

УТВЕРЖДАЮ
Начальник ФГБУ «Центральный
научно-исследовательский институт
Военно-воздушных сил»

Министерства обороны
Российской Федерации
кандидат технических наук

 А.Зацепилин

« 22 » ноября 2025 г.



ОТЗЫВ

Федерального государственного бюджетного учреждения
«Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных
сил» Министерства обороны Российской Федерации на диссертацию
Кикиной Анны Юрьевны на тему «Разработка расчетно-
экспериментального метода повышения точности позиционирования
исполнительных органов антропоморфных робототехнических систем
для перспективных пилотируемых космических программ», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.5.13. – «Проектирование, конструкция, производство, испытания
и эксплуатация летательных аппаратов»

Актуальность темы исследования. С развитием космической техники и планированием длительных миссий возрастает роль робототехнических систем как помощников и заместителей космонавтов при выполнении операций в опасных или труднодоступных условиях. Одним из перспективных видов управления такими системами является копирующий режим, однако его широкое применение сдерживается проблемой недостаточной точности выполнения целевых операций.

Диссертационная работа Кикиной Анны Юрьевны посвящена решению актуальной научно-технической задачи – повышению точности позиционирования исполнительных органов антропоморфных робототехнических систем (АРТС) при копирующем управлении для их применения в таких перспективных пилотируемых космических программах (ППКП), как развертывание Российской орбитальной станции (РОС) и лунная исследовательская программа.

Актуальность темы не вызывает сомнений и подтверждается глубоким аналитическим обзором, представленным в первой главе диссертации. Автор провела всесторонний анализ состояния и тенденций развития коллаборативных робототехнических систем, отечественного и зарубежного опыта их применения

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«28» 11 2025 г.

в космосе, а также четко сформулировала проблему рассогласования движений оператора и АРТС.

Все вышесказанное позволяет оценить тему исследования, как **актуальную и имеющую большую научно-практическую значимость**, а постановку задачи как своевременную.

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов», поскольку проведенное исследование посвящено:

– разработке расчетно-экспериментального метода повышения точности позиционирования исполнительных органов бортовой АРТС, реализуемого на предварительном этапе, в наземных условиях, и на этапе выполнения космической программы, алгоритмов повышения точности базовой целевой операции попадания манипулятором бортовой АРТС рычагом управляющего устройства в заданный угол поворота и повышения точности базовой целевой операции позиционирования точки на рабочей поверхности бортовой АРТС, что соответствует пункту 1 паспорта специальности «Разработка методов проектирования и конструирования, математического и программно-алгоритмического обеспечения для выбора оптимальных облика и параметров, компоновки и конструктивно-силовой схемы, агрегатов и систем ЛА, наземных комплексов и стартового оборудования, с учетом особенностей технологии изготовления, отработки и испытаний, механического и теплового нагружения, взаимосвязи ЛА с наземным комплексом и стартовым оборудованием, неопределенности проектных решений. Разработка методов и алгоритмов обеспечения контроля и обеспечения эффективности применения ЛА в процессе эксплуатации» и пункту 2 паспорта специальности «Создание теоретической, методической, экспериментальной и производственной базы, позволяющих обеспечить требуемые показатели качества по назначению, надежности, точности, взаимозаменяемости, технологичности, унификации и стандартизации, эргономичности, технической эстетики, патентной чистоты»;

– обоснованию потенциальных направлений и перспективных вариантов коллаборации бортовой АРТС для операционной поддержки деятельности экипажей в ППКП, что соответствует пункту 3 паспорта специальности «Создание и отработка принципиально новых конструктивных решений выполнения узлов, систем и ЛА в целом, наземных комплексов и стартового оборудования. Исследование их характеристик и оценка перспектив применения».

Содержание диссертации свидетельствует о глубоких знаниях автора в области робототехники, теории управления, математической статистики и машинного обучения. Выполненное исследование соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, и представляет собой завершенное научное исследование, содержащее элементы научной новизны.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующих основных результатах:

1. Разработанном расчетно-экспериментальном методе повышения и обеспечения точности позиционирования исполнительных органов бортовой АРТС, основанном на введении искусственных параметров, задаваемых оператором базовых целевых операций. Данный метод реализуется как на предварительном этапе в наземных условиях, так и в условиях выполнения космической программы, что позволяет адаптировать регрессионные зависимости к условиям космического полета.

