



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,
ИНН 6316000632, КПП 631601001

06 СЕН 2023

№ 98-4608

«06» сентября 2023 г.

На № _____ от _____



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –
проректор по научно-исследовательской работе

Прокофьев А.Б.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию 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»

Актуальность темы диссертации. В настоящее время одним из актуальных направлений современной космонавтики является создание группировок малых космических аппаратов (в том числе наноспутников), объединенных одной целевой задачей (системы связи, мониторинг геофизических полей, дистанционное зондирование Земли). При подготовке подобных миссий группового полёта необходимо проводить комплекс наземных испытаний, в том числе в лабораторных условиях, исследовать возможности применения систем управления для решения поставленных задач. Для проведения таких исследований могут использоваться стенды с аэродинамическим столом. Диссертация посвящена актуальной теме создания научной и методологической базы для задач моделирования работы алгоритмов управления движением наноспутников на полунатурном стенде, позволяющем имитировать относительное движение в орбитальной плоскости.

Общая характеристика диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и библиографии. Общий объем диссертации составляет 134 страницы, включая 83 рисунка и 8 таблиц. Библиография включает 79 наименований.

Во введении приведен обзор существующих стендов полунатурного моделирования, математических моделей и численных методов, которые используются для проведения лабораторных исследований, проведен анализ архитектур управляющих экспериментом программ, сформулированы цели и задачи работы, обоснована актуальность и описана научная новизна, а также изложено краткое содержание диссертационной работы.

В первой главе описаны предложенные модели движения макетов наноспутников на аэродинамическом столе с учётом действующих на них возмущений. Предложена модель тяги вентиляторных двигателей, позволяющих имитировать управляющее действие бортовых двигателей. В этой модели принимается во внимание эффективный угол установки вентиляторного двигателя, который совместно с другими параметрами модели оценивается в результате обработки результатов калибровочных экспериментов. Разработана методика валидации предложенной модели движения макетов. Предложена модель измерений навигационной системы и адаптирован алгоритм оценки вектора состояния макетов на поверхности аэродинамического стола на основе фильтра Калмана.

Вторая глава посвящена описанию разработанного программного комплекса для проведения лабораторных экспериментов по исследованию алгоритмов управления движением макетов малых спутников. Программный комплекс представляет собой набор программ, реализованных на стационарной электронной вычислительной машине и на бортовых компьютерах макетов наноспутников, взаимодействующих между собой по каналу связи. Разработана система классов и функций программного комплекса, позволяющая реализовать заданный набор исследуемых алгоритмов управления с возможностью добавления новых экспериментов, в которых задействовано произвольное число макетов.

В третьей главе приведено описание исследуемых алгоритмов управления движением и представлены результаты экспериментов, которые проанализированы согласно разработанной методике интерпретации. По результатам калибровочных экспериментов были получены оценки точности определения вектора состояния макетов с использованием измерений навигационной системы, получены оценки параметров модели тяги вентиляторных двигателей с учётом действующих на макеты возмущений. Для двух алгоритмов управления движением в задаче стыковки с объектом космического мусора выявлены границы работоспособности для заданных параметров системы. Также проведены лабораторные исследования алгоритмов управления движением для задач наблюдения и увода объекта космического мусора, проведен анализ результатов экспериментов.

В заключении сформулированы основные достигнутые в работе результаты.

