

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Морозова Виктора Михайловича 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»

Актуальность темы диссертации

Предметом исследования в диссертационной работе является моделирование управляемого движения наноспутников в групповом полете на лабораторном стенде. В последние десятилетия в ряде задач группового полета, таких как сервисное обслуживание, стыковка и увод объектов космического мусора с орбиты, все чаще рассматривается использование наноспутников. Это позволяет удешевить миссию, но накладывает дополнительные ограничения на возможности реализации алгоритмов управления для достижения успеха в поставленных задачах. Изучение работоспособности алгоритмов управления для подобных задач можно провести на стенде с аэродинамическим столом. Лабораторное моделирование, в свою очередь, накладывает ряд ограничений на возможность проведения исследования. Так, при моделировании необходимо учесть особенности самого аэродинамического стола, имитаторов двигателей наноспутника, имитации навигационной системы. Применение алгоритма определения относительного движения на основе фильтра Калмана позволяет учесть особенности навигационной системы, а оценка параметров модели вентиляторных двигателей с применением метода Ньютона и верификация этой модели позволяют повысить точность моделирования. Положительные результаты испытаний в ходе лабораторного моделирования позволяют надеяться на успешную работу системы в групповом орбитальном полете. С этой точки зрения тема диссертационной работы является актуальной.

В настоящей диссертационной работе предложены математические модели компонентов стенда и процедуры их калибровки, позволяющие повысить точность навигации и уменьшить ошибки движения по заданной относительной траектории за счет учета в алгоритме управления возмущений, действующих на макеты на аэродинамическом столе. Предложенный метод интерпретации результатов экспериментов позволяет получить оценку результативности алгоритмов управления “в целом”. Он применяется для оценки

работоспособности алгоритмов управления групповым полетом на стенде КОСМОС, расположенном в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Структура и содержание работы

Диссертация имеет общий объем 134 страницы и состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 79 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы и представлен обзор существующих достижений в предметной области исследования, формулируется цель работы, перечислены решенные задачи и выносимые на защиту результаты. Следует отметить, что работа в достаточной степени апробирована на научных конференциях и семинарах в различных научных организациях.

В первой главе сформулированы используемые подходы к имитации орбитального движения на аэродинамическом столе, представлено описание экспериментального стенда, описаны разработанные модели навигационной системы, вентиляторных двигателей и движения на столе. Описаны алгоритмы оценки параметров движения и моделей на основе фильтра Калмана и метода Ньютона. Сформулирована методика проверки обоснованности представленных моделей, основанная на сравнении результатов расчетов, откалиброванных по экспериментам моделей, с результатами проверочного эксперимента.

Во второй главе приведено описание системной архитектуры разработанного программного комплекса для проведения экспериментов, приведены особенности реализации калибровочных экспериментов, позволивших определить параметры моделей и особенности реализации основных экспериментов по исследованию алгоритмов управления макетами космических аппаратов в групповом полете.

В третьей главе описана предложенная методика интерпретации результатов основных экспериментов по исследованию алгоритмов управления относительным движением макетов, позволяющая определить границы их применимости и провести проверку представленной логики их выполнения. Представлены математические законы управления движением в основных экспериментах, в том числе для алгоритма управления движением на основе метода виртуальных потенциалов и на основе метода SDRE. Представлены эксперименты по проверке обоснованности рассматриваемых моделей стенда с помощью метода наименьших квадратов. При использовании метода Ньютона были получены оценки параметров модели тяги вентиляторных двигателей.

В заключении сформулированы основные выводы диссертационной работы.

Научная новизна результатов работы

Разработанная в диссертационной работе модель движения под действием вентиляторных двигателей с учетом эффективного угла установки является новой. Создан новый программный комплекс, позволяющий реализовать эксперименты на лабораторном стенде с произвольным числом макетов, при этом его архитектура является единой для расширяемого набора экспериментов по управлению групповым полётом спутников. Предложена методика интерпретации результатов экспериментов на стенде с аэродинамическим столом. В рамках работы получены новые результаты лабораторного исследования работоспособности алгоритмов управления для задачи стыковки с объектом космического мусора с использованием алгоритмов на основе метода виртуальных потенциалов и на основе метода SDRE (State-Dependent-Riccati-Equation).

Достоверность полученных результатов

Достоверность подтверждается апробацией на российских и международных конференциях, а также публикациями в рецензируемых изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science. Автором проведена проверка обоснованности разработанных моделей компонентов стенда путем сравнения результатов расчетов согласно откалиброванным моделям с результатами экспериментов. Проверка обоснованности работоспособности алгоритмов была проведена также при помощи интерпретации результатов проведенных экспериментов. Это свидетельствует о достоверности и обоснованности представленных в диссертации результатов.

Практическая значимость

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты лабораторных исследований алгоритмов управления движением могут быть учтены при разработке миссий по уводу объектов космического мусора с околоземной орбиты с использованием малых спутников. В частности, на стенде были проведены исследования управляемого движения для разрабатываемой миссии по наблюдению за объектом космического мусора. О

практической значимости свидетельствует также наличие свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Замечания

1. В работе не проведен анализ управляемости рассмотренной системы уравнений управляемого движения макетов на аэродинамическом столе и не проведен анализ наблюдаемости с использованием измерений навигационной системы.
2. В описании алгоритма SDRE матрица динамики системы A в явном виде не является функцией от вектора состояния \bar{x} , что противоречит исходным предположениям для использования этого алгоритма. Следовало бы привести зависимость относительной угловой скорости $\omega_{отн}$ и её производной от вектора состояния в явном виде.
3. В тексте диссертации нет описания методики получения полиномиальной зависимости возмущающих ускорений от положения макета на столе, компенсация которых позволяет улучшить точность отслеживания траектории.
4. В ряде мест текста диссертации используются неудачные обозначения, затрудняющие чтение материала, есть ошибки в подписях рисунков.

Указанные недостатки не влияют на общую высокую положительную оценку диссертационной работы.

Заключительные выводы

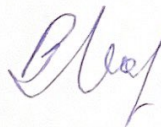
Диссертационная работа и автореферат Ф.А. Козина по содержанию и представленным результатам соответствует паспорту специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Анализ полученных теоретических и практических результатов позволяет считать, что диссертация Ф.А. Козина является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема создания математических методов для проведения исследования алгоритмов группового движения наноспутников. Приведенные в диссертации результаты достаточно полно отражены в 11 печатных работах.

Считаю, что диссертационная работа «Моделирование работы алгоритмов управления движением наноспутников на аэродинамическом столе» удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ (Постановление Правительства 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а автор заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент
Доктор физ.-мат. наук, профессор,
главный научный сотрудник
НИИ Механики МГУ
имени М.В. Ломоносова

17.07.2023



Морозов В. М.

Подпись В.М. Морозова заверяю
И. о. Директора НИИ Механики МГУ
имени М.В. Ломоносова
Профессор Д.В. Георгиевский



Адрес:

119192 Москва, Мичуринский проспект, д. 1, НИИ механики МГУ

Телефон: +7 (495) 939-31-10

e-mail: moroz@imec.msu.ru