s primeneniym vozdushnykh robototekhnicheskikh sredstv] *Informatics and automation* [Informatika i avtomatizatsiya]. 2022. V. 21. No. 6. S. 1359-1393.
4. Ronzhin A.L., Dudakov M.O., Dudakova D.S. Conceptual and set-theoretic models of the problem of functioning and application of system engineering solutions for sampling bottom sediments [Kontseptual'naya i teoretiko-mnozhestvennaya modeli zadachi funktsionirovaniya i primeneniya sistemotekhnicheskikh resheniy dlya probotbora donnykh otlozheniy] *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematics. Mechanics. Physics* [Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Mekhanika. Fizika.] 2023. V. 15. No. 1. S. 43-54.
5. Rumyantsev V.A., Rybakov V.N., Rudsky I.V., Pavlova O.A., Kapustina L.L., Mitrukova G.G., Korovin A.N. The problem of regulation of toxigenic blooms in freshwater reservoirs [Problema regulyatsii toksigennogo tsveteniya presnovodnykh vodoyemov] *Water resources* [Vodnyye resursy] 2022. V. 49. No. 2. S. 238-248.
6. Astapova M., Saveliev A., Markov Y. Method for monitoring growth of microgreens in containers using computer vision in and infrared visible ranges [Method for monitoring growth of microgreens in containers using computer vision in infrared and visible ranges] *Smart Innovation, Systems and Technologies* [Smart Innovation, Systems and Technologies] 2022 Vol. 245. pp. 383-394.
7. Astapova M.A., Saveliev A.I. Optimization of the parameters of laser stimulation of the red spectrum of lettuce plants in greenhouses [Optimizatsiya parametrov lazernoy stimulyatsii krasnogo spektra rasteniy

- salata v zakrytom grunte] *Electrical technologies and electrical equipment in the agro-industrial complex* [Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK]. 2022. V. 69. No. 2 (47). pp. 3-11.
8. Astapova M.A., Lebedev I.V., Uzdyayev M.Yu. A method for constructing the trajectory of unmanned aerial vehicles for autonomous collection of visual data on damage to power lines in the infrared and ultraviolet spectra [Metodika postroyeniya trayektorii bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya avtonomnogo sbara vizual'nykh dannykh o povrezhdeniyakh liniy elektroperedach v infrakrasnom i ul'traioletovom spektrakh] *Modeling, optimization and information technologies* [Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii] 2023. Vol. 11. No. 1 (40). pp. 27-28.
 9. Saveliev A.I., Lebedeva V.V., Lebedev I.V., Kamynin K.V., Kuznetsov L.D., Ronzhin A.L. Management of the UAV group in the development of crisis flight situations in solving transport problems [Upravleniye gruppy BpLA pri otrabotke krizisnykh poletnykh situatsiy v reshenii transportnykh zadach] *Izvestiya SFedU. Technical science* [Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki] 2022. No. 1 (225). pp. 110-120.
 10. Yakovlev R.N., Rubtsova Yu.I., Erashov A.A. Comparative evaluation of approaches to determining the points of capture of objects by a robotic tool [Srvnitel'naya otsenka podkhodov k opredeleniyu toчек zakhvata ob'yektov robototekhnicheskim sredstvom] *Mechatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*. [Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye] 2021. V. 22. No. 2. S. 83-93.
 11. K. D. Krestovnikov, A. A. Erashov, Yu. Development of an interface device for a modular agricultural robotic platform [Razrabotka ustroystva sopryazheniya dlya modul'noy sel'skokhozyaystvennoy robototekhnicheskoy platformy] *Agricultural machines and technologies* [Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii] 2022. V. 16. No. 1. S. 78-88.
 12. Saveliev A.I., Krestovnikov K.D., Erashov A.A. Analysis of approaches to the functioning of an autonomous uninhabited vehicle and a surface vessel during joint missions [Analiz podkhodov k funktsionirovaniyu avtonomnogo neobitayemogo apparata i nadvodnogo sudna pri provedenii sovместnykh missiy] *Systems of Analysis and Data Processing* [Sistemy analiza i obrabotki dannykh] 2022. No. 4 (88). pp. 49-62.
 13. K. D. Krestovnikov, A. A. Erashov, and A. I. Saveliev, Russ. Approach to wireless battery charging of autonomous uninhabited underwater vehicles [Podkhod k besprovodnomu zaryadu akkumulyatornoy batarei avtonomnykh neobitayemykh podvodnykh apparatov] *Marine Intelligent Technologies* [Morskiye intellektual'nyye tekhnologii]. 2022. No. 4-1 (58). pp. 144-155.
 14. Ronzhin A.L., Zelentsov V.A., Bogomolov A.V., Kuleshov S.V. Technologies of visualization, processing of spatial data, monitoring and proactive management of the development of ecosystems in the North-West region [Tekhnologii vizualizatsii, obrabotki prostranstvennykh dannykh, monitoringa i proaktivnogo upravleniya razvitiyem ekosistem Severo-Zapadnogo regiona] *In the collection: Information technologies and high performance computing. Materials of the VI International Scientific and Practical Conference* [Informatsionnyye tekhnologii i vysokoproizvoditel'nyye vychisleniya. Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]. Editorial Board: R.V. Namm (responsible editor) [and others]. Khabarovsk, 2021. S. 207-213.

