

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.206.01,
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 18.04.2024 г. № 1

О присуждении Крестовникову Константину Дмитриевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Алгоритмы и программная система управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов» по специальности 2.3.5. «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей» принята к защите 13 февраля 2024 г., протокол заседания № 2, диссертационным советом 24.1.206.01, созданным 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 В.О., 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., №561/нк от 03 июня 2021г., №384/нк от 19 апреля 2022г.).

Соискатель Крестовников Константин Дмитриевич, «4» августа 1995 года рождения, в 2023 г. окончил очную аспирантуру в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» по направлению подготовки 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника. Диплом об окончании аспирантуры 107805 0002215 выдан 29 июня 2023 г. В настоящее время

Крестовников Константин Дмитриевич работает младшим научным сотрудником лаборатории автономных робототехнических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

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

Научный руководитель – кандидат технических наук САВЕЛЬЕВ Антон Игоревич, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» лаборатория автономных робототехнических систем, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории.

Официальные оппоненты:

БРИСКИН Евгений Самуилович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», кафедра «Динамика и прочность машин», профессор;

ДАЛЯЕВ Игорь Юрьевич, кандидат технических наук, Федеральное государственное автономное научное учреждение «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК), главный конструктор по экстремальной робототехнике и автоматизации.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, г. Москва в своем положительном отзыве, подписанным Скворцовым Павлом Аркадиевичем, кандидатом технических наук, ученым

секретарем научно-технического совета, Алёшиным Александром Константиновичем, доктором технических наук, заместителем председателя научно-технического совета, и утвержденным Ерофеевым Михаилом Николаевичем, доктором технических наук, профессором, заместителем директора института по научной работе, указала, что в целом диссертационная работа К.Д. Крестовникова представляет собой завершённую 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 расширения территории функционирования и снижения затрат времени на выполнение целевых задач группой роботов.

Соискателем разработан новый комплекс алгоритмов, обеспечивающий управление группой роботов с перераспределением энергетических ресурсов, и программно-аппаратное обеспечение для реализации предлагаемого подхода. Представлена практическая реализация предложенных моделей и алгоритмов в программной системе. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Результаты, полученные в данной работе, рекомендуется внедрить в образовательные учреждения, специализирующиеся на управлении в технических системах и робототехнике, такие как Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, а также имеющие направление системного программирования, такие как Санкт-Петербургский государственный университет. Диссертационная работа Крестовникова Константина Дмитриевича «Алгоритмы и программная система управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов» удовлетворяет требованиям пп.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 (в редакции Постановления Правительства РФ от 26.10.2023 № 1786), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор работы Крестовников К.Д. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Соискатель имеет 43 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 18 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 10 работ, индексируемых в Scopus/WoS — 8. Имеется 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и 2 патента на изобретение

Основные научные результаты опубликованы в 18 научных трудах общим объемом 13,88 п.л., из которых объем личного вклада соискателя составляет 5,84 п.л. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. **Крестовников К.Д.** Математическая модель и алгоритмы управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов / К.Д. Крестовников // Информационно-управляющие системы. 2023. № 6, С. 20-34. DOI: 10.31799/1684-8853-2023-6-20-34. *Личный вклад соискателя – 100%*
2. **Крестовников К.Д.** Алгоритмы управления двунаправленной беспроводной системой передачи энергии при перераспределении энергоресурсов в группе наземных роботов / К.Д. Крестовников // Мехатроника, автоматизация, управление. 2023. Т. 24, № 9, С. 451-461. DOI: 10.17587/mau.24.481-488. *Личный вклад соискателя – 100%*
3. **Krestovnikov K.** Approach to Choose of Optimal Number of Turns in Planar Spiral Coils for Systems of Wireless Power Transmission / K. Krestovnikov, E. Cherskikh, A. Bykov // Elektronika ir Elektrotechnika. 2020 №26(6), 17-24. DOI: 10.5755/j01.eie.26.6.2618. *Личный вклад соискателя – 35%*
4. **Krestovnikov K. D.** Development of the structure and circuit solution of a bidirectional wireless energy transmission system for swarm robots / K. Krestovnikov, E. Cherskikh // Serbian Journal of Electrical Engineering. 2021. vol. 18. No. 2. P. 171-192. DOI: 10.2298/SJEE2102171K. *Личный вклад соискателя – 50%*
5. **Крестовников К.Д.** Математическая модель роевой робототехнической системы с беспроводной двусторонней передачей энергии / К.Д. Крестовников, А.Р. Шабанова, А.Д. Ковалёв // Труды Научно-исследовательского института радио. 2020. № 1-2. С. 64-73. DOI: 10.34832/NIIR.2020.1.1.007. *Личный вклад соискателя – 35%*
6. **Крестовников К.Д.** Метод оценки времени беспроводной передачи энергетических ресурсов между двумя роботами / А.А. Ерашов, К.В. Камынин,

