

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.276.07, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В. Г. ШУХОВА» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от **10.06.2026** года протокол №3

О присуждении У Цюе, гражданину Китайской Народной Республики, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Разработка и исследование автономного гусенично-колесного реконфигурируемого робота»** по специальности 2.5.4 – «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» принята к защите 23 марта 2026 года, протокол заседания № 2, диссертационным советом 24.2.276.07 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, приказ № 1502/нк от 12.07.2023 г.

Соискатель У Цюе, 4 июля 1990 года рождения, в 2019 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет» с присвоением квалификации «магистр» по специальности 27.04.02 «Управление качеством».

В 2023 году окончил аспирантуру на кафедре «Автоматика и управление» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» по направлению 27.06.01 «Управление в технических системах».

Диссертация выполнена на кафедре «Автоматика и управление» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Рачков Михаил Юрьевич работает в должности профессора кафедры «Автоматика и управление» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет»

Официальные оппоненты:

Афонин Андрей Николаевич – доктор технических наук, доцент, работает в должности профессора кафедры информационных и робототехнических

систем Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Семенов Евгений Александрович - кандидат технических наук, работает в должности старшего научного сотрудника лаборатории робототехники и мехатроники Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис» **в своем положительном отзыве**, подписанном Малолетовым Александром Васильевичем, доктором физико-математических наук (специальность 01.02.01 – Теоретическая механика), директором Института робототехники и компьютерного зрения АНО ВО «Университет Иннополис» и утвержденном директором Вандюковым Дмитрием Владимировичем, **указала, что** диссертация соответствует пунктам 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (с изменениями и дополнениями), и паспорту специальности 2.5.4, а именно областям исследований: пункту 5 «Методы, алгоритмы, программные и аппаратные средства управления роботами, робототехническими и мехатронными системами, включая адаптивное, оптимальное, распределенное, интеллектуальное и супервизорное управление», пункту 6 «Математическое и программное обеспечение, компьютерные методы и средства обработки информации в реальном времени в роботах, робототехнических и мехатронных системах», пункту 8 «Планирование и реализация действий и движений, индивидуальное и групповое управление мобильными роботами наземного, воздушного, надводного, подводного, многосредного и космического применения», а её автор достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 20 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, опубликовано 3 работы, в журнале, индексируемом Scopus – 3 работы, индексируемых в РИНЦ - 11 работ, опубликовано 2 патента РФ на полезные модели, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объем работ – 8, 27 печ. л., личный вклад – 4,03 печ. л. Общий объем работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 8,27 печ. л., личный вклад 4,03 печ. л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты исследования.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

В журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ:

1. **У, Цюе.** Расчет и оптимизация работы механизма реконфигурации колесно-гусеничного мобильного робота / Ц. У, М.Ю. Рачков // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2022 – Т. 23. – № 4. – С. 209-215.

2. Рачков, М.Ю. Ультразвуковая локационная система мобильного реконфигурируемого робота / М.Ю. Рачков, **Цюе У** // Труды ФГУП «НПЦАП». Системы и приборы управления. – 2024. – № 4. – С. 23-32.

3. **У, Цюе.** Управление реконфигурацией робота методом активного сканирования и стратегии насыщения / Цюе У, М.Ю. Рачков, Е.В. Гапоненко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2026. – № 5. – С. 106-117.

В журнале, входящем в международную базу данных Scopus:

4. **Wu, Que.** Reconfiguration Mechanism Analysis of the Wheel-Track Robot / Que Wu, M. Yu. Rachkov // Proceedings of the 9th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2023). Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Cham: Springer, 2023. – p. 11–21.

5. **Wu, Que.** Ultrasonic Location System of a Reconfigurable Mobile Robot, M. Rachkov, Que Wu // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon): proceedings. — Sochi, Russian Federation, 2024. — p. 994–999.

6. Rachkov, M. Optimal Control of a Delayed Model for an Industrial Robot Manipulator / M. Rachkov, **Que Wu** // 2025 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon): proceedings. — Sochi, Russian Federation, 2025. — P. 165–169.

На диссертацию и автореферат **поступили положительные отзывы**, в которых отмечается научная новизна и практическая ценность работы. Отзывы были получены от:

I. Тимофеева Евгения Геннадьевича, кандидата технических наук (1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцента кафедры механики и машиностроения ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», с замечаниями:

1. Из текста автореферата непонятно, как производилась оценка энергопотребления посредством имитационного математического моделирования.

2. Не обоснована причина выбора микроконтроллера на базе аппаратно-программной платформы Arduino.

3. Низкое качество предложенной графической информации (рисунки 3, 6, 9-15)

II. Одинокова Сергея Анатольевича, доктора технических наук, (2.5.22 – «Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства), профессора Образовательного центра Института №11 «Новые материалы и производственные технологии» МАИ без замечаний.

