

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 **30.06.2025** года, протокол №3

О присуждении Волошкину Артёму Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «**Методы проектирования и оптимизации автономной робототехнической системы для сбора фруктов**» по специальности 2.5.4 – «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» принята к защите 21 апреля 2025 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 Волошкин Артём Александрович, 26 июля 1996 года рождения, в 2020 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова» с присвоением квалификации «инженер» по специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов».

В 2024 году Волошкин Артём Александрович окончил аспирантуру на кафедре технологии машиностроения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» по направлению 15.06.01 «Машиностроение», направленность «Роботы, мехатроника и робототехнические системы».

Работает в должности старшего преподавателя на кафедре «Начертательная геометрия и графика» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.

Работа выполнена в научно-исследовательском институте робототехники и систем управления федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Рыбак Лариса Александровна работает в должности главного научного сотрудника федерального исследовательского центра «Информатики и управления» Российской академии наук, по совместительству работает в должности профессора кафедры «Технология машиностроения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова».

Официальные оппоненты:

Малолетов Александр Васильевич – доктор физико-математических наук, профессор, научный руководитель Центра автоматизации роботизации, директор Института робототехники и компьютерного зрения Автономной некоммерческой организации высшего образования «Университет Иннополис»,

Ларюшкин Павел Андреевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Основы конструирования машин» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» в своем положительном отзыве, подписанном ректором Цепляевым Виталием Алексеевичем, кандидатом технических наук (специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве, (технические науки)), 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 1 «Развитие теоретических основ и методов анализа, структурного и параметрического синтеза и автоматизированного проектирования роботов и

робототехнических систем», пункту 4 «Математическое и полунатурное моделирование мехатронных и робототехнических систем, включая взаимодействие со средой, анализ их характеристик, оптимизация и синтез по результатам моделирования» и пункту 11 «Методы и средства автоматизированного проектирования, анализа и оптимизации роботизированных систем, комплексов, ячеек и линий. Исследование, повышение эффективности и безопасности эксплуатации автоматизированных технологических процессов, создаваемых на базе робототехнических и мехатронных систем», а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

Соискатель имеет 22 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, опубликовано 2 работы, в журналах, индексируемых Scopus квартиля Q4 – 6 работ, получен 1 патент РФ на изобретение, 1 патент РФ на полезную модель и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объем работ – 6,59 печ. л., личный вклад – 3,29 печ. л. Общий объем работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 13,71 печ. л., личный вклад 6,85 печ. л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

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

1. Бондаренко И.Р., Волошкин А.А., Перевузник В.С., Ковалев Л.А. Расчёт силовых и кинематических параметров передаточного механизма на основе цепи скручивающихся рычагов / И.Р. Бондаренко, А.А. Волошкин, В.С. Перевузник, Л.А. Ковалев // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 91–98.

2. Волошкин А.А., Рыбак Л.А., Скитова В.М., Ноздрачева А.В., Гапоненко Е.В. Создание трехмерной кинематической модели манипулятора Delta при помощи системы автоматизированного проектирования в NX / А.А. Волошкин, Л.А. Рыбак, В.М. Скитова, А.В. Ноздрачева, Е.В. Гапоненко // Робототехника и техническая кибернетика. – 2023. – Т. 11, № 1. – С. 20–29.

В журналах, входящих в международную базу данных Scopus:

3. Voloshkin A., Gaponenko E., Rybak L., Perevuznik V. Comparison of Methods of Finite Element Analysis in the Design of Mobile Robot Modules / A. Voloshkin, E. Gaponenko, L. Rybak, V. Perevuznik // Mechanisms and Machine Science. - 2023. - V. 124 MMS. - P. 254–263

4. Malyshev D., Rybak L., Gaponenko E., Voloshkin A. Algorithm for Determining the Singularity-Free and Interference-Free Workspace of a Robotic

Platform for Fruit Harvesting / D. Malyshev, L. Rybak, E. Gaponenko, A. Voloshkin // Engineering Proceedings. - 2023. - V. 33. - No. 1: 33