К.Д. Крестовников, А.И. Савельев, // Информатика и автоматизация. 2021. Т. 20(6), С.1279-1306. DOI: 10.15622/ia.20.6.4. *Личный вклад соискателя – 25%*

Оригинальность содержания диссертации составляет не менее 91% от общего объёма текста (включая самоцитирование); 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 диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов, все отзывы положительные:

1. ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет». Отзыв составил ведущий научный сотрудник, д.т.н., доцент Медведев М.Ю. Замечания: целью диссертации, согласно автореферату, является снижение временных затрат и расширение территории функционирования группы роботов. Однако при проведении экспериментальных исследований измерялись среднее расстояние до задачи и радиус функционирования группы. Если радиус функционирования группы коррелирует с территорией функционирования, то выбор среднего расстояния до задачи не вполне ясен. На первый взгляд, время выполнения задачи более подходящий параметр для оценки временных затрат.
2. ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Отзыв составил заведующий кафедрой СМ-7 «Робототехнические системы и мехатроника», к.т.н., доцент Серебряный В.В. Замечания: в автореферате отсутствует описание используемых способов решения основной задачи управления группой роботов, которые также влияют на энергопотребление; недостаточно обосновано применение предлагаемого способа бесконтактной зарядки аккумуляторов роботов-исполнителей; не рассмотрены энергозатраты роботов на выполнение конкретных рабочих операций, а также возможности использования гетерогенных

робототехнических комплексов; в автореферате не нашли отражения вопросы обеспечения автономной навигации мобильных роботов, которые также требуют определенных энергозатрат.

3. ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук. Отзыв составил ведущий научный сотрудник лаборатории 80, д.т.н., профессор Хрипунов С.П. Замечания: сомнительным представляется заявление о том, что перераспределение энергии ресурсов между роботами обеспечивает расширение территории рабочего пространства, доступного для группы; отдельные формулировки задач и положений, отражающих научную новизну, представленные в автореферате недостаточно точно отражают фактическое содержание выполненных в работе исследований и полученных результатов; в положениях, выносимых на защиту, не отмечены результаты апробации разработанных моделей и алгоритмов; в автореферате недостаточно убедительно представлено обоснование важности задачи обмена энергетическими ресурсами для повышения эффективности реализации потенциала группы роботов в сравнении с другими возможными способами; приведенная в автореферате система принятых допущений ограничивает область практических приложений предложенных в работе подходов; из рисунка 5 автореферата (блок-схема алгоритма функционирования робота из группы) не ясно, что является индикаторами состояний «Миссия получена?» и «Миссия завершена?»; в автореферате не приводится аргументация необходимости учета 3-х координат в рабочем пространстве наземных роботов; предложенное в автореферате централизованное управление не гарантирует высокой надежности организации групповых действий роботов.
4. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». Отзыв составил профессор Высшей школы «Управление в киберфизических системах» д.т.н., профессор Шкодырев В.П. Замечания: в автореферате недостаточно четко прописан и иллюстрирован формальный критерий эффективности стратегии и алгоритмов достижения цели

группового управления. Выбор в качестве целевого параметра эффективности только временного параметра - времени, затрачиваемого на достижение цели группового взаимодействия (стр.14-14 AP), не отражает влияния на эффективность группового управления многих других факторов; недостатком автореферата представляется также несколько ограниченный объем экспериментальных данных, подтверждающих достоверность как расчетной модели объекта управления - группы взаимодействующих роботов (с учетом их динамики, влияния пропускной способности каналов информационного взаимодействия, последствия сбоев в каналах и т.д.), так и оптимальность «плана распределения роботов на целевые задачи с учетом возможного перераспределения ограниченных ресурсов».