III. Андреева Сергея Михайловича, доктора технических наук, (05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами), заведующего кафедрой автоматизированных систем управления ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», с замечанием:

В автореферате рисунки 3, 9-15 трудно читаемы из-за их малого размера.

IV. Журавлева Виталия Валерьевича, кандидата технических наук (05.02.05 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы), ведущего программиста ООО «Элетек», с замечанием:

Использование программируемой аппаратной платформы Arduino Mega 2560, которую не следует применять в качестве промышленного решения (особенно в условиях экстремальных температур, влажности, вибрации, электромагнитных излучений), а также отсутствие технических требований к аппаратной части для использования разработанного программно-алгоритмического обеспечения.

V. Борычева Сергея Николаевича, доктора технических наук, (05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства), профессора РАН, заведующего кафедрой «Строительство инженерных сооружений и механика» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», с замечанием:

Из автореферата неясно, какова составляющая экономической эффективности.

VI. Давлетчина Дамира Исхаковича, кандидата технических наук, (02.00.02 – Аналитическая химия), доцента кафедры радиоэлектронных систем и комплексов МИРЭА – Российский технологический университет, без замечаний.

VII. Филимонова Николая Борисовича, доктора технических наук, (05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации), профессора МГТУ им. Н.Э. Баумана, с замечаниями:

1. Система управления приводом рассматриваемого мобильного робота является существенно нелинейной. При этом, в работе отсутствует разделение движения привода на режимы управления «в малом» и «в большом», для которых правомерны соответственно линейные и нелинейные модели динамики. В связи с этим бессмысленны много-численные эксперименты компьютерной апробации линейных моделей управления нелинейным приводом путем простого игнорирования его существенных нелинейностей.

2. Для повышения производительности и безопасности работ заявлено использование адаптивного или робастного методов управления механизмом мобильного робота. Однако, и адаптация, и робастность алгоритмов в работе лишь упоминаются.

3. Следует отметить недопустимо низкий уровень качества графического материала, что касается, прежде всего, рис. 3 и 9-15.

VIII. Дмитриева Михаила Геннадьевича, доктора физико-математических наук (01.01.02 – Дифференциальные уравнения,

динамические системы и оптимальное управление), главного научного сотрудника ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук, *с замечанием:*

В качестве замечания можно отметить недостаточно полный учет нелинейностей в модели рассматриваемой системы, что в дальнейшем может быть развито при построении более точного нелинейного регулятора.

IX. Чернышева Вадима Викторовича, доктора технических наук, (05.02.05 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы), профессора кафедры «Динамика и прочность машин» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»; Шаронова Николая Геннадьевича, кандидата технических наук (05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин), заведующего кафедрой «Динамика и прочность машин» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», с замечаниями:

1. Неясно, каким образом выражение (4) показывает «естественное кинематическое демпфирование вблизи сингулярности»;

2. Некоторые иллюстрации (рис. 6) приведены в затрудняющем понимание масштабе.

X. Яковлева Константина Сергеевича, кандидата физико-математических наук (05.13.17 – Теоретические основы информатики), доцента факультета математики и компьютерных наук ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», с замечанием:

В автореферате целесообразно было бы более подробно раскрыть ограничения применения алгоритма активного вертикального сканирования для препятствий сложной формы и малой ширины

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в соответствующей отрасли науки и имеющих публикации в соответствующей сфере исследования, а также их согласием.

Выбор ведущей организации обосновывается известностью своими достижениями в соответствующей отрасли науки и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика параметрической оптимизации механизма реконфигурации, включающая систему геометрических ограничений, учитывающих эффект механической блокировки рычагов («мертвых точек»), и позволяющая определить оптимальные конструктивные параметры, при которых удержание веса робота и восприятие динамических нагрузок осуществляется не за счет движения штоков линейных приводов, а силовым контуром механических упоров, что гарантирует высокую конструктивную жесткость платформы и защиту приводов от разрушения;

предложен алгоритм активного вертикального сканирования препятствий с использованием одной управляемой степени свободы по информации ультразвукового дальномера для построения профиля высоты

объекта, который позволяет определять геометрические параметры препятствий (с погрешностью менее 5%) на базе микроконтроллеров с ограниченными вычислительными ресурсами, исключая характерные для стационарных датчиков «слепые зоны»;

доказана эффективность предложенных методов и алгоритмов на основе натуральных испытаний разработанного экспериментального образца реконфигурируемого робота.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны эффективность и универсальность предложенных методов параметрического синтеза, моделирования, а также высокопроизводительных методов оптимизации параметров механизма реконфигурации мобильного робота, применительно к проблематике диссертации результативно использованы инструменты автоматизированного проектирования;

изложен алгоритм управления электроприводами механизма реконфигурации в режиме насыщения управляющего сигнала, основанный на нелинейной модели динамики с учетом сухого трения в телескопических приводах;

раскрыты зависимости между геометрическими параметрами механизма реконфигурации и распределением статических нагрузок в элементах конструкции;

изучены причинно-следственные связи между геометрическими параметрами механизма реконфигурации, нагрузкой на линейные приводы и энергетической эффективностью мобильного гусенично-колесного робота.