5. Rybak L., Malyshev D., **Voloshkin A.** Algorithm for Multi-criteria Optimization of Robot Parameters for Fruit Harvesting Based on Evolutionary Methods, Taking into Account the Importance of Criteria / L. Rybak, D. Malyshev, A. Voloshkin // Communications in Computer and Information Science. - 2024. - V. 1913 CCIS. - P. 241–255

6. Rybak L., Khurtasenko A., Chuev K., **Voloshkin A.**, Cherkasov V. Design and Dynamic Model of a Mobile Robot with a Parallel Mechanism for Harvesting Fruits / L. Rybak, A. Khurtasenko, K. Chuev, A. Voloshkin, V. Cherkasov // Mechanisms and Machine Science. - 2024. - V. 167 MMS. - P. 190–200.

7. Rybak L., Malyshev D., Voloshkin A. A Method for Designing a Tripod-Based Robot with a Telescopic Rod for Fruit Harvesting / L. Rybak, D. Malyshev, **A. Voloshkin** // Mechanisms and Machine Science. - 2024. - V. 167 MMS. - P. 160–169

8. Rybak L., Carbone G., Mohan S., Malyshev D., **Voloshkin A.** New design and construction of a mechanical gripping device with a telescopic link of a fruit harvesting robot / L. Rybak, G. Carbone, S. Mohan, D. Malyshev, A. Voloshkin // Robotica. - 2024. - P. 1-17

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

I. Оппонента Малолетова Александра Васильевича, доктора физико-математических наук, профессора, научного руководителя Центра автоматизации роботизации, директора Института робототехники и компьютерного зрения автономной некоммерческой организации высшего образования «Университет Иннополис», *с замечаниями:*

1. Работа является комплексной и охватывает очень большое количество крайне разнородных задач: разработка методов оптимизации конструкции робототехнической системы, проектирование экспериментального образца, изготовление экспериментального образца, разработку программного обеспечения для системы управления, разработку системы технического зрения, экспериментальные исследования в лабораторных и полевых условиях. Поэтому не удивительно, что некоторые нюансы исследования в работе описаны без подробностей. Например, не раскрыты детали имитационного моделирования динамики системы, а в ряде случаев автор не даёт почти никакой информации о применяемом подходе, ограничиваясь только ссылками на публикации других авторов. Более целесообразно было бы пойти на увеличение объёма диссертации, но представить достаточно подробно все части работы.

2. В описании модели кинематики (раздел 2.1) остаётся не ясным с какой точкой системы связана подвижная система координат $X_2Y_2Z_2$. Описанная модель выглядит удобной для анализа рабочей зоны манипулятора, но остаётся неясным как автор решает задачу кинематики для задачи управления манипулятором. Не представлена также модель дифференциальной кинематики, и остаётся неясным как соискатель задавал скорости движения приводов манипулятора.

3. Представленные на рисунках 2.3 и 2.4 графические изображения рабочей области, во-первых, выглядят не информативно. Более целесообразно было бы дополнить эти изображения проекциями рабочей области на координатные плоскости. Во-вторых, эти рисунки показывают форму рабочей области платформы, однако более интересно было бы сделать фокус на рабочей области захватного устройства. В-третьих, использованная матрица Якоби вырождается в центральной зоне не потому, что центральная зона кинематически недоступна, а потому, что выбранная система эйлеровых углов не подходит для её описания. При выборе другого набора углов или при использовании других способов представления ориентации платформы, можно было бы легко избежать этой проблемы с центральной зоной.

4. В разделе 2.3 не хватает анализа полученных решений: целесообразно было бы показать конкретные наборы параметров, соответствующие нескольким точкам на границе Парето. Кроме того, раздел выглядит несколько незавершённым с точки зрения анализа применяемых методов. Применение нескольких алгоритмов для одних и тех же значений параметров является интересным решением, способным увеличить вероятность нахождения экстремума. Но, возможно тех же результатов удалось бы добиться, проведя вычисления одним и тем же алгоритмом несколько раз для разных наборов исходной популяции. А систематическое отставание одного из алгоритмов может быть связано с тем, что для него было выбрано недостаточное количество поколений или недостаточно большой коэффициент мутаций.