5. АНО ВО «Университет Иннополис». Отзыв составил научный руководитель центра технологий компонентов робототехники и мехатроники д.ф.-м.н. Малолетов А.В. Замечания: из текста автореферата не ясно как учитываются перепады высот в задаче имитационного моделирования. В таблице 1 указаны энергозатраты «на перемещение», но без учёта движется ли робот по горизонтальному участку или по наклонному. Не ясны так же параметры рельефной поверхности, задаваемой в среде моделирования Gazebo. В численных экспериментах не рассмотрены вопросы влияния неровностей на время выполнения задачи группой роботов; из текста автореферата осталось также неясным как осуществляется оценка требуемых затрат энергии при планировании движения роботов группы. По-видимому, при планировании не учитывается возможность ошибок при оценке энергозатрат и не рассматриваются алгоритмы действий в случае, если реальные энергозатраты окажутся больше, чем планировалось; к сожалению, автором допущены некоторые неаккуратности при описании формул: в ряде случаев определение использованных в формулах величин даётся значительно дальше по тексту после их первого использования, а для некоторых величин определение найти так и не удалось.

6. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет». Отзыв составил доцент кафедры «Электротехника и электрооборудование предприятий», к.т.н. Хлюпин П.А. Замечания: из автореферата недостаточно очевидно, почему выбрана система бесконтактного заряда, так как она приведет к увеличению мощности робота-заряжающего; в структурной схеме на рисунке 6 отражены не все функциональные блоки; в автореферате не представлены данные о влиянии уровня заряда робота-заряжающего.
7. ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова». Отзыв составили доцент кафедры «Мехатронные системы», к.т.н. Клековкин А.В, и доцент кафедры «Мехатронные системы» д.т.н. Караваев Ю.Л. Замечания: Из текста автореферата не ясно как были получены числовые параметры в уравнениях (27), (28), описывающих эффективность передачи энергии между катушками в БСПЭ; в предложенной системе подразумевается, что заранее известна карта высот местности на которой функционируют роботы, однако в реальности это может выполняться далеко не всегда; на рисунке 10 красный цвет графика используется для системы роботов с перераспределением ресурсов, а синий цвет графика для системы без перераспределения ресурсов. На рисунке 11 наоборот - красный цвет графика для системы без перераспределения, а синий - с перераспределением.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что доктор физико-математических наук, профессор Брискин Е.С. является известным ученым в области управления движением наземных роботов, механических систем в робототехнике, моделей и методов управления роботами и оценки эффективности их функционирования; к.т.н. Даляев И.Ю. – известный специалист в области алгоритмов управления и планирования задач робототехнических комплексов в сложных и экстремальных условиях, систем управления и сенсорных систем роботов, реконфигурируемых и мобильных роботов; ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской

академии наук, является известной как в России, так и за рубежом организацией в области автоматизации, механики, управления машинами и сложными динамическими системами; кроме того, широко известны достижения ее специалистов в области робототехники и группового управления роботами.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана комплекс программных средств и архитектура программной системы управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов на маршрутах движения при выполнении целевых задач;

предложены

комплекс программных средств группового централизованного управления наземными роботами, 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;

новая математическая модель управления группой наземных роботов, отличающаяся условиями решения задачи, учитывающая перераспределение энергетических ресурсов между роботами и оптимизирующая выполнение целевых задач;

новые программно-аппаратные решения для реализации двунаправленной беспроводной системы передачи энергии, основанной на индуктивно связанных параллельных резонансных контурах, состоящей из двух функциональных частей, каждая из которых может осуществлять прием и передачу энергии и имеет идентичную принципиальную схему, отличающейся тем, что частотоподающим контуром резонансного автогенератора является передающий резонансный контур;