2. Разработанном алгоритме повышения точности базовой целевой операции попадания манипулятором бортовой АРТС рычагом управляющего устройства в заданный угол поворота, основанном на построении полиномиальной регрессионной зависимости между углами отклонения управляющего устройства космонавта-оператора и углами отклонения рычага управляющего устройства бортового АРТС.

3. Разработанном алгоритме повышения точности целевой операции позиционирования точки на рабочей поверхности бортовой АРТС, основанном на применении метода машинного обучения «Случайный лес», позволяющего работать с многомерными зависимостями и обрабатывать экспериментальные данные с различной степенью нелинейности.

Данные результаты получены впервые и дополняют имеющиеся в научной литературе представления о методах повышения точности управления космическими робототехническими системами.

Научная новизна работы не вызывает сомнений. Автором проделана большая методологически последовательная работа. **Теоретическая значимость** работы состоит в:

- разработке и развитии методов повышения точности целевых операций бортовой АРТС, реализуемых как на предварительных этапах подготовки в наземных условиях, так и в условиях орбитального полета;
- определении возможностей и особенностей коллаборации бортовых АРТС для поддержки деятельности экипажей в ГПКП;
- исследовании потенциальных направлений развития методов компенсации недостаточной точности при телеуправлении роботами в условиях микрогравитации.

Диссертационная работа имеет прикладной характер. **Практическая значимость** результатов выражается в:

- разработке методики проведения экспериментов для получения аппроксимирующих регрессионных зависимостей между параметрами управления ЗУКТ и параметрами работы манипуляторов АРТС;
- построении регрессионных зависимостей для конкретной бортовой АРТС (заводской номер БПАГ.442468.005), совмещенной с мобильной платформой (заводской номер БПАГ.452838.004), управляемой ЗУКТ (заводской номер 426471.005.001), предназначенной для использования в программе РОС, перспективном транспортном корабле и лунной программе;

- разработке специального программного обеспечения для реализации алгоритмов повышения точности базовых целевых операций;
- разработке конструкции рычага управляющего устройства, реализованного с применением 3D-печати.

Степень обоснованности и достоверности полученных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается четким формулированием основных положений исследований, использованием формализованных описаний и применением базовых методов анализа. Допущения, принятые при разработке математических моделей, подтверждены многочисленными исследованиями в практике проектно-конструкторских организаций. Кроме того, достоверность полученных результатов подтверждается проведенным комплексом экспериментальных исследований на уникальном оборудовании с участием космонавтов-испытателей. Заявленная точность выполнения операций (не менее 90% для позиционирования угла и не менее 81% для позиционирования точки) является убедительным доказательством эффективности предложенных решений.

Методология исследования базируется на комплексном применении современных методов:

- математической статистики для обработки экспериментальных данных;
- корреляционного и регрессионного анализа для выявления функциональных зависимостей;
- методов машинного обучения для построения многомерных регрессионных моделей;
- экспериментального исследования с участием космонавтов.

Применение указанных методов обоснованно и корректно. Экспериментальная база исследования хорошо документирована, с использованием реальных образцов бортовой АРТС и ЗУКТ, применяемых в программах НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина.

Апробация результатов работы и публикации по теме. Научная общественность в достаточной мере осведомлена о результатах проведенных исследований. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных и отечественных конференциях и семинарах, включая: международные конференции «Авиация и космонавтика»; международные научно-практические конференции «Пилотируемые полеты в космос»; 74-й Международный конгресс по астронавтике (IAC) в Баку; научные чтения, посвященные научному наследию и развитию идей К.Э. Циолковского.

Результаты опубликованы в двадцати одной научной работе, в том числе в восьми журналах из Перечня ВАК (категория К2) и тринадцати сборниках тезисов докладов научных конференций. Уровень апробации соответствует требованиям для диссертационных работ кандидатского уровня.

Личный вклад соискателя очевиден и хорошо документирован. Кикина А.Ю. самостоятельно разработала и апробировала расчетно-экспериментальный метод, провела комплексные исследования поставленной

научной задачи, разработала математические модели и алгоритмы, провела экспериментальные исследования и реализовала специальное программное обеспечение. В работах, выполненных в соавторстве, вклад соискателя четко определен и является существенным.

Замечания и вопросы. При общей положительной оценке работы можно отметить следующие замечания и предложения, которые не снижают качество исследования, но могут быть полезны для дальнейшего развития:

1. Рекомендуется продолжить экспериментальные исследования в условиях орбитального полета на третьем этапе программы «Теледроид» для полной валидации разработанного метода в условиях микрогравитации.

