

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Институт

машинovedения им. А.А. Благонравова
Российской академии наук (ИМАШ РАН)

д.т.н., профессор

Ерофеев М.Н.



«30» апреля 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Блинова Александра Олеговича на тему

«УПРАВЛЯЕМЫЕ СИСТЕМЫ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С ИЗМЕНЯЕМОЙ
ГЕОМЕТРИЕЙ В АНТРОПОИДНЫХ УСТРОЙСТВАХ»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин.

Актуальность. Исследование динамики управляемых систем твердых тел с изменяемой геометрией применительно к антропоморфным устройствам в настоящее время является важным направлением в науке и технике. Внимание к подобным мехатронным устройствам является следствием практических потребностей нынешнего поколения людей. На предприятиях обширно внедряются роботизированные линии, реализующие сложные двигательные функции звеньев-манипуляторов. Антропоморфные роботы необходимы там, где невозможен проезд колесной техники. Разработки новых моделей позволят создать экзоскелеты со звеньями, изменяющими свою длину, достаточно близко имитирующими движения опорно-двигательного аппарата человека. Практические применения экзоскелетов широки. Это облегчение труда работников в сфере медицины, промышленности, строительстве, сельском хозяйстве и работников складов. В медицине и спорте при реализации тренировочных и реабилитационных процессов. Результаты создания моделей управляемых систем твердых тел с изменяемой геометрией в виде антропоморфных устройств можно применить при разработке антропоморфных роботов, экзоскелетов, протезов, тренажеров, скафандров. Значимость результатов исследования определяется созданием новых моделей антропоморфных систем со звеньями, изменяющими свою длину и углами, отсчитываемыми между звеньями. Этим определяется актуальность исследования.

Уровень научной новизны результатов и научных положений, выносимых на защиту диссертации, определяется тем, что получено решение научной задачи создания моделей антропоморфных устройств со звеньями, изменяющими свою длину с учетом наличия электроприводов и силой сопротивления, управляемой с помощью магнитно-реологической жидкости.

Это позволило расширить классические модели робототехнических устройств и предложить новые модели антропоидов, включающие ряд оригинальных подходов, а именно:

- предложены две базовые модели звеньев, изменяющих свою длину при помощи электроприводов или с использованием магнитно-реологической жидкости, которые применимы при создании экзоскелетов, антропоморфных роботов, манипуляторов;

- проведены оценки погрешностей, возникающих при моделировании опорно-двигательного аппарата человека стержневыми системами, а также при моделировании звена с магнитно-реологической жидкостью с системой тонких стержней в сравнении с моделью, состоящей из цилиндрических элементов;

- разработаны эффективные механические модели антропоидов со звеньями, изменяющими свою длину, позволяющие реализовать различные методы управления движениями моделей.

- исследованы методы управления, основанные на кусочно-заданных, интерполяционных, аппроксимирующих функциях, проведен их сравнительный анализ, установлено преимущество интерполяции;

- разработана уточненная модель звена антропоида с применением магнитно-реологической жидкости, состоящая из цилиндрических элементов, выписаны тензоры инерции ее компонентов, проведено численное моделирование ее динамики, установлена работоспособность модели.

Важным является вывод о значительном расходе энергии на управляемое изменение длины звеньев при использовании электроприводов и предложенное решение в виде звеньев с магнитно-реологической жидкостью для частичного управления переменностью длины звена.

В целом, в диссертации предложено решение новой задачи, связанной с моделированием антропоидных механических систем, с использованием локальных систем координат и углов, отсчитываемых между их осями, как с возможностью учета изменяемой длины звена, так и с абсолютно твердыми звеньями.

Полученные в диссертационной работе результаты основываются на строгих исходных положениях теоретической механики и корректном применении аппарата математического анализа и численных методов.

Научная значимость результатов диссертации заключается в том, что созданы модели антропоидных систем с углами, отсчитываемыми между звеньями переменной длины.