программные средства управления и мониторинга параметров двунаправленной беспроводной системы передачи энергии для эксплуатации в составе распределенной системы управления робота, учитывающие специфику разработанных схемотехнических решений;

новый алгоритм поиска точек заряда на траекториях движения роботов, позволяющий находить наиболее ровные участки в ограниченном диапазоне точек

траектории, где целесообразно пополнить ресурсы робота-рабочего, а также рассчитывать количество энергии, которое необходимо передать роботу-заряжающему;

архитектура киберфизической системы управления группой наземных роботов, отличающаяся применением нескольких шин данных, осуществляющих соединение модулей системы управления группой роботов, модулей отдельного наземного робота и информационный обмен между ними; наличием модуля определения координат точек энергетического обмена между рабочим и заряжающим роботом;

доказана перспективность использования подхода к управлению группой роботов с перераспределением энергетических ресурсов при решении целевых задач на открытой местности с переменным рельефом

введены

классификация способов повышения эффективности использования ресурсов группой;

классификация способов обмена электрической энергией между роботами группы;

набор параметров роботов и среды функционирования необходимых для реализации управления группой с перераспределением ресурсов;

состояния функционирования роботов-рабочих и роботов-заряжающих при совместном выполнении целевых задач;

аналитические зависимости между геометрическими параметрами контурных катушек и эксплуатационными характеристиками беспроводной системы передачи энергии

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны сформулированные в работе теоретические утверждения с использованием формальных математических доказательств и имитационного моделирования. Эти утверждения составляют основу построения алгоритмов управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов при выполнении целевых задач, а также обуславливают физическое и

информационное взаимодействие между роботами и централизованной системой управления;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы теории информации, программной инженерии, аппарат и методы алгебры, теории множеств, методы математического и имитационного моделирования, технологии построения распределенных систем;

изложены

принципы функционирования роботов-рабочих и роботов-заряжающих в составе функционально разделенной группы наземных роботов;

технологические основы реализации обмена энергетическими ресурсами между роботами группы.

раскрыты

проблемные аспекты применения имеющихся подходов в области управления энергетическими ресурсами в группах роботов при выполнении целевых задач;

принципы разделения гомогенной группы роботов по функциональному признаку;

принципы построения архитектуры программной системы централизованного управления группой роботов с предварительным планированием миссий;

потенциальные ограничения разработанного подхода к функционированию группы роботов с перераспределением энергетических ресурсов.

изучены

существующие подходы к управлению энергетическими ресурсами в группе роботов;

методы распределения целевых задач и определения местоположений сервисного энергетического обслуживания роботов с учетом перераспределения энергетических ресурсов;

подходы и технические средства перераспределения энергетических ресурсов между роботами.

проведена модернизация

существующих алгоритмов и принципов построения системы управления гомогенной группой наземных роботов;

алгоритма конечного позиционирования, робота-заряжающего относительно робота-рабочего для передачи энергии в точке заряда.

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

разработаны и внедрены следующие результаты диссертационной работы:

- математическая модель и программная система управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов (использованы при проведении НИР Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (КБНЦ РАН), Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, Калининградского государственного технического университета;

- комплекс программных средств группового централизованном управления наземными роботами, с реализацией процессов перераспределения энергетических ресурсов на маршрутах движения (использованы при проведении НИР ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», внедрены в проектах ООО «РУФИЛМС ИННОВЕЙШЕН»);

- программные и технические решения, реализующие управление и взаимодействие наземных роботов (внедрены в проектах ООО «РУФИЛМС ИННОВЕЙШЕН» для реализации материально-технического обеспечения образовательного онлайн-курса наземной робототехники, включая наземные робототехнические платформы, использующиеся для демонстрации возможностей группового управления робототехническими средствами);

- алгоритм конечного позиционирования, основанный на применении системы технического зрения (использованы при проведении НИР Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН), ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»);

- система беспроводной передачи энергии, обеспечивающая снижение требований к точности позиционирования роботов (использованы при проведении НИР Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской

академии наук (СПб ФИЦ РАН), ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»);

определены возможности и перспективы практического использования полученных результатов диссертации при реализации управления группой наземных роботов на основе предлагаемого принципа с перераспределением энергетических ресурсов; эксплуатационные ограничения двунаправленной беспроводной системы передачи энергии при применении для обмена ресурсами между роботами;

