

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу

Козина Филиппа Александровича

«Моделирование работы алгоритмов управления движением наноспутников
на аэродинамическом столе»,

представленную на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук по специальности

1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа посвящена созданию научной базы для задач лабораторного исследования алгоритмов управления движением малых спутников на лабораторном стенде с аэродинамическим столом. Такое лабораторное исследование позволяет выявить аппаратно-алгоритмические особенности используемых подходов к определению движения и к управлению движением, что не всегда удается сделать только с использованием численного моделирования работы всей системы. Несмотря на то, что в наземных условиях не удастся полностью имитировать условия орбитального полёта и работу бортовых датчиков и исполнительных элементов, проведение лабораторных экспериментов необходимо для подтверждения работоспособности логики работы алгоритмов управления движением или выявления параметров системы, при которых алгоритмы справляются с поставленной задачей. Настоящая диссертационная работа включает в себя методологические аспекты проведения таких лабораторных исследований, описание разработанного программного комплекса, обеспечивающего проведение этих исследований, а также результаты применения предложенных методик к исследованию конкретных алгоритмов управления движением макетов.

В рамках работы предложена модель тяги вентиляторных двигателей, которые в лабораторных условиях имитируют работу бортовых двигателей на сжатом газе. С помощью разработанной методики валидации были найдены параметры модели тяги двигателей с помощью калибровочных экспериментов, и оценены остаточные невязки измерений во время валидирующих экспериментов, что позволило сделать вывод об адекватности описания движения макетов на аэродинамическом столе с помощью этой модели. Для предложенной модели измерений навигационной системы была проведена оценка параметров и исследована величина случайных и систематических ошибок измерений положения центра масс макетов и угла ориентации. Для

улучшения точности оценок положения макетов и вычисления линейной и угловой скорости макетов в режиме реального времени был адаптирован алгоритм на основе фильтра Калмана. Для оценки возмущений, действующих на макеты на поверхности стола вследствие неоднородного потока воздуха из отверстий в столе и локальной негоризонтальности поверхности стола, в работе был реализован калибровочный эксперимент на основе обработки измерений во время свободного движения макета, движущегося из точек на равномерной сетке на поверхности стола.

Для реализации калибровочных и основных экспериментов диссертантом был разработан "Программный комплекс для моделирования работы алгоритмов управления движением наноспутников на аэродинамическом столе", зарегистрированный в ФГУ ФИПС. Программный комплекс обеспечивает взаимодействие рабочей Станции с бортовыми компьютерами макетов по сети Wi-Fi, реализует работу навигационной системы, ведет управление ходом эксперимента и записывает его результаты. Архитектура программного комплекса позволяет добавлять новые эксперименты с использованием реализованных пользователем функций, требуемых для реализации исследуемых алгоритмов управления движением макетов. Ключевой особенностью программного комплекса является возможность проведения экспериментов с произвольным числом макетов, что позволяет исследовать в лабораторных условиях работу алгоритмов управления групповым полётом малых спутников.

В диссертационной работе предложена методика интерпретации результатов лабораторных экспериментов по исследованию работы алгоритмов управления движением макетов космических аппаратов, которая позволяет сделать вывод о работоспособности алгоритма, или выявить границы его применения. Эта методика была применена для результатов экспериментов по стыковке макета космического аппарата с макетом космического мусора с помощью алгоритмов на основе метода виртуальных потенциалов и на основе метода State-Dependent-Riccati-Equation, что позволило выявить границу их работоспособности в области величины параметра угловой скорости макета космического мусора. Также была верифицирована логика работы алгоритма по управлению движением в задаче наблюдения за движением объекта космического мусора. Были проанализированы результаты эксперимента с демонстрацией основных этапов движения в задаче увода объекта космического мусора.

Все приведенные в диссертационной работе результаты являются новыми, они в достаточной мере опубликованы в международных и отечественных

изданиях. Полученные в диссертационной работе результаты получены автором самостоятельно. Научный руководитель занимался разработкой алгоритмов управления и постановкой задач. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ. Из них семь опубликованы в изданиях, включенных в перечень ВАК, шесть – в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и WoS.

За время работы над диссертацией Козин Филипп Александрович проявил себя как квалифицированный исследователь, специалист в области вычислительной математики, математического моделирования и программирования. Считаю, что выполненная Козиным Филиппом Александровичем диссертационная работа «Моделирование работы алгоритмов управления движением наноспутников на аэродинамическом столе» представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, удовлетворяет всем требованиям о присуждении учёных степеней. Автор диссертационной работы, Козин Ф.А., заслуживает присвоения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Старший научный сотрудник
федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики
им. М.В. Келдыша Российской академии наук»,
кандидат физико-математических наук,
доцент

Д.С. Иванов

07.03.2023

Подпись Иванова Данила Сергеевича заверяю

Ученый секретарь
федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики
им. М.В. Келдыша Российской академии наук»,
кандидат физико-математических наук



А.А. Давыдов