5. При разработке системы технического зрения отфильтровываются плоды, цвет которых не соответствует критериям зрелости. Это решение выглядит сомнительным для такой сельскохозяйственной культуры, как яблоки. Цвет яблок на одном и том же дереве может сильно варьироваться не по причине их незрелости, а по причине нахождения в густой листве. И как правило, урожай яблок собирается весь сразу, даже если отдельные плоды не созрели, дозревать их не оставляют. Можно говорить о том, что это универсальное решение, но такой аргумент тоже не выдержит критики, поскольку для других типов фруктов будут другие критерии зрелости и другие правила уборки урожая.

6. В разделе 3.4 предлагается оценивать силу удара яблок друг об друга с помощью «известной», как выразился соискатель, формулы. Однако эта «известная» формула представляет собой типичную ошибку, связанную с подменой понятий среднего ускорения и мгновенного ускорения. Формально эта формула даёт существенно заниженный результат, а фактически её просто невозможно использовать из-за невозможности корректно определить время контакта. Там же приводится значение силы, с которой яблоко определённой массы ударяется о другой фрукт. Как соискатель получил это значение силы остаётся не ясным, поскольку даже для вычислений по упомянутой формуле он не приводит достаточных данных. Однако самое главное, что вычисление этой силы, даже если его произвести абсолютно корректно, ничего не даёт в практическом смысле. Потому что повреждение плода определяется не силой, а давлением взаимодействующих объектов.

7. Ни в результатах имитационного моделирования, ни в результатах натуральных экспериментов не описаны характеристики скорости работы робототехнической системы. Хотя изначально именно обеспечение высокой скорости сбора фруктов заявлялось как один из самых важных мотивов к разработке таких систем.

8. В некоторых случаях соискатель допускает неточности в формулировках. Например, в разделе 3.4 написано, что якобы скорость свободно падающего фрукта зависит от массы фрукта, что явно не соответствует контексту, в котором не рассматривается сопротивление воздуха или другие эффекты, связанные с массой и способные повлиять на скорость свободного падения. В работе встречаются неточности в терминологии. Например, использование слова «сустав» вместо термина «шарнир». Соискателю не удалось также избежать значительного количества опечаток.

II. Оппонента Ларюшкина Павла Андреевича – доктора технических наук, доцента, профессора кафедры «Основы конструирования машин» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)», *с замечаниями:*

1. В работе приведен большой обзор по существующим в мире устройствам (роботам), помогающим при сборе урожая овощей и фруктов. Большинство примеров приводятся из зарубежных источников, хотя подобные работы ведутся и в России.

2. В обзоре большое внимание уделяется функциональным качествам механизмов и мало говорится о структуре (кинематической схеме) поэтому трудно сделать вывод о недостатках конструкции, приведенных в

примерах, а также сложно согласится с тем, что предложенная структура является наиболее предпочтительной.

3. В четвертой главе рассмотрены экспериментальные исследования, подтверждающие работоспособность захватного устройства, робота-трипода и функциональность предложенной компоновки, однако экспериментальные исследования устройства для транспортировки с инерциальным тормозом в работе не представлены.

III. Ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», с замечаниями:

1. На странице 69-70 диссертации указано, что оптимальные конфигурации получены в результате итеративной оптимизации. Однако, в работе не описано, что именно подразумевается под итеративной оптимизацией и как алгоритмически она реализована.

2. На странице 130 упоминается «итеративная нелинейная задача наименьших квадратов», но не раскрывается, почему именно этот метод выбран. Необходимо добавить обоснование.

3. Не ясно, какова величина угла давления в шарнире Д (угол между вектором скорости и нормальной реакцией), ведь он в значительной степени будет влиять на силу трения и работоспособность механизма, показанного на рис. 2.16 (стр.88).

4. В тексте диссертации (раздел 3.4, стр. 115) не раскрыто, вследствие чего в результате моделирования происходит спонтанное колебательное изменение скорости плода на графике рис. 3.20 б) на интервале времени от 1 до 6 секунд.

5. В ходе оптимизации рассмотрено 4 уровня ограничений, однако по результату был выбран вариант с максимальным уровнем ограничений, обеспечивающий максимальную эргономику и технологичность. Неясно зачем было необходимо выполнить анализ других трёх уровней ограничений, если заведомо известно, что они менее эргономичны и технологичны.