создана программная система управления группой, реализующая перераспределение энергетических ресурсов на маршрутах движения роботов-рабочих при выполнении миссий, формируемых на основе параметров роботов и целевых задач;

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 апробацией результатов диссертации в печатных трудах и докладах на профильных конференциях, апробацией разработанных решений в моделирующей среде и посредством физического моделирования;

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 групповой и роевой робототехники, подходов к оптимальному распределению задач, направлению методов и технических средств для реализации передачи энергии между роботами;

использованы параметры потребления энергии реальных наземных роботов в различных режимах функционирования для получения высокого уровня соответствия результатов имитационного моделирования реальному процессу и получения статистически значимых результатов;

установлено качественное и количественное соответствие результатов решения задачи снижения затрат времени и расширения территории функционирования группы роботов. При этом подтверждено преимущество предложенного подхода перед результатами, полученными другими авторами.

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации при систематизации эксплуатационных характеристик двунаправленной беспроводной системы передачи энергии и параметров энергопотребления наземных роботов.

Личный вклад соискателя состоит в:

- анализе исследований в области управления ресурсами в группах роботов, подходов и технических средств перераспределения энергетических ресурсов между роботами;
 - разработке математической модели и алгоритмов функционирования группы наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов;
 - разработке программно-аппаратного и алгоритмического обеспечения двунаправленной беспроводной системы передачи энергии для эксплуатации в составе распределённой системы управления робота;
 - разработке архитектуры и модулей программной системы управления группой наземных роботов;
- постановке экспериментов и обработке результатов, также их публикации;

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- в диссертационной работе не рассматривается вопрос об оптимальном по тому или иному критерию соотношении между количеством роботов-рабочих и роботов-заряжающих;
- не рассмотрены энергозатраты роботов на выполнение конкретных рабочих операций, а также возможности использования гетерогенных робототехнических комплексов;
- в тексте часто говорится про эффективное выполнение целевых задач роботами-рабочими, однако критерии эффективности не приведены.

Соискатель Крестовников К.Д. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

- оптимальное соотношение между количеством роботов-заряжающих и роботов-рабочих в группе не рассматривалось в рамках разработки базового подхода. Оптимальное соотношение рабочих и заряжающих роботов будет существенно зависеть от параметров роботов, среды функционирования и параметров целевых задач. Разработка такого подхода является отдельным объемным исследованием, которое может являться продолжением исследований, представленных в диссертационной работе.

- в диссертационной работе рассматривается энергопотребление реального наземного робота, разработанного в лаборатории и оборудованного двунаправленной беспроводной системой передачи энергии в различных режимах функционирования. Измеренные значения энергопотребления переведены в относительные единицы и использованы при моделировании. Целевые задачи рассматриваются со стороны энергетических ресурсов необходимых для их выполнения. В гетерогенной группе подразумевается, что роботы-заряжающие могут существенно отличаться конструктивно от роботов-рабочих, и в соответствии со своим назначением оборудоваться дополнительным источником энергии. В этом случае группа, функционирующая на основе предлагаемых принципов, покажет сравнительно лучшие результаты, за счет того, что заряжающий робот сможет пополнить ресурсы более чем одного робота-рабочего.

- под эффективным выполнением целевых задач группой роботов подразумевается выполнение максимального числа целевых задач с учетом их важности за допустимое время, что показывает целевая функция (1) и ограничения (2)-(7) в автореферате. В ряде случаев если задачи имеют одинаковую важность, можно использовать целевую функцию (8) в автореферате.

На заседании 18.04.2024 г. диссертационный совет принял решение за разработку математического и программного обеспечения для решения научно-технической задачи расширения территории функционирования и снижения затрат времени на выполнение целевых задач группой роботов, имеющие существенное

значение для развития страны, присудить Крестовникову К.Д. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 17, против 1, недействительных бюллетеней 1.

Заместитель председателя диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор РАН

Ронжин Андрей Леонидович

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук

Абрамов Максим Викторович

18.04.2024 г.