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

разработаны и внедрены: результаты диссертационной работы используются в учебном процессе кафедры «Автоматика и управление» Московского Политеха для лабораторных практикумов на базе лаборатории робототехники. Полученные в диссертационной работе результаты внедрены и используются в проектно-конструкторской и производственной деятельности ООО «РобоКомпонент» (г. Москва);

определены перспективы дальнейшего совершенствования экспериментального образца мобильного гусенично-колесного реконфигурируемого робота;

создан экспериментальный образец мобильного робота с гибридной силовой установкой и изменяемой геометрией шасси;

представлены рекомендации и перспективы практического использования результатов исследования. Результаты диссертационной работы имеют потенциал применения при проектировании и производстве малогабаритных разведывательных и поисково-спасательных роботов, предназначенных для работы в зонах чрезвычайных ситуаций и техногенных аварий.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ - теоретические исследования подтверждены численными расчетами и экспериментальными данными, полученными при испытаниях разработанного автором мобильного гусенично-колесного реконфигурируемого робота, включая отработку алгоритмов активного вертикального сканирования, реконфигурации шасси, управления исполнительными приводами и автономного преодоления препятствий;

теория подтверждена сходимостью результатов экспериментальных и теоретических исследований. Полученные результаты не противоречат известным положениям фундаментальных и прикладных наук, согласуются с данными других исследований в области робототехники и компьютерного зрения;

идея базируется на обобщении передового опыта и использовании современных методов и подходов теории управления, математического и имитационного моделирования, обработки сенсорной информации и автоматизированного проектирования;

использованы авторские экспериментальные данные для подтверждения теоретических результатов, а также современные методики сбора и обработки исходной информации, в том числе результатов, полученных другими исследователями, в качестве основы для развития рассматриваемой области знаний;

установлено количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

использованы общепринятые для технических наук теоретические (идеализация, формализация), экспериментальные (наблюдение, эксперимент, сравнение) и специальные (математическое и имитационное моделирование) методы исследований.

Личный вклад соискателя состоит в: разработке математической модели кинематики и квазистатики механизма реконфигурации гусенично-колесного мобильного робота; разработке методики параметрической оптимизации механизма реконфигурации с учетом ограничения рабочего хода привода, обеспечения требуемого угла подъема шасси и реализации механической блокировки в сингулярных конфигурациях; разработке архитектуры системы автономного управления реконфигурируемым роботом, включающей конечный автомат режимов работы, локальные контуры управления исполнительными приводами и модуль автоматического восстановления работоспособности; разработке алгоритма активного вертикального сканирования препятствий с использованием ультразвукового дальномера, перемещаемого по одной управляемой степени свободы, для построения профиля препятствия и определения его высоты; синтезе алгоритма управления электроприводами механизма реконфигурации в режиме насыщения управляющего сигнала с учетом существенного сухого трения в телескопических приводах; проектировании и изготовлении

экспериментального образца мобильного гусенично-колесного реконфигурируемого робота; проведении полного цикла экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных результатов.

В ходе защиты диссертации принципиальных критических замечаний высказано не было.

Соискатель У Цюе ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию значимости проведенных исследований и полученных результатов.

Диссертация У Цюе соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (с изменениями и дополнениями) и паспорту специальности 2.5.4 «Роботы, мехатроника и робототехнические системы», а именно областям исследований: пункту 5 «Методы, алгоритмы, программные и аппаратные средства управления роботами, робототехническими и мехатронными системами, включая адаптивное, оптимальное, распределенное, интеллектуальное и супервизорное управление», пункту 6 «Математическое и программное обеспечение, компьютерные методы и средства обработки информации в реальном времени в роботах, робототехнических и мехатронных системах» и пункту 8 «Планирование и реализация действий и движений, индивидуальное и групповое управление мобильными роботами наземного, воздушного, надводного, подводного, многосредного и космического применения».

На заседании 10 июня 2026 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические решения и разработки в области автономной мобильной робототехники присудить У Цюе ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **10** человек, из них **9** докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из **12** человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – **10**, «против» – **нет**, недействительных бюллетеней **нет**.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Рыбак Лариса Александровна

Гапоненко Елена Владимировна

10 июня 2026 г.