6. В разделе про оптимизацию геометрических параметров (Стр. 65) описываются алгоритмы, но не всегда понятно, как они связаны с конкретными задачами исследования.

IV. Афонина Андрея Николаевича, доктора технических наук (05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки), профессора кафедры информационных и робототехнических систем НИУ БелГУ, с замечаниями:

1. В автореферате не представлены разработанные алгоритмы топологической оптимизации конструкции.

2. Из автореферата неясно, как в работе решается проблема преодоления мешающих сбору фруктов ветвей дерева.

V. Василенко Юрия Валерьевича, кандидата технических наук (05.02.08 – Технология машиностроения), первого проректора ГБОУ ВО «Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», с замечаниями:

1. В ходе испытаний выявлено, что процент повреждений фруктов оказался выше, чем у аналогов, из-за низкого качества изготовления захватного устройства. Это указывает на необходимость дальнейшей доработки технологии, этот момент мало освещен.

2. Отсутствие сравнительного анализа с существующими решениями. В работе не представлено детального сравнения разработанной системы с существующими аналогами. Это снижает практическую ценность исследования, так как не позволяет чётко оценить преимущества предложенного решения.

VI. Карпук Игоря Анатольевича, кандидата технических наук (05.09.03 –Электротехнические комплексы и системы) доцента кафедры автоматизированных электромеханических систем им. А. Б. Зеленова «Донбасский государственный техническом университете», с замечаниями:

В работе упоминаются различные алгоритмы оптимизации (например, GWO, PSO и их комбинации), однако отсутствует подробное сравнение их эффективности в контексте решаемой задачи. Например: не приведены количественные данные о времени сходимости каждого алгоритма или точности полученных результатов. Отсутствует анализ влияния параметров алгоритмов (например, числа поколений, вероятности мутации) на конечный результат. Это затрудняет понимание того, почему был выбран конкретный алгоритм для решения задачи.

VII. Максарова Вячеслава Викторовича, доктора технических наук (05.03.01 – Геология), декана механико-машиностроительного факультета ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», с замечаниями:

1. В разделе, посвящённом практической реализации, недостаточно подробно описаны испытания системы в реальных условиях. Было бы полезно добавить сравнительный анализ производительности разработанного прототипа с существующими аналогами.

2. В тексте упоминается «круговое движение» вместо «вращательное движение», что является терминологической неточностью. Рекомендуется дополнительно проверить текст на наличие подобных опечаток.

VIII. Петровского Эдуарда Аркадьевича, доктора технических наук (02.05.21 –Машины, агрегаты и технологические процессы), профессора кафедры «Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса» Института нефти и газа Сибирского федерального университета (ИНИГ СФУ), с замечаниями:

1. На рисунке 4, представлены результаты распознавания яблок при помощи разработанного алгоритма технического зрения. Действие алгоритма, судя по фото, тестируется в около идеальных условиях, что не является наглядным показателем в неструктурированной среде сада;

2. на рисунке 7 присутствует два графика, но при этом подпись только к одному. Изучив графики можно понять, что наглядное изображение одно и того же, но это должно быть указано в более явном виде, например, использовать обозначения «а» и «б» в подрисовочной надписи.

IX. Соловьева Владимира Игоревича, доктора экономических наук (08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики), проректора по цифровизации Государственного университета по землеустройству, с замечаниями:

1. Следует уточнить аспекты построения системы управления, поскольку для полноценной автономной работы такой сложной системы требуется более детально проработанная архитектура управления, включающая адаптивные алгоритмы и обратные связи по состоянию окружающей среды.

2. Раздел, посвященный техническому зрению, выиграл бы при включении в него более полного анализа современных методов и технологий обнаружения: фруктов, включая современные глубокие нейросетевые модели обнаружения, классификации и сегментации объектов на изображениях, а также метрик оценки их качества.

