

Московский авиационный
институт (национальный
исследовательский университет)
Москва, Волоколамское шоссе, д.4.
ученому секретарю
диссертационного совета
24.2.327.09 к.т.н., Стрельцу Д.Ю.

Отзыв официального оппонента

На диссертационную работу Кикиной Анны Юрьевны
**«Разработка расчетно-экспериментального метода повышения точности
позиционирования исполнительных органов антропоморфных
робототехнических систем для перспективных пилотируемых
космических программ»**, на соискание ученой степени кандидата
технических наук
по специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство,
испытания и эксплуатация летательных аппаратов»

Актуальность исследования.

Проектирование бортовых антропоморфных робототехнических систем (АРТС), предназначенных для работы в экстремальных, опасных для человека условиях: в космическом полете и напланетных базах – одно из ведущих направлений развития науки и техники на современном этапе развития. Востребованным способом управления АРТС является управление в «копирующем режиме», реализуемое с помощью задающего устройства копирующего типа (ЗУКТ) посредством копирования действий космонавтов-операторов. «Копирующий режим» не обеспечивает полную адекватность копируемых движений. Данную рассогласованность вызывают ошибки (перед началом работы – калибровки, в процессе работы – систематические,

случайные, накапливаемые и т.п.), в частности, измерений датчиков углового положения шарниров кинематических звеньев ЗУКТ, используемых для управления двигателями АРТС, точностные характеристики двигателей, отрабатывающих пространственное изменение кинематических звеньев АРТС по параметрам измерений датчиков ЗУКТ, ошибки вычислений в контуре управления. Повышение точности выполнения целевых операций может быть достигнуто за счет введения искусственных параметров, рассчитываемых на основе углов поворота руки оператора. Таким образом, разработка расчетно-экспериментального метода повышения точности позиционирования исполнительных органов антропоморфных робототехнических систем для ППКП является актуальной задачей.

Целью работы является разработка расчетно-экспериментального метода повышения точности позиционирования исполнительных органов антропоморфных робототехнических систем для ППКП.

Для достижения поставленной цели автор успешно решает ряд научно-технических задач, что подтверждают структура и содержание текста диссертации, написанной на высоком научном уровне, снабженной достаточным количеством иллюстративного материала и содержащей ссылки на источники.

Текст автореферата соответствует тексту диссертации и позволяет ознакомиться со всеми основными достигнутыми результатами. Диссертационная работа состоит из четырех глав.

В первой главе автор проводит аналитический обзор имеющихся литературных данных. Проведен анализ потенциальных направлений и перспективных вариантов коллаборации бортовой АРТС для поддержки деятельности экипажей в ППКП в проекции на РОС и лунную программу.

Отмечено, при работе космонавта-оператора в копирующем режиме управления бортовой АРТС, использующего для формирования управляющих сигналов ЗУКТ, возникает рассогласование движений космонавта-оператора и АРТС. На основе проведенного анализа выявлена

необходимость разработки расчетно-экспериментального метода повышения точности позиционирования исполнительных органов антропоморфной робототехнической системы для перспективных пилотируемых космических программ.

Во второй главе предложен расчетно-экспериментальный метод повышения точности позиционирования исполнительных органов бортовой АРТС.

На базе ФГБУ «НИИ ЦПК им. Ю. А. Гагарина» проведено экспериментальное исследование по изучению точности управления космонавтом-оператором бортовой АРТС, заводской номер БПАГ.442468.005, совмещенной с мобильной платформой, заводской номер БПАГ.452838.004, управляемой ЗУКТ, заводской номер 426471.005.001, при проведении базовых целевых операций попадания рукой бортовой АРТС рычагом управляющего устройства в заданный угол поворота и позиционирования точки на рабочей поверхности АРТС.

Для проведения экспериментальных исследований разработаны требования и изготовлен специализированный рычаг управляющего устройства, связанный с ПК оператора. Конструкция специализированного рычага управляющего устройства позволяет работать с рычагом рукой человека-оператора и рукой бортовой АРТС.

В третьей главе представлен алгоритм повышения точности базовой целевой операции попадания рукой бортовой АРТС рычагом управляющего устройства в заданный угол поворота, основанный на построении аппроксимирующей зависимости между углами отклонения рычага управляющего устройства, устанавливаемых рукой космонавта-оператора в ЗУКТ, и углами отклонения рычага управляющего устройства, получаемых в результате работы рукой бортовой АРТС. С помощью новой математической модели предлагается введение и пересчет искусственных углов задающего устройства, передаваемых через программный модуль на ПК оператора к

бортовой АРТС, что позволило повысить точность выполнения базовой целевой операции.

Построены аппроксимирующие регрессионные зависимости между углами отклонения, устанавливаемыми рукой трех космонавтов-операторов в ЗУКТ, и углами отклонения рычага управляющего устройства, получаемых в результате работы рукой бортовой АРТС.

В четвертой главе представлен разработанный алгоритм повышения точности базовой целевой операции позиционирования точки на рабочей поверхности АРТС. В основе предлагаемого подхода лежит многомерная аппроксимирующая зависимость между координатами точек на рабочих плоскостях оператора и бортовой АРТС, которая относится к классу моделей множественной регрессии с множественными выходными переменными – откликами. Для построения регрессии выбран метод Случайного леса по каждой выходной переменной.

