Отзыв научного руководителя на диссертацию

Тузикова Александра Михайловича

«Математическое моделирование управляемого движения сферического робота с электромагнитным приводом»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа направлена на создание на основе современных достижений механики, электродинамики, теории оптимального управления и выпуклой оптимизации новых математических моделей и алгоритмов управления движением сферического робота с электромагнитным приводом, обеспечивающих его всенаправленное движение по произвольным неровным поверхностям при условии ограниченности управления. Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью преодоления ограничений традиционных приводов сферических роботов (маятниковых, роторных, колёсных, деформируемых) и растущим спросом на автономные робототехнические системы для работы в экстремальных средах. Предложенный в работе электромагнитный привод, основанный на взаимодействии постоянных магнитов на внешней и электромагнитов на внутренней концентрических сферических оболочках, позволяет обеспечить бесконтактную передачу момента, высокую плавность движения и защищённость внутренних механизмов. Поэтому актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

Полученные в диссертации результаты являются новыми и, на мой взгляд, вносят существенный вклад в математическое моделирование и теорию управления динамическими системами. В числе основных результатов – новая математическая модель квазистационарного электромагнитного взаимодействия магнитов на подвижных сферических оболочках, включая выражения для индукции магнитного поля цилиндрического постоянного магнита и силы взаимодействия с электромагнитом. На основе уравнений изменения импульса и момента импульса, модели поликомпонентного сухого трения Контенсу-Журавлёва и условия безотрывного движения выведена система дифференциальных уравнений движения сфероробота по неровной поверхности. Для синтеза управления использована линеаризация уравнений динамики в окрестности эталонной траектории и обобщённая H_2-норма. Задача сведена к последовательности задач полуопределённого программирования. Отдельным важным результатом является решение задачи рационального размещения магнитов на сферических оболочках: на основе требований равномерности покрытия сферы, углового расстояния между магнитами,

чередования полярностей и отсутствия «мёртвых зон» выбраны ромбоиксододекаэдр для постоянных магнитов и усечённый октаэдр для электромагнитов, что обеспечивает возможность генерации управляющего момента в произвольном направлении.

Я считаю, что с поставленными задачами диссертант справился весьма успешно. Сама диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложения.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определены цели и задачи, аргументирована научная новизна и практическая значимость работы, выделены выносимые на защиту положения, приведены сведения об апробации результатов и публикациях, дано краткое изложение диссертации по главам.

Первая глава диссертационной работы посвящена обзору истории развития, областей применения, конструкций приводов и методов управления сферическими роботами. В главе систематизированы существующие подходы к реализации приводов сфероботов, проведён анализ их преимуществ и недостатков, обоснована необходимость разработки электромагнитного привода и новых алгоритмов управления.

Вторая глава посвящена построению математической модели сферического робота с электромагнитным приводом. В ней получены выражения для магнитного поля постоянного магнита и силы Ампера, действующей на электромагнит, выведены общие уравнения движения робота по неровной поверхности с учётом сухого трения и условия безотрывного движения. Сформулирована двухкритериальная задача оптимального управления, сведённая к задачам полуопределённого программирования, и решена задача восстановления электрических токов и напряжений в обмотках. Результаты опубликованы в 2 статьях из списка ВАК, а также в 2 статьях, индексируемых в Scopus, и неоднократно докладывались на конференциях и семинарах.

Третья глава посвящена оптимальному размещению магнитов на сферических оболочках. В главе сформулированы требования к конфигурации привода, обоснован выбор вершинно-транзитивных многогранников с кубической или икосаэдрической симметрией, проведено сравнение кандидатов и выбраны ромбоиксододекаэдр (60 постоянных магнитов) и усечённый октаэдр (24 электромагнита). Численно подтверждено отсутствие «мёртвых зон» и возможность генерации момента в произвольном направлении. Результаты опубликованы в работе, индексируемой в Scopus, и докладывались на конференции и семинаре.

Четвёртая глава посвящена компьютерному моделированию динамики сферического робота. В главе описан разработанный программный комплекс, реализованный в MATLAB и прошедший государственную регистрацию, приведены параметры робота и условия

экспериментов, проведены численные эксперименты по движению сфероробота по прямой, преодолению сфероробота препятствия, коррекции бокового смещения и трёхмерному движению сфероробота по неровной поверхности. Численные результаты подтверждают работоспособность предложенной модели и алгоритмов управления. Результаты опубликованы в 3 работах, в том числе в журналах, индексируемых в Scopus, и докладывались на международных конференциях и семинаре.

А.М. Тузиков активно занимается темой математического моделирования и оптимального управления движением динамических систем, в частности сферических роботов. Он принимал участие в работе по проекту Российского научного фонда «Многокритериальное минимаксное управление с приложениями к задачам оптимальной виброзащиты, роторной динамики и мобильной робототехники» (проект № 24-11-20023, сроки выполнения 2024-2026 гг.), а также в выполнении в 2024 году хоздоговорных НИР, посвященных математическому моделированию управляемого движения протезной системы нижних конечностей. В работе над диссертацией, как и при выполнении указанных НИР, А.М. Тузиков всегда проявлял полезную инициативу и значительную изобретательность в решении исследовательских задач.

Считаю, что диссертационная работа А.М. Тузикова удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук, профессор
направления «Математическая робототехника»
Научного центра информационных технологий
и искусственного интеллекта
Автономной некоммерческой образовательной
организации высшего образования
«Научно-технологический университет «Сириус»»

Баландин Дмитрий Владимирович

22.10.2026

Подпись Баландина Д.В.
заверяю

Руководитель группы по работе с НПР АНОО ВО «Университет «Сириус»

Косуля И.С.

22.10.2026