3. Обнаружение фруктов проводится на основе построения кругов Хафа по данным, полученным с 2 бинокулярных камер. Вместе с тем, наш опыт покрывает, что обнаружение зеленых яблок на фоне зеленых листьев работает недостаточно эффективно. С другой стороны, применение двух бинокулярных камер кажется избыточным. Представляется, что более эффективно использовать поток данных с устройства, сочетающего RGB-камеру и TOF-камеру (как например, в недорогих устройствах линейки RealSense) и применять современных однопроходных алгоритмов типа YOLO для обнаружения яблок.

4. В автореферате недостаточно внимания уделено анализу качества предложенного подхода: не приводятся данные о скорости обнаружения плодов, доле обнаруженных плодов, доле ложных срабатываний (проценте объектов, не являющихся плодами, но ошибочно принятых за плоды).

Х. Рашояна Гагика Володяевича, доктора технических наук (05.02.18 – Теория механизмов и машин), старшего научного сотрудника ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, с замечаниями:

1. В автореферате присутствует некоторое количество опечаток, таких как «круглящего» вместо «крутящего» или по тексту «правильные треугольники с радиусами R_1 и R_2 » на странице 10, а также слишком длинные предложения, без четкой пунктуации.

2. Не совсем ясно, является ли MATLAB частью комплекса или используется отдельно по тексту: «Для выполнения оптимизации разработан программный комплекс, включающий модуль оптимизации на языке программирования C++ с использованием библиотеки параллельных вычислений OpenMP, MATLAB.».

3. Необходимо уточнить термин «Телескопическое звено» на рисунке 1а.

XI. Медведева Михаила Юрьевича, доктора технических наук (05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации), доцента, ведущего научного сотрудника Научно-исследовательского института робототехники и процессов управления ФГ АОУ ВО Южного федерального университета, с замечаниями:

1. В тексте не полностью раскрыта логика выбора параметров для оптимизации геометрии захватного устройства. Например, не объяснено, как учитываются механические свойства фруктов (жёсткость, форма) при моделировании взаимодействия с захватным устройством.

2. Необходимо уточнить, является ли MATLAB частью комплекса или используется как отдельный инструмент.

XII. Брянкина Константина Вячеславовича, доктора технических наук (05.17.08 — Процессы и аппараты химических технологий), профессора, начальника Учебно-методического управления ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», с замечаниями:

В практической части работы упоминается методика экспериментальной проверки синтезированного SLAM-алгоритма для одновременной локализации и построения трехмерной карты местности. Однако:

1. Нет четкого описания условий, в которых проводились испытания алгоритма (например, типы поверхностей, освещенность, погодные условия).

2. Не приведены количественные показатели эффективности алгоритма (например, точность локализации, время обработки данных или ошибки при построении карты).

ХІІІ. Ширяева Антона Станиславовича, кандидата физико-математических наук (01.01.09 - Дискретная математика и математическая кибернетика), научного руководителя направления 01.04.02 - «Математическая робототехника», АНОО ВО Научно-технологический университет «Сириус», Научный центр информационных технологий и искусственного интеллекта, без замечаний.

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 математическая модель кинематики робототехнической системы, учитывающая ограничения на достижимость положений и ориентаций выходного звена, а также на допустимые диапазоны движения линейных приводов робота-трипода с пассивной центральной кинематической цепью, в виде систем нелинейных уравнений;

предложен двухэтапный эвристический алгоритм многокритериальной оптимизации параметров робота-трипода с пассивной центральной кинематической цепью на основе комбинации однокритериальных эволюционных алгоритмов с переменными коэффициентами важности;

доказана эффективность применения метода проектирования автономной робототехнической системы для сбора фруктов с четкой формализацией всех его этапов на основе натурных испытаний разработанного экспериментального образца.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность применения предложенных методов моделирования и оптимизации геометрических и конструктивных параметров робототехнической системы, состоящей из колесной мобильной платформы и робота-трипода с центральной пассивной кинематической цепью и телескопическим звеном с захватным устройством, применительно к проблематике диссертации результативно использованы инструменты автоматизированного проектирования;

изложен двухэтапный алгоритм технического зрения для локализации деревьев, а также точного распознавания и захвата фруктов на основе интеграции сверточных нейронных сетей и преобразования Хафа;

раскрыты закономерности влияния дискретных недостижимых ориентаций подвижной платформы робота-трипода РТС на компактность конструкции при различных положениях шарниров крепления кинематических цепей и диапазонах движения линейных приводов;

изучена применимость модифицированного алгоритма Брезенхема для трёхмерного дискретизированного пространства положений выходного телескопического звена.