2. Целесообразно рассмотреть применение более продвинутых методов машинного обучения (нейросетевые подходы, методы глубокого обучения) для дальнейшего повышения точности позиционирования.

3. Рекомендуется обобщить разработанный метод для применения к АРТС различных типов и конфигураций.

4. Желательна подробная документация разработанных методик проведения экспериментов и построения регрессионных зависимостей для использования другими исследователями.

5. Как планируется учитывать динамическое изменение параметров системы (например, износ механических частей) в долгосрочной перспективе эксплуатации АРТС?

Таким образом, диссертационная работа Кикиной А.Ю. представляет собой законченное исследование, содержащее решение актуальной задачи и новые научные результаты, характеризующееся внутренним единством и отличающееся высоким научным уровнем с четкой структурой проведения исследования и последовательным накоплением и использованием собранных в ходе экспериментальных исследований данных. Выполненные исследования, их объем, а также проведенный анализ полученных данных, не оставляют сомнений в обоснованности и достоверности научных положений, вытекающих из существа работы, а выдвигаемые для публичной защиты положения имеют научное и практическое значение.

Основные результаты диссертационной работы реализованы и представлены актами реализации ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» и в МАИ (НИУ), а так же использованы в учебном процессе кафедры 614 «Экология, системы жизнеобеспечения и безопасность жизнедеятельности» и при разработке рабочих программ по специальности шифр 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов» по специализации «Системы жизнеобеспечения, термостатирования и защиты ракетно-космических комплексов» по дисциплинам «Системы термостатирования приборного оборудования космических аппаратов», «Технологии искусственного интеллекта».

Рекомендации по использованию результатов исследования. Полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы

при разработке методов повышения точности управления бортовыми АРТС для РОС, лунной базы и пилотируемых кораблей, использования для повышения эффективности и реалистичности тренировок космонавтов, а также для отработки новых технологий адаптации и внедрения методов повышения точности копирующего управления для робототехнических систем наземного и подводного применения. Разработанные алгоритмы и методика также могут быть полезны для решения широкого круга задач при проектировании, испытаниях и эксплуатации систем пилотируемых космических аппаратов с длительным сроком автономного существования.

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для дальнейшего использования и внедрения в отраслевых научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях, в том числе: ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина», ПАО «РКК «Энергия» имени С.П. Королева», АО «ЦНИИмаш», НПО «Андроидная техника», ФГБУ «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики».

Заключение

Диссертация Кикиной Анны Юрьевны на тему «Разработка расчетно-экспериментального метода повышения точности позиционирования исполнительных органов антропоморфных робототехнических систем для перспективных пилотируемых космических программ», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. – «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов», является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны и изложены новые теоретические положения и научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для решения задачи повышения точности позиционирования исполнительных органов бортовой АРТС.

По своей актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов, представленная работа соответствует требованиям, изложенным в пунктах 9÷12 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842 (с изменениями от 21.04.2016 г. №335), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Кикина Анна Юрьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Отзыв ведущей организации обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета Научно-исследовательского испытательного центра (авиационно-космической медицины и военной эргономики, г. Москва)

Центрального научно-исследовательского института Военно-воздушных сил
(Министерства обороны Российской Федерации) (протокол № 18 от 13 ноября
2025 г.).

Старший научный сотрудник

12 научно-исследовательского испытательного отдела

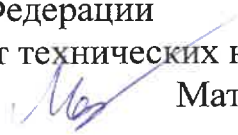
научно-исследовательского испытательного центра

(авиационно-космической медицины и военной эргономики, г. Москва)

«Центрального научно-исследовательского института Военно-воздушных сил»

Министерства обороны Российской Федерации

доктор биологических наук, кандидат технических наук

 Матюшев Тимофей Викторович

«13» ноября 2025 г.

Подлинность подписи доктора биологических наук Матюшева Т.В.
заверяю.

Начальник отдела кадров и строевого

Центрального научно-исследовательского института

Военно-воздушных сил

Министерства обороны Российской Федерации

 Е.В. Бондарь

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный
научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил» Министерства
обороны Российской Федерации

127083, г. Москва, Петровско-Разумовская аллея, д. 12а.

Телефон: +7 (495) 612-10-02; +7 (495) 612-80-82.

С изъятием из архива

01 января 2025 года

