

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.199.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.05.2021 г. № 2

О присуждении Павлюку Никите Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Модели, алгоритмы, программные средства информационного и физического взаимодействия устройств модульной робототехнической системы» по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей» принята к защите 26 марта 2021 г., протокол № 1 диссертационным советом Д 002.199.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия ВО, дом 39, утвержден приказом Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 г. (с изменениями согласно приказам №574/нк от 15 октября 2014 г., № 386/нк от 27 апреля 2017 г., №748/нк от 12 июля 2017 г., №301/нк от 23 ноября 2018 г., №467/нк от 4 августа 2020 г., №804/нк от 16 декабря 2020 г.).

Соискатель Павлюк Никита Андреевич, 1990 года рождения, в 2012 г. окончил факультет вычислительных систем и программирования Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети». В 2019 году окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации

Российской академии наук по направлению «Информатика и вычислительная техника». Диплом об окончании аспирантуры № 107824 3757181 выдан в 2019 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Санкт-Петербургским институтом информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). В соответствии с приказами Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1399 от 18 декабря 2019 года и №768 от 08 июля 2020 года на базе СПИИРАН создано Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН). В настоящее время работает научным сотрудником в лаборатории автономных робототехнических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук».

Диссертация выполнена в лаборатории автономных робототехнических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор РОНЖИН Андрей Леонидович, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН), директор.

Официальные оппоненты:

АНДРЕЕВ Виктор Павлович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», профессор кафедры сенсорных и управляющих систем;

КОЛЮБИН Сергей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», профессор факультета систем управления и робототехники дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва в своем положительном отзыве, подписанном Прокоповым Николаем Ивановичем, первым проректором, Манько Сергеем Викторовичем, доктором технических наук, профессором, Лохиным Валерием Михайловичем, доктором технических наук, профессором, Карабутовым Николаем Николаевичем, доктором технических наук, профессором, указала, что в целом диссертационная работа Н.А. Павлюка представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью полученных результатов. Автором в диссертации сформулирована и решена важная научно-техническая задача повышения степени автоматизации процесса реконфигурации модульных робототехнических систем, имеющей важное значение для развития модульной робототехники.

Соискателем предложены концептуальная и теоретико-множественная модели реконфигурируемой модульной робототехнической системы, отличающиеся функциональной возможностью автоматического формирования последовательных и параллельно-последовательных конфигураций и обеспечивающие описание взаимодействия модульных робототехнических устройств в трехмерном пространстве, разработаны алгоритмы управления физическим соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств при построении связанных пространственных структур, разработан формат программного описания конфигураций модульных робототехнических систем, представляющий информацию о целевом положении первого устройства и порядке последующего соединения устройств с указанием параметров соединения, позволяющий представить базовые конфигурации модульных робототехнических систем, разработан комплекс программных средств управления соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств. Перечисленные выше достоинства работы подчеркивают важность практических приложений в данной области, и позволяют рекомендовать их дальнейшее исследование и внедрение в следующих организациях: Московском государственном техническом университете имени Н. Э. Баумана (г. Москва), Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова (г. Москва),

Санкт-Петербургском государственном университете (г. Санкт-Петербург), Санкт-Петербургском Государственном политехническом университете им. Петра Великого (г. Санкт-Петербург), Федеральном государственном бюджетном научном учреждении "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ", ОАО «Радиоавионика» и других профильных организациях. Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Диссертационное исследование «Модели, алгоритмы, программные средства информационного и физического взаимодействия устройств модульной робототехнической системы» является научно-квалификационной работой и соответствует критериям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемых к кандидатским диссертациям, а его автор Павлюк Никита Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Соискатель имеет 40 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 28 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 19 работ, из них опубликованных в изданиях, рекомендуемых ВАК – 3, индексируемых в WoS/Scopus – 12, имеется 2 патента на изобретение и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Основные научные результаты опубликованы в 28 научных трудах общим объемом 8,7 п.л., из которых объем личного вклада соискателя составляет 4,6 п.л. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. **Павлюк, Н.А.** Конструктивные и архитектурные решения для сервисной мобильной платформы со сменными компонентами / Н.А Павлюк, П.А. Смирнов, А.Д. Ковалев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 10. – С. 181-193. *Личный вклад соискателя – 65%.*
2. **Павлюк, Н.А.** Исследование устойчивости конструкции антропоморфного робота Антарес при воздействии внешней нагрузки / А.С. Кодяков, Н.А. Павлюк, В.Ю. Будков // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017. – Т. 18. – № 5. – С. 321-327. *Личный вклад соискателя – 70%.*
3. **Pavliuk, N.** Formation of modular structures with mobile autonomous reconfigurable system / N. Pavliuk, D. Pykhov, A. Saveliev, E. Cherskikh // Smart Innovation,

