

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ПДС 0200.007
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ ИМЕНИ ПАТРИСА
ЛУМУМБЫ» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 22.05.2025 г., протокол № 21

О присуждении Блинову Александру Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Управляемые системы твердых тел с изменяемой геометрией в антропоидных устройствах» по специальности 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин в виде рукописи принята к защите 27.03.2025, протокол № 20, диссертационным советом ПДС 0200.007 федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; приказ от 5 декабря 2022 года № 720).

Соискатель Блинов Александр Олегович 1997 года рождения, в 2020 году окончил магистратуру филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по направлению 15.04.02. «Технологические машины и оборудование».

С 01.09.2022 г. обучался в аспирантуре филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по программе подготовки научно-педагогических кадров по направлению, соответствующему научной специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», не соответствующему научной специальности, по которой подготовлена диссертация.

В период подготовки диссертации являлся ассистентом, затем старшим преподавателем кафедры «Технологические машины и оборудование» филиала ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, где и работает по настоящее время.

Диссертация выполнена на кафедре «Высшей математики» филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Борисов Андрей Валерьевич, доцент, профессор кафедры «Высшей математики» филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске.

Официальные оппоненты:

– Холостова Ольга Владимировна, гражданка Российской Федерации, доктор физико-математических наук (01.02.01 – теоретическая механика), доцент, профессор кафедры «Мехатроники и теоретической механики» Московского авиационного института.

– Степанов Сергей Яковлевич, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук (01.02.01 – теоретическая механика), профессор, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук.

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, г. Москва в своем положительном отзыве, подписанном Рахояном Гагиком Володяевичем, доктором технических наук, старшим научным сотрудником лаборатории теории механизмов и структуры машин ИМАШ РАН и утвержденном ВРИО директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) Ерофеевым М.Н., доктором технических наук, профессором указала, что диссертация Блинова Александра Олеговича является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи создания моделей антропоморфных устройств со звеньями, изменяющими свою длину, с управляемой силой сопротивления посредством магнитно-реологической жидкости, имеет важное значение для развития мехатроники и робототехники.

В заключение отзыва ведущей организации указано, что диссертационная работа соответствует требованиям п. 2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного ученым советом РУДН 22.01.2024 г., протокол № УС-1, а ее автор, Блинов Александр Олегович заслуживает

присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 38 опубликованных работ, все по теме диссертации, из них 20 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных «Перечнем РУДН, «Перечнем ВАК, 16 в рецензируемом научном издании, индексируемом в международной базе данных «Scopus», в рецензируемом научном издании, индексируемом в международной базе данных «Web of Science». Общий объем публикаций 38 п.л.

Авторский вклад 89 %.

Наиболее значимые публикации:

1. Blinov A.O., Borisov A.V., Konchina L.V., Kulikova M.G., Maslova K.S. Simulation of movement of an active exoskeleton with five electric controlled links // Russian Journal of Biomechanics. – 2023. – Vol. 27. – No. 4. – P. 153-164. DOI: 10.15593/RJBiomech/2023.4.15
2. Blinov A.O., Borisov A.V., Mukharlyamov R.G., Novikova M.A. Exoskeleton Dynamics Simulation with the System of Three Variable-Length Links of Adjustable Stiffness // Mechanics of Solids. – 2024. – Vol. 59. – No. 1. – P. 156-166. DOI: 10.1134/S0025654423600770
3. Blinov A.O., Borisov A.V., Konchina L.V., Kulikova M.G., Maslova K.S. Comparative analysis of an electromechanical model of an exoskeleton with links of variable length and a model containing absolutely solid links // Russian Journal of Biomechanics. – 2024. – Vol. 28. – № 2. – P. 105-113. DOI: 10.15593/RZhBiomech/2024.2.11
4. Blinov A.O., Borisov A.V., Kaspirovich I.E., Kirgizbaev Zh.K., Mukharlyamov R.G. Dynamics control of an anthropoid exo-device with five links // Russian Journal of Biomechanics. – 2024. Vol. 28. – № 4. P. 154-163. DOI: 10.15593/RJBiomech/2024.4.16

На автореферат диссертации поступили положительные отзывы:

– Брискин Евгений Самуилович, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, профессор, 01.02.01 - Теоретическая механика, профессор кафедры «Динамика и прочность машин» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ) в своем отзыве отметил, что 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 математических моделей антропоморфных механизмов со звеньями, изменяющими свою длину, имеющей важное значение для создания более совершенных моделей экзоскелетов и антропоморфных роботов. По автореферату имеются замечания. «1. Как следует из рисунка 2 на странице 8 автореферата, угловые ускорения некоторых звеньев имеют достаточно большие значения и

резкие скачки, что свидетельствует об импульсном воздействии управляющих усилий в эти моменты времени, что не свойственно опорно-двигательному аппарату человека. Позволяет ли предлагаемая модель управления движением обеспечить плавные движения экзоскелета? 2. Как известно, звенья плоских механизмов могут работать на растяжение-сжатие и изгиб. Вызываемые деформации звеньев от изгибающих моментов могут усложнить работу приводов, обеспечивающих изменение линейных размеров звеньев. Этому вопросу так же следовало бы уделить большее внимание. Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.»