RESUME

A. L. Ronzhin

Intellectualization and Robotization of Domestic Scientific Equipment for Interdisciplinary Research

The growing technological localization and the need to implement the transfer of technologies and achievements of fundamental science to the country's economy actualizes the creation of our own experimental scientific equipment based on artificial intelligence technologies and robotic solutions.

This article provides a brief description of the results of systemic interdisciplinary research conducted at the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), aimed at developing scientific equipment, including information-measuring software and hardware for conducting internal fundamental and applied works, as well as bringing its functional and ergonomic characteristics to the level necessary for commercialization and market launch of industrial products.

Examples of developed intelligent technologies and robotic tools for solving agroecological problems are given. Pilot productions of electronics have been formed on the basis of their own technological base and the competencies of scientists from SPC RAS in the field of vertical farms, precision farming, aquaculture, aerolimnology and other interdisciplinary areas.

Conclusion: The developed scientific and educational equipment is used in the current research activities of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences and is operated by external organizations in project activities using artificial intelligence technologies and automated control systems.

РЕЗЮМЕ

А. Л. Ронжин

Интеллектуализация и роботизация отечественного научного оборудования для междисциплинарных исследований

Нарастающая технологическая локализация и необходимость реализации трансфера технологий и достижений фундаментальной науки в экономику страны актуализирует создание собственного экспериментального научного оборудования на основе технологий искусственного интеллекта и робототехнических решений. В данной статье приведено краткое описание результатов системных междисциплинарных исследований, проводимых в Санкт-Петербургском Федеральном исследовательском центре Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН), направленных на разработку научного оборудования, в том числе информационно-измерительного программно-аппаратного обеспечения для проведения внутренних фундаментальных и прикладных работ, а также доведения его функциональных и эргономических характеристик до уровня, необходимого для коммерциализации и вывода на рынок образцов промышленной продукции.

Приведены примеры разработанных интеллектуальных технологий и робототехнических средств для решения агроэкологических задач. Сформированы опытные производства электроники на основе собственной технологической базы и компетенций ученых СПб ФИЦ РАН в области вертикальных ферм, точного земледелия, аквакультуры, аэролимнологии и других междисциплинарных направлений.

Разрабатываемое научно-образовательное оборудование применяется в текущей исследовательской деятельности СПб ФИЦ РАН и эксплуатируется внешними организациями в проектной деятельности с применением технологий искусственного интеллекта и автоматизированных систем управления.

Статья поступила в редакцию 27.01.2023.