Systems and Technologies. 2020. Vol. 154. P. 383-395. *Личный вклад соискателя – 65%.*

4. **Pavliuk, N.A.** Connecting Gripping Mechanism Based on Iris Diaphragm for Modular Autonomous Robots / N.A. Pavliuk, P.A. Smirnov, A.V. Kondratkov, A.L. Ronzhin // ICR 2019: Interactive Collaborative Robotics. – 2019. – P. 260–269. *Личный вклад соискателя – 65%.*
5. **Павлюк, Н.А.** Моделирование опорной конструкции тазового механизма антропоморфного робота Антарес // Экстремальная робототехника. – 2017. – Т. 1. – № 1. – С.155–160

Оригинальность содержания диссертации составляет не менее 81% от общего объёма текста, включая самоцитирования; цитирование оформлено корректно; заимствованного материала, использованного в диссертации без ссылки на автора либо источник заимствования, не обнаружено; научных работ, выполненных соискателем учёной степени в соавторстве без ссылок на соавторов не выявлено. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах в диссертации отсутствуют.

На автореферат диссертации поступило 7 отзывов, все отзывы положительные:

1) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». Отзыв составил заведующий кафедрой «Теоретическая механика», доктор физико-математических наук, профессор Брискин Е.С. Замечания: не учитываются возможные отказы модулей или их частей в модели и алгоритме управления в процессе конфигурации МРС. Описанная МРС имеет централизованную структуру, что может стать причиной отказа МРС при повреждении центральных узлов.

2) ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет. Отзыв составил Директор центра цифровых технологий и робототехники, доцент кафедры электротехники и электрооборудования предприятий, кандидат технических наук, доцент Хлюпин П.А. Замечания: В заключении автореферата диссертации нарушено единообразие в изложении результатов исследования. Предложения в тексте автореферата диссертации излишне распространены, что затрудняет понимание материала. В тексте автореферата следует пересмотреть абзачное деление для более структурированного изложения материала.

3) ФГАОУ ВО "Казанский (Приволжский) федеральный университет". Отзыв составил профессор кафедры «Интеллектуальная робототехника», Высшая школа информационных технологий и интеллектуальных систем, кандидат технических наук Магид Е.А. Замечания: в автореферате не обосновывается выбор операционной системы ROS, не указаны используемые версии ROS и Gazebo, а также не обосновывается выбор конкретного семейства ArUco маркеров и их ID, которые имеют существенное влияние на вероятность правильного распознавания маркера при частичном перекрытии – несмотря на наличие довольно обширных современных исследований, сравнивающих различные семейства маркеров как в симуляторе Gazebo, так и в экспериментах с реальными робототехническими системами.

4) ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Отзыв составил заведующий кафедрой СМ-7 "Робототехнические системы и мехатроника" кандидат технических наук, профессор Серебряный В.В. Замечания: качество рисунков следует улучшить.

5) ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). Отзыв составил заведующий кафедрой вычислительной техники, доктор технических наук, профессор Куприянов М.С. Замечания: в тексте излишне часто встречаются прилагательные и распространенные причастные обороты, что создает трудности для хорошей читаемости материала исследования.

6) ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Отзыв составил директор высшей школы «Кибер-Физические Системы и Управление», доктор технических наук, профессор Шкодырев В.П. Замечания: в автореферате недостаточно подробно представлены выводы по главам диссертации, а в тексте присутствуют незначительные опечатки.

7) ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет». Отзыв составили ведущий научный сотрудник НИИ робототехники и процессов управления ЮФУ, доктор технических наук, доцент Медведев М.Ю. и старший научный сотрудник НИИ робототехники и процессов управления ЮФУ, кандидат технических наук, доцент

Мазалов А.А. Замечания: в автореферате во введении не обоснован выбор программной операционной системы Robot Operating System (ROS).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что д.т.н., профессор Андреев В.П. является известным ученым в области робототехники и кибернетики, сенсорных и управляющих систем; д.т.н., доцент, Колюбин С.А. – известный специалист в области динамики робототехнических систем, энергоэффективной робототехники и автоматического управления; ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "МИРЭА – Российский технологический университет", является известной как в России, так и за рубежом организацией в области исследований и разработок систем компьютерной безопасности, электроники, радиотехники и робототехники, кроме того, широко известны достижения ее ведущих научных школ академика Макарова И.М. и профессора Лохина В.М. в области управления робототехническими системами и технической кибернетики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