– Малолетов Александр Васильевич, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, доцент, 01.02.01 - Теоретическая механика, директор Института робототехники и компьютерного зрения Автономной некоммерческой организации высшего образования «Университет Иннополис», в своем отзыве отметил, что работа выполнена на высоком научном уровне. Автореферат диссертации достаточно полно раскрывает её научную и практическую ценность. Указанные замечания не снижают общей, положительной оценки представленной работы. Диссертационная работа соответствует требованиям, изложенным в пунктах 9, 10, 11, 13, 14 постановления Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения учёных степеней» и в пункте 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 учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7. – Теоретическая механика, динамика машин (физико-математические науки).» По автореферату имеются следующие замечания:

1. Вычисление кинетической энергии двумя способами «для контроля правильности» выглядит излишним. Теорема Кёнига доказана в 1751 г. и формула (1), которую можно назвать обобщённым вариантом этой теоремы, выводится в ходе доказательства и не вызывает сомнений. Разумеется, для проверки правильности кода расчётной программы можно и нужно использовать все возможные проверки, но эти проверки носят вспомогательный характер и вряд ли заслуживают вынесения в автореферат диссертации.

2. Не понятен смысл рисунка 2. На графиках приведены примеры интегрирования двух вариантов дифференциальных уравнений движения рассматриваемой системы (без учёта и с учётом динамики приводов) с некоторыми начальными условиями и, вероятно, некоторыми заданными законами изменения моментов в приводах. При этом ни массово-геометрические параметры системы, ни начальные условия, ни законы

изменения приводных моментов, ни планируемое движение не раскрываются. Очевидно, что две разные системы уравнений дадут различные решение.

3. На странице 9 автореферата соискатель утверждает, что два степени свободы в голеностопе, одна в колене и три в тазобедренном шарнире реализуют «все соответствующие биомеханике опорно-двигательного аппарата человека движения». Утверждение не соответствует действительности. Очевидно, соискатель имел в виду «основные движения» или что-то в таком роде.

4. Из автореферата остаётся неясным смысл обобщённых координат $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \beta_1, \beta_3, \beta_4, \gamma_3, \gamma_4$. Что это за углы, между чем и чем? Почему пропущены углы $\beta_2, \gamma_1, \gamma_2$? Если это углы поворота в шарнирах, то кажется разумным, чтобы углы поворота в 5 шарнирах одной ноги имели одно обозначение, а 5 шарниров второй ноги – другое, и нумерация углов и шарниров на обеих ногах была бы задана единообразно. Но здесь используется три сорта обозначений и нумерация с пропусками.

5. При отсутствии информации о массах и размерах системы вряд ли есть смысл приводить численные значения максимальных моментов или потраченной энергии. Второе не имеет смысла также потому, что не указано на протяжении какого пути совершалась эта работа.

– Расулов Карим Магомедович, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, профессор, 01.01.01 - Вещественный, комплексный и функциональный анализ, заведующий кафедрой «Математического анализа» Смоленского государственного университета в своем отзыве отметил, что диссертационное исследование Блинова Александра Олеговича «Управляемые системы твердых тел с изменяемой геометрией в антропоидных устройствах» является законченной научно-квалификационной работой, в которой предложено новое направление в механике моделирования управляемых антропоморфных систем со звеньями переменной длины различных конструкций, в том числе с управляемой жесткостью на основе магнитно-реологической жидкости, имеющей важное значение для теоретической механики и робототехники. Отзыв не содержит критических замечаний.

– Юденков Алексей Витальевич, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, профессор, 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, профессор кафедры «Естественнонаучных и гуманитарных дисциплин» Смоленского филиала ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В.Плеханова» в своем отзыве отметил, что 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

динамических моделей механических систем твердых тел человекоподобной структуры, имеющей важное значение для создания адекватных моделей механизмов с учетом наличия массивных электроприводов. По автореферату имеется следующее замечание: «К недостатку текста автореферата можно отнести некоторые ошибки в пунктуации.»