В результате расчетов на ПК получены искомые регрессионные зависимости. Обеспечено выполнение целевой операции по позиционированию точек на рабочих плоскостях оператора и бортовой АРТС с точностью не менее 81%.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты работы. Наиболее значимыми новыми научными результатами, представляющими теоретический интерес, являются: развитие метода и алгоритмов повышения точности целевых операций бортовой АРТС, реализуемых на предварительном этапе, проводимом в наземных условиях, и в условиях выполнения космической программы; в определении возможностей и особенностей коллаборации бортовых АРТС для поддержки деятельности экипажей в ГПКП.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что автором впервые получены следующие научные результаты:

- разработан расчетно-экспериментальный метод повышения и обеспечения точности позиционирования исполнительных органов бортовой

АРТС, реализуемый на предварительном этапе, проводимом в наземных условиях, и в условиях выполнения космической программы

– разработаны алгоритмы повышения точности базовой целевой операции попадания манипулятором бортовой АРТС рычагом управляющего устройства в заданный угол поворота, на основе построения полиномиальной регрессионной зависимости угла отклонения управляющего устройства космонавта-оператора от угла отклонения рычага управляющего устройства бортового АРТС и базовой целевой операции позиционирования точки на рабочей поверхности бортовой АРТС, основанный на методе машинного обучения Случайный лес.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработке методики проведения эксперимента для получения аппроксимирующих регрессионных зависимости между параметрами, задаваемыми рукой космонавта-оператора в ЗУКТ, и параметрами, получаемыми в результате работы рукой бортовой АРТС; в построении регрессионных зависимостей для повышения точности базовых целевых операций, в том числе, попадания манипулятором бортовой АРТС рычагом управляющего устройства в заданный угол поворота и повышения точности позиционирования точки на рабочей поверхности бортовой АРТС; в разработке специального программного обеспечения алгоритма повышения точности базовых целевых операций; в разработке конструкции рычага управляющего устройства и реализации изготовления рычага на 3 – D принтере.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Научные положения и выводы в диссертационной работе изложены последовательно и подробно.

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается четким формулированием основных положений исследований, использованием формализованных описаний и применением базовых

методов анализа. Допущения, принятые при разработке математических моделей, являются стандартными и подтверждены многочисленными исследованиями в практике проектно-конструкторских организаций. Заключение по диссертационной работе подтверждается и иллюстрируется проведенными экспериментальными исследованиями с участием космонавтов, показавших выполнение целевой операции попадания манипулятором АРТС рычагом управляющего устройства в заданный угол поворота с точностью не менее 90% и целевой операции по позиционированию точек на рабочих плоскостях оператора и АРТС с точностью не менее 81%.

Результаты работы докладывались на тринадцати международных и российских конференциях. Опубликовано 8 работ в рецензируемом журнале, входящем в перечень ВАК РФ.

Все результаты диссертационной работы получены автором лично или при его непосредственном участии.

Соответствие содержания диссертации специальности.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Оценка содержания диссертации.

Диссертация написана ясно, логически совершенно, хорошо иллюстрирована. По содержанию диссертации можно сделать следующее замечания:

— автором работы недостаточно полно дано пояснение того, проведение каких именно дополнительных экспериментов по разработанной методике на орбите позволит разработанному расчетно-экспериментальному методу повышения точности позиционирования исполнительных органов бортовой АРТС адаптировать полученные в результате земных экспериментов регрессионные зависимости к условиям космического полета;

– для рисунка, характеризующего блок-схему расчетно-экспериментального метода повышения точности позиционирования исполнительных органов бортовой АРТС автором не дано пояснение того, что собой представляет «композиция программы работы бортовой АРТС»;

– не вполне понятно, на каком основании при построении регрессионных зависимостей угла отклонения рычага управления оператора от угла отклонения рычага управления бортовой АРТС выбран шаг 45 градусов.

Приведенные замечания не снижают научной и практической ценности выполненной диссертационной работы.

Выводы.

Диссертационная работа Кикиной А.Ю. представляет законченную квалификационную работу, содержащую решение актуальной задачи разработки расчетно-экспериментального метода повышения точности позиционирования исполнительных органов антропоморфных робототехнических систем для перспективных пилотируемых космических программ (ППКП).

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях и семинарах, опубликованы в рецензируемых научных изданиях, соответствующих специальности 2.5.13. и включенных в перечень ВАК.

Диссертационная работа Кикиной Анны Юрьевны соответствует критериям, изложенным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, в ред. От 25.01.2024.

Кикина Анна Юрьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.13. «Проектирование, конструкция, производство, испытания и эксплуатация летательных аппаратов».

Официальный оппонент: профессор кафедры «Вычислительной техники и информационных систем» факультета «Компьютерных наук и технологий» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова» (г. Воронеж)

доктор технических наук, профессор



Потапов Андрей Николаевич

«31» октября 2025 г.

Адрес организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова» (ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»). г. Воронеж, ул. Тимирязева дом 8, индекс 394087.

Телефон, email: +7 980 546 71 68, potapov_il@mail.ru



Затверждено: *Потанова А. А.*
Удостоверено: *В. А. Л.*
Дата: *31. 10* 2025 г.

С отзывом ознакомлен

01 декабря 2025 года