Практическая значимость созданных моделей антропоидов заключается в возможности разработки более комфортабельных моделей экзоскелетов. На обе модели – модель со звеньями переменной длины и модель с магнитно-реологической жидкостью получены охранные документы на интеллектуальную собственность в виде двух патентов. Разработанные за время работы над диссертацией новые математические модели и методы их численного моделирования реализованы в виде пяти

программ и зарегистрированы в государственном Реестре программ для ЭВМ. Работа выполнялась при поддержке двух грантов РФФИ и при поддержке Фонда содействия инновациям в рамках программы «Умник». Экономическая значимость результатов диссертации заключается в потенциальной возможности массового внедрения экзоскелетных технологий и, как следствие, снижении затрат на компенсацию профессиональных заболеваний работников физического труда, снижении травматизма на производстве, интенсификации производства.

Основные научные положения и результаты, полученные соискателем, достаточно широко опубликованы в печати (16 статей в научных журналах и материалах конференций, индексируемых в международных базах научного цитирования, 4 статьи в журнале, индексируемом в RSCI, 5 статей в других научных журналах, 1 глава в книге, 2 патента, 5 программ для ЭВМ, 2 монографии, 3 статьи сборниках и материалах конференций), всего 38 научных публикаций по теме диссертации.

На наш взгляд диссертант может предложить результаты своих исследований коллективам, занимающимся проблемами создания экзоскелетов, скафандров, антропоморфных механизмов, активных протезов, промышленных роботов и манипуляторов в компаниях:

«ЭкзоАТЛЕТ»; «Промышленные роботы»; «LoadAssist»; «Экзомед»; «Ростех»; «Symbionix»; «Экзаурус»; «Норникель».

Несмотря на актуальность и практическую значимость исследования, к автореферату и диссертации имеются замечания.

Замечания по работе.

1. В работе, несмотря на обширный обзор публикаций, недостаточно подробно описаны перспективы применения созданных в диссертации моделей антропоидов.

2. Для разработанных моделей механизмов не указана область значений, в пределах которой могут изменяться углы в шарнирах.

3. В модели звена на основе магнитно-реологической жидкости не совсем удачно используется термин «регулируемая жесткость звена». Следовало бы использовать термин «управляемая сила сопротивления».

4. Не полно описана схема функционирования звена с магнитно-реологической жидкостью. В частности, из текста диссертации не ясно, как происходит удлинение звена, так как прикладываемое магнитное поле изменяет только вязкость магнитно-реологической жидкости.

5. Автор вводит управление ступенчатыми функциями, аппроксимирующими полученные гладкие функции, что непонятно.

6. Отсутствует сравнительный анализ функционирования звена содержащего магнитно-реологическую жидкость с обычной гидравлической системой.

7. В работе используются методы вывода уравнений динамики систем тел со структурой дерева. Как в этом случае моделируется фаза опоры на две ноги.

Однако, указанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы, а совершенствование модели в направлении увеличения количества звеньев, пространственного разделения двух сторон антропоида, развития уточненной модели звена переменной длины на основе магнитно-реологической жидкости, в совокупности, может являться предметом дальнейших исследований.

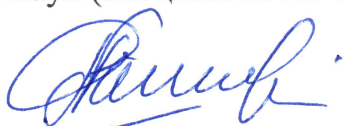
Диссертационное исследование Блинова Александра Олеговича «Управляемые системы твердых тел с изменяемой геометрией в антропоидных устройствах» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи создания моделей антропоидных устройств со звеньями, изменяющими свою длину, с управляемой силой сопротивления посредством магнитно-реологической жидкости, имеет важное значение для развития мехатроники и робототехники. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, согласно п. 2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов», утвержденного ученым советом РУДН протокол № УС-1 от 22.01.2024 г., а её автор, Блинов Александр Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. – Теоретическая механика, динамика машин.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании НТС отдела механики машин и управления машинами № 120/25 от 11.03.2025 г.

Отзыв подготовил:

старший научный сотрудник лаборатории теории механизмов и структуры машин ИМАШ РАН,

доктор технических наук (специальность 05.02.18 – Теория механизмов и машин)



Рашоян Гагик Володяевич

Заместитель председателя НТС отдела механики машин и управления машинами,

д.т.н., вед.н.с.

А.К. Алешин

25.04.2025



С.М. Розанов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН), Россия, 101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д. 4. Тел.: 8 (495) 628-87-30, эл. почта: info@imash.ru.