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

разработаны и внедрены в учебный процесс и для выполнения научно-исследовательских, курсовых и дипломных работ кафедры «Технология машиностроения» БГТУ им. В.Г. Шухова при подготовке студентов и магистров по направлениям подготовки: 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», 15.04.06 «Мехатроника и робототехника» - профиль программы «Робототехника и искусственный интеллект» результаты исследования. Полученные в диссертационной работе результаты используются в проектно-конструкторской и производственной деятельности ООО «РобоКомпонент»;

определены перспективы практического использования результатов в практике отечественной сельскохозяйственной отрасли, тепличных, фермерских хозяйств и питомников, занимающихся возделыванием плодовых культур;

создан полномасштабный экспериментальный образец автономной робототехнической системы для сбора фруктов, позволяющий выполнять навигацию, картографирование, выборочный сбор фруктов с последующей транспортировкой и складированием;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию экспериментального образца автономной робототехнической системы для сбора фруктов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ теоретические исследования подтверждены результатами численного моделирования и экспериментальными данными, полученными при испытаниях разработанного автором экспериментального образца автономной робототехнической системы для сбора фруктов, включавшими отработку траектории на пересечённой местности и автономное выполнение операций захвата и отделения плодов с учётом ориентации схвата;

теория подтверждена сходимостью результатов экспериментальных и теоретических исследований, не противоречит известным положениям

фундаментальных и прикладных наук и исследованиям в данной предметной области, согласуется с экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на обобщении передового опыта и использовании современных методов и подходов механики машин и роботов, математического и имитационного моделирования, оптимизации, проектирования с учетом требований к автономным роботизированным системам для сбора фруктов;

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 методы теории машин и механизмов, теоретической механики, математического моделирования, оптимизации, автоматизированного проектирования.

Личный вклад соискателя состоит в разработке:

структуры робототехнической системы для сбора фруктов, выполненной на основе колесной мобильной платформы и робота-трипода с центральной пассивной кинематической цепью и телескопическим звеном с захватным устройством.

математической модели робототехнической системы, описывающей зависимость положения выходного звена робота-трипода с пассивной центральной кинематической цепью от углов ориентации его рабочей платформы и выдвижения установленного на ней телескопического звена.

алгоритма многокритериальной оптимизации параметров робота-трипода с пассивной центральной кинематической цепью на основе комбинации однокритериальных эволюционных алгоритмов с переменными коэффициентами важности с целью расширения диапазонов ориентации робота-трипода и минимизации размеров конструкции.

алгоритма технического зрения для локализации деревьев, а также точного распознавания и захвата фруктов на основе интеграции сверхточных нейронных сетей и преобразования Хафа.

комбинированного метода проектирования робототехнической системы на основе формализации всех этапов проектирования и топологической оптимизации распределения материала в конструктивных элементах.

В ходе защиты диссертации принципиальных критических замечаний высказано не было.

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

Диссертация Волошкина А.А. 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 1 «Развитие теоретических основ и методов анализа, структурного и параметрического синтеза и автоматизированного проектирования роботов и робототехнических систем», пункту 4 «Математическое и полунатурное моделирование мехатронных и робототехнических систем, включая взаимодействие со средой, анализ их характеристик, оптимизация и синтез по результатам моделирования» и пункту 11 «Методы и средства автоматизированного проектирования, анализа и оптимизации роботизированных систем, комплексов, ячеек и линий. Исследование, повышение эффективности и безопасности эксплуатации автоматизированных технологических процессов, создаваемых на базе робототехнических и мехатронных систем».

На заседании 30 июня 2025 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические решения и разработки в отечественном агропромышленном комплексе присудить Волошкину А.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 10 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 11 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 11, «против» – нет, недействительных бюллетеней нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета

Ханин Сергей Иванович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Малышев Дмитрий Иванович

30 июня 2025 г.