– Шкапов Павел Михайлович, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, заведующий кафедрой ФН-3 «Теоретическая механика» имени профессора Н.Е. Жуковского Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана в своем отзыве отметил, что диссертационное исследование Блинова Александра Олеговича «Управляемые системы твердых тел с изменяемой геометрией в антропоморфных устройствах» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи исследования антропоморфных механизмов с различными конструкциями звеньев, имеющей важное значение для создания моделей экзоскелетов с учетом изменения длин звеньев. По автореферату имеется следующее замечание: «Недостатком автореферата является то, что автор приводит достаточно много формул для вычисления кинетической энергии звеньев, а конечные уравнения движения отсутствуют. Следовало бы их привести, например, в компактной матричной форме записи.»

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией, наличием научных трудов и публикаций, соответствующих теме оппонируемой диссертации:

Холостова О.В.

1. Kholostova O.V. On Periodic Motions of a Nonautonomous Hamiltonian System at Resonance 2:1:1// Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2024. Vol. 20. No. 4. P. 493-511. <http://nd.ics.org.ru> DOI: 10.20537/nd241104

2. Холостова О.В. О движении динамически симметричного спутника в одном случае кратного параметрического резонанса // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2024. Т. 34. Вып. 4. С. 594-612. DOI: 10.35634/vm240408

3. Kholostova O.V. On Nonlinear Oscillations of a Near-Autonomous Hamiltonian System in One Case of Integer Nonequal Frequencies // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. - 2023. - Vol. 19. - No. 4. - P. 447-471. DOI: 10.20537/nd231103

4. Kholostova O.V. On Nonlinear Oscillations of a Time-Periodic Hamiltonian System at a $2 : 1 : 1$ Resonance // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. - 2022. - Vol. 18. - No. 4. - P. 481-512. DOI: 10.20537/nd221101

5. Kholostova O.V. On Nonlinear Oscillations of a Near-Autonomous Hamiltonian System in the Case of Two Identical Integer or Half-Integer Frequencies // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. - 2021. - Vol. 17. - No. 1. - P. 77-102. DOI: 10.20537/nd210107

6. Kholostova O. On nonlinear oscillations of time-periodic Hamiltonian systems in the presence of double fourth-order resonances / 7.0. Kholostova // Journal of Physics: Conference Series, Saint Petersburg, 09-12 марта 2021 года. - Saint Petersburg, 2021. - P. 012028.-DOI 10.1088/1742-6596/1959/1/012028.

Степанов С.Я.

1. Степанов С.Я. Избранные задачи теоретической и прикладной механики. - М.: «Белый ветер», 2023 - 96 с. ISBN 978-5-907718-45-6

2. Степанов С.Я. Устойчивость установившихся движений и динамика орбитальных систем. - М.: Эдитус, 2021. - 240 с. ISBN 978-5-00149-625-0

3. Косенко И.И., Сальникова Т.В., Степанов С.Я. Об одной упрощенной модели эволюции гравитирующих масс // IX Поляховские чтения: материалы международной научной конференции по механике, Санкт-Петербург, 09-12 марта 2021 года / СПбГУ. - СПб: ООО "Изд-во ВВМ", 2021. - С. 150-152.

4. Степанов С.Я., Сальникова Т.В. Анализ периодических ко-орбитальных движений в задаче трёх тел // IX Поляховские чтения: материалы международной научной конференции по механике, СПб, 09-12 марта 2021 года / СПбГУ. - СПб: ООО "Изд-во ВВМ", 2021.-С. 171-172.

5. Salnikova T.V., Kugushev E.I., Stepanov S.Y. Jacobi Stability of a Many-Body System with Modified Potential // Doklady Mathematics. - 2020. - Vol. 101. - No. 2. - P. 154-157. DOI: 10.1134/S1064562420020222

6. Stepanov S.Y., Salnikova T.V. Simulation of the Interaction of Oppositely Directed Particle Flows // Computational Mathematics and Mathematical Physics. - 2020. - Vol. 60. -No. 10. P. 1730-1736.-DOI 10.1134/S0965542520100139

7. Salnikova T.V., Kugushev E.I., Stepanov S.Y. Possible models of the planetary systems formations // International Journal of Modern Physics A. - 2020. - Vol. 35, No. 2-3. - P. 2040061. - DOI 10.1142/S0217751X20400618.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) является крупным научным центром, сотрудники которого активно занимаются проблематикой, соответствующей теме диссертационной работы Блинова Александра Олеговича, что подтверждается их научными публикациями:

1. Analysis of Mechanisms with Parallel-Serial Structure 5-DOF and Extended Working Area / V. Glazunov, G. Filippov, G. Rashoyan [et al.] // Smart Innovation, Systems and Technologies. - 2022. - Vol. 232. - P. 3-12. - DOI: 10.1007/978-981-16-