оригинальные алгоритмы управления физическим соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств при построении связанных пространственных структур, отличающиеся оценением необходимых и доступных ресурсов, синхронизированным управлением отдельными структурными единицами на этапе их передвижения к месту сборки, соединению устройств между собой, а также возможностью реконфигурации в процессе автономного функционирования всей структуры модульной робототехнической системы при решении предметно-ориентированных задач;

формат программного описания конфигураций модульных робототехнических систем, представляющий информацию о целевом положении первого устройства и порядке последующего соединения устройств с указанием параметров соединения,

позволяющий представить базовые конфигурации модульных робототехнических систем;

комплекс программных средств управления соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств, отличающийся применением системы компьютерного зрения, использующей маркеры дополненной реальности для осуществления контроля над отдельными устройствами в процессе их движения и пространственной ориентации, позволяющей управлять масштабируемыми модульными робототехническими системами, используя внешние беспроводные средства передачи данных;

предложены концептуальная и теоретико-множественная модели реконфигурируемой модульной робототехнической системы, отличающиеся функциональной возможностью автоматического формирования последовательных и параллельно-последовательных конфигураций и обеспечивающие описание взаимодействия модульных робототехнических устройств в трехмерном пространстве;

доказана результативность использования предложенных алгоритмов управления соединением и взаимодействием модульных робототехнических устройств, формат программного описания конфигураций модульных робототехнических систем, представляющем информацию о целевом положении первого устройства и порядке последующего соединения устройств с указанием параметров соединения, позволяющий представить базовые конфигурации модульных робототехнических систем;

введены:

набор параметров модульного робототехнического устройства, необходимых для формирования конфигураций, а также описание сторон устройств, используемых при построении конфигурации;

описание трех базовых конфигураций модульных робототехнических систем: Н-образная конфигурация (НК), последовательная конфигурация (ПК), Н-образно-последовательная конфигурация (НПК);

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны сформулированные в работе теоретические утверждения с использованием формальных математических доказательств. Эти утверждения составляют основу процесса построения алгоритмов управления физическим и информационным взаимодействием модульных робототехнических устройств в процессе реконфигурации и построении базовых конфигураций;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы теории информации, теории множеств, теории передачи данных, теории распределенных систем, цифровой обработки сигналов;

изложены технологические основы контактного соединения гомогенных модульных робототехнических устройств в единые конструкции в трёхмерном пространстве;

раскрыты:

проблемные аспекты применения имеющихся подходов в области автоматизации и автономности модульных робототехнических систем, работа которых должна осуществляться без вмешательства пользователей-операторов;

основные вопросы, связанные с универсальностью и применимостью существующих модульных робототехнических систем, их программного, аппаратного и модельно-алгоритмического обеспечения;

изучены существующие методы и подходы, применяемые в модельно-алгоритмическом и программно-аппаратном обеспечении модульных робототехнических систем;

проведена модернизация существующих методов построения алгоритмов и систем управления модульными робототехническими системами, использующих гомогенные модульные робототехнические устройства.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены следующие результаты диссертационной работы:

- концептуальная и алгоритмическая модели модульной робототехнической системы МАРС, отличающейся функциональной возможностью автоматического формирования последовательных и параллельно-последовательных конфигураций, применением маркеров дополненной реальности, которые позволяют автономно

строить три типа базовых конфигураций для различных практических приложений: грузовая платформа, манипулятор и шагающая конфигурация;

- алгоритмы физического соединения и информационного взаимодействия гомогенных модульных робототехнических устройств при построении связанных пространственных структур, отличающиеся оценением необходимых и доступных ресурсов, синхронизированным управлением отдельными структурными единицами на этапе их передвижения к месту сборки, их стыковки между собой;

- программные средства управления соединениями и информационного взаимодействия гомогенных модульных робототехнических устройств, отличающаяся применением внешних беспроводных средств передачи данных, системы видеомониторинга.