Научная новизна. Основные результаты диссертации отличаются высоким уровнем научной новизны. Разработана математическая модель движения макетов малых спутников по поверхности аэродинамического стола с учётом возмущений, действующих на макеты, и с учётом особенностей имитации тяги бортовых двигателей с помощью вентиляторов. Предложена двухэтапная методика валидации этой модели с помощью серии калибровочных экспериментов для оценки параметров модели и серии экспериментов для проведения сравнения измеренных траекторий макетов с модельными траекториями, разница между которыми не должна превышать ошибок навигационной системы для успешной валидации модели. Создан программный комплекс, который позволяет провести лабораторные исследования работы алгоритмов управления движением произвольного числа макетов наноспутников, архитектура программного комплекса позволяет расширять набор экспериментов по управлению групповым полётом спутников. Разработана методика интерпретации результатов экспериментов, согласно которой проведен анализ эффективности группы алгоритмов управления движением в задачах активного увода космического мусора. Таким образом, научная новизна основных результатов диссертации не вызывает сомнений.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов. Представленная диссертация вносит существенный вклад в исследования и разработку методов лабораторного моделирования работы алгоритмов управления движением при групповом полёте наноспутников и моделирования управляемого движения в задачах активного увода объектов космического мусора. Предложенные модели движения макетов на аэродинамическом столе, тяги вентиляторных двигателей и навигационной системы позволяют провести исследования характеристик управляемого относительного движения космических аппаратов в плоскости орбиты. Результаты лабораторных исследований алгоритмов, полученных в диссертации, могут быть использованы профильными организациями (НПО им. С.А. Лавочкина, РКК Энергия, ИСС им. М.Ф. Решетнёва и др.) при разработке миссий по уводу объектов космического мусора. Кроме того, в диссертации представлены результаты исследования управляемого движения для разрабатываемой миссии на базе 3U-кубсата для наблюдения за объектом космического мусора.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и заключений диссертации обусловлена использованием классических методов

теоретической и небесной механики, математического анализа и математической статистики при разработке математических моделей движения макетов, а также подкрепляется результатами проведенной валидации предложенных математических моделей с использованием численного моделирования управляемого движения и с использованием результатов экспериментов на лабораторном стенде.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 9 отечественных и международных конференциях и семинарах, а также отражены в 11 печатных работах: 6 из них – статьи в изданиях, индексируемых в Scopus и/или Web of Science, 6 их них — в изданиях, включенных в перечень ВАК. На разработанный программный комплекс получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Замечания по диссертационной работе. Со стороны ведущей организации к работе имеется ряд замечаний.

1. Не понятно определение «эффективный» угол установки вентилятора.

2. При указанной схеме установки вентиляторов (рисунок 1.3) возможно взаимовлияние потоков воздуха и возникновение возмущений, не учитывающееся в модели движения макета.

3. Не обоснован вид полинома в формуле 1.7, определяющего дисторсионные искажения камеры.

4. Не указано возможна ли реализация программы управления движением на бортовом компьютере макета для реализации автономного сближения с объектом космического мусора.

Приведенные замечания **не снижают** научной и практической ценности полученных результатов, а также общей положительной оценки диссертационной работы.

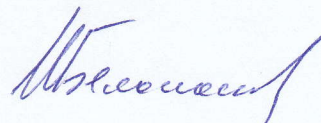
Заключение ведущей организации. Тема работы является актуальной и соответствует специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Кандидатская диссертация Козина Филиппа Александровича представляет собой законченную научно-квалификационную работу в области лабораторного моделирования управляемого движения малых спутников. На основании вышеизложенного считаем, что диссертационная работа «Моделирование работы алгоритмов управления движением наноспутников на аэродинамическом столе» в полной мере соответствует требованиям Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения учёных степеней», а её автор –

Козин Филипп Александрович – заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв о диссертационной работе Козина Ф.А. обсуждён и одобрен на расширенном заседании межвузовской кафедры космических исследований протокол №1 от 31.08.2023.

Отзыв составлен:

Белоконов Игорь Витальевич,
Заведующий межвузовской кафедрой
космических исследований, д.т.н., профессор



«04» сентября 2023 г.

Ломака Игорь Андреевич
Старший научный сотрудник НИЛ-102,
к.т.н.



«04» сентября 2023 г.

Подписи Белоконова И.В. и Ломаки И.А. удостоверяю:

Учёный секретарь университета



Васильева И.П.

Полное название организации: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

Адрес: 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34

Телефон: +7 (846) 267-43-70

Сайт организации: <https://ssau.ru/>

Электронная почта: ssau@ssau.ru