2. Assisting Robotic Surgical Complexes for Minimally Invasive Operations / E. I. Veliev, R. F. Ganiev, V. A. Glazunov [et al.] // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. - 2022. - Vol. 51. - No. 3. - P. 261-270. DOI: 10.3103/S105261882203 0128

3. Development and Investigation of a Parallel-Structure Mechanism with Toothed Gears Taking into Account Friction / V. A. Glazunov, A. Y. Albagachiev, M. N. Erofeev, A. A. Romanov // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. - 2022. - Vol. 51. - No. 2. -P. 143-152. DOI 10.3103/S1052618822020042

4. Ivlev V.I., Misyurin S. Yu. Parameter identification for mathematical model of vane air motor // Procedia Computer Science. - 2022. - Vol. 213. - P. 240-249. -DOI 10.1016/j.procs.2022.11.062.

5. Пространственный механизм с четырьмя степенями свободы и гибкими звеньями: патент на полезную модель № 219262 III Российская Федерация, МПК B25J 1/00. : № 2022132761 : заявл. 14.12.2022 : опубл. 07.07.2023 / В. А. Борисов, В. А. Глазунов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук.

6. Glazunov V.A., Laryushkin P.A., Shalyukhin K.A. Structure, Kinematics, and Prototyping of a Parallel Manipulator with a Remote Center of Rotation // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. - 2023. - Vol. 52, No. 6. - P. 585-591. DOI 10.1134/sl052618823060080.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработаны новые математические модели звеньев, изменяющие свою длину, с регулируемой жесткостью с применением магнитно-реологической жидкости для использования в экзоскелетах, позволившие повысить их комфортабельность,
- предложены оригинальные модели управляемого движения антропoidных механических систем с изменяемой геометрией под действием внутренних управляющих усилий и внешних связей применительно к экзоскелетам,
- проведен сравнительный анализ динамики моделей с различными параметрами,
- введены количественные характеристики моделей для создания более комфортабельных экзоскелетов, близких по своей динамике к опорно-двигательному аппарату человека.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что полученные результаты могут быть использованы для исследования широких классов механических систем твердых тел с реконфигурируемой геометрией звеньев и внешними связями под действием управляющих сил и моментов, создаваемых приводами, новых математических моделей звеньев, изменяющих свою длину, с переменной жесткостью.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован метод программного управления движением, с использованием которого установлена значимость влияния вращающихся роторов электроприводов на динамику антропоидного механизма в целом;

- изложены аргументы в пользу использования углов, отсчитываемых между звеньями и матриц перехода от локальных подвижных к абсолютной неподвижной системе координат в моделях антропоидных устройств;
- раскрыты причины, влияющие на значительный расход энергии в моделях экзоскелетов со звеньями переменной длины, связанные с управлением на участке, изменяющем свою длину;
- изучены факторы, влияющие на точность аппроксимации биологических прототипов стержневыми механическими системами;
- проведена модернизация моделей управляемого изменения электроприводами длины звена до модели со звеньями, содержащими магнитно-реологическую жидкость для регулирования его жесткости.

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

разработаны и внедрены результаты диссертационного исследования в учебном процессе при реализации программ бакалавриата и магистратуры на кафедрах «Высшей математики», «Технологические машины и оборудование», «Физики» филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске;

- созданы и запатентованы как РИД две модели экзоскелетов со звеньями, изменяющими свою длину: с электроприводами и с магнитно-реологической жидкостью;
- зарегистрированы в государственном Реестре 5 программ для ЭВМ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных, проверяемых положениях теоретической механики, современных реализациях численных методов, идея базируется на анализе практики моделирования антропоидных систем, обобщения опыта создания их механических моделей, использованы современные методы математического моделирования, установлено, что результаты диссертации согласованы с известными результатами механики отсутствием противоречий данными, полученными другими учеными при моделировании антропоидных систем, результаты диссертационной работы достаточно полно представлены в публикациях в рецензируемых изданиях; они докладывались на всероссийских и международных конференциях и научных семинарах.

Личный вклад соискателя состоит в реализации автором математических моделей в виде систем дифференциальных уравнений движения, проведении

численных расчетов, визуализации полученных решений, обработке и интерпретации результатов численного моделирования.

На заседании 22.05.2025 диссертационный совет принял решение присудить Блинову Александру Олеговичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0, проголосовали: за – 11, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председательствующий на заседании:

Рыбаков Ю.П.

Ученый секретарь диссертационного совета

Будочкина С.А.

22.05.2025