- методика тестирования модульных робототехнических систем, включающая алгоритмы функционального тестирования и набор тестов, оценивающих потребляемые ресурсы при нагрузочном тестировании;

указанные модельно-алгоритмическое обеспечение и алгоритмы управления модульными робототехническими системами использованы при проведении НИР, выполняемых в ОАО «Радиоавионика», КБНЦ РАН и СПб ФИЦ РАН по гранту РФФИ № 16-29-04101 офи_м «Технологические основы управления попарными соединениями гомогенных роботов при конфигурировании роя в трёхмерные формы», 2016-2019 гг, по гранту РФФИ № 19-08-01215 А «Теоретические основы двунаправленной беспроводной передачи энергии и алгоритмы построения автоматического перераспределения энергоресурсов в группе роботов», 2019-2020 гг, по гранту РФФИ № 17-58-04110 Бел_мол_а «Моделирование и разработка энергоэффективных решений задач кинематики и динамики шагающих роботов», 2016-2019 гг, по гранту РФФИ № 18-58-76001 ЭРА_а «Стратегии совместной деятельности гетерогенных роботов, контролируемой с помощью интуитивно понятных человеко-машинных интерфейсов, при решении сельскохозяйственных задач», 2016-2019 гг., по гранту РФФИ № 20-79-10325 «Разработка принципов и подходов к адаптивному управлению автономными мобильными киберфизическими системами в условиях изменяющегося окружения», 2020-2022 гг, по гранту РФФИ № 20-08-01109 А «Разработка подхода к выбору

оптимальных формаций модульных робототехнических систем исходя из геометрических характеристик внешнего окружения», 2020-2022 гг. Внедрены в учебный процесс института инновационных технологий в электромеханике и робототехнике СПб ГУАП при подготовке специалистов по направлению: 27.03.04 (220400) – «Управление в технических системах» при выполнении дипломного проектирования, в лекционном материале и лабораторном практикуме учебных курсов «Методы искусственного интеллекта», «Робототехнические системы»;

определены возможности и перспективы практического использования полученных результатов диссертации при разработке автономных модульных робототехнических систем;

создан формат программного описания конфигураций модульных робототехнических систем;

представлены предложения и направления для дальнейших научных исследований, в основу которых могут быть положены разработанные модельно-алгоритмические и программно-аппаратные решения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ достоверность полученных результатов подтверждена проведением всестороннего анализа работ по исследуемой проблеме, корректным применением научно-методического аппарата в виде использованных методов и теорий, апробацией основных результатов диссертации в печатных трудах и докладах на международных и всероссийских конференциях, положительными итогами практической реализации результатов работы, апробацией полученных результатов на прототипах модульных роботов;

теория построена на известных принципах, проверенных данных и фактах с использованием современных известных и апробированных методов исследования, согласуется с опубликованными частными результатами других исследователей;

идея базируется на анализе работ отечественных и зарубежных исследователей в области модульной робототехники, основанных на задачах по автономному взаимодействию робототехнических устройств;

использованы полученные характеристики для сравнения с данными, приведенными в современной научной литературе по модульной робототехнике;

установлено качественное соответствие результатов решения задачи повышения степени автоматизации процесса реконфигурации модульных робототехнических систем. При этом подтверждено преимущество предложенного подхода перед результатами, полученными другими авторами.

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, представительные выборочные совокупности с обоснованием подбора объектов (единиц) наблюдения и измерения и т.п.

Личный вклад соискателя состоит в:

- анализе современного состояния дел в области модульной робототехники, степени автоматизации процессов взаимодействия робототехнических устройств между собой;
- исследовании и классифицировании существующих модульных роботов, их модельно-алгоритмического и программно-аппаратного обеспечения;
- постановке задачи разработки модельно-алгоритмического и программно-аппаратного обеспечения синхронизированного централизованного управления группой модульных робототехнических устройств;
- разработке и обосновании формата программного описания конфигураций модульных робототехнических систем, представляющего информацию о целевом положении первого устройства и порядке последующего соединения устройств с указанием параметров соединения, позволяющего представить базовые конфигурации модульных робототехнических систем;
- рассмотрении возможных сценариев применения модульных робототехнических систем в качестве грузовых платформ, манипуляторов и шагающих машин;
- разработке алгоритмов управления физическим соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств при построении связанных пространственных структур;
- разработке концептуальной и теоретико-множественной моделей реконфигурируемой модульной робототехнической системы;

- разработке комплекса программных средств управления соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств;
- подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертационный совет считает, что в соответствии с требованиями п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемыми к кандидатским диссертациям, и пп. 3 и 8 паспорта научной специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, Павлюк Н.А. в своей диссертационной работе решил научно-техническую задачу повышения степени автоматизации процесса реконфигурации модульных робототехнических систем, имеющей важное значение для развития модульной робототехники.

На заседании 27.05.2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Павлюку Н.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 19, против нет, недействительных бюллетеней 1.

Зам. председателя диссертационного совета

доктор технических наук

профессор

Смирнов Александр Викторович

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат технических наук

Абрамов Максим Викторович

27.05.2021 г.