



**Российский университет
дружбы народов (РУДН)**

ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198
ОГРН 1027739189323; ОКПО 02066463; ИНН 7728073720

Телефон: +7495 434 53 00, факс: +7495 433 15 11
www.rudn.ru; rudn@rudn.ru

29 марта 2021г.
№ 2020-01-28/39

Председателю диссертационного совета
Д 212.125.12
на базе Московского авиационного
института (национального
исследовательского университета),
доктору технических наук, профессору
В.В. Малышеву

125993, г. Москва,
Волоколамское ш., д. 4, А-80, ГСП-3

Уважаемый Вениамин Васильевич!

Направляю отзыв ведущей организации на диссертационную работу Хоанг Ву Тан «Разработка алгоритмов управления движением космического аппарата системы обслуживания геостационарных спутников связи», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки).

Приложение: отзыв ведущей организации на 4 лист., 2 экз.

Первый проректор –
проректор по научной работе



А.А. Костин

Отдел документационного
обеспечения МАИ

30 03 2021г.

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –
проректор по научной работе РУДН,
доктор медицинских наук, профессор,
член-корреспондент РАН



А.А. Костин

«30» 03 2021 г.

М.П.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН) на диссертационную работу Хоанг Ву Тан «Разработка алгоритмов управления движением космического аппарата системы обслуживания геостационарных спутников связи», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)

В диссертационной работе Хоанг Ву Тана решается важная научно-техническая задача высокоточного определения параметров управления движением обслуживающего космического аппарата, оснащенного двигателями малой, на этапе его выведения и удержания в окрестности обслуживаемого объекта на геостационарной орбите.

Актуальность темы диссертационной работы

Одним из важнейших направлений развития космической техники является обслуживание искусственных спутников Земли автоматическими космическими аппаратами (КА) непосредственно на орбите. В данном направлении ведут исследования многие ведущие организации аэрокосмической отрасли как в России, так и за рубежом. В открытых источниках и статьях можно найти технические конструкционные решения различных сервисных космических аппаратов, решения, связанные с юридическими аспектами задачи обслуживания, вопросы баллистического проектирования космических обслуживающих систем, однако, в них мало рассмотрены вопросы автономной навигации и управления относительным движением КА в процессе обслуживания с учетом возмущающих факторов. Решение рассматриваемой задачи определения параметров управления приведения обслуживающего КА в окрестность рабочей позиции обслуживаемого спутника и удержания относительно него с учетом детерминированных и случайных возмущений позволит внести значительный вклад в решение задачи баллистического обоснования космических обслуживающих систем в целом.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 60 наименований. Текст диссертации изложен на 104 страницах, включает 40 рисунков и 1 таблицу.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, цель и задачи исследования, отмечена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту, а также информация по апробации результатов работы. Описана структура диссертации.

В первой главе приведен обзор проектов систем беспилотного обслуживания КА на орбите и сформулирована постановка задачи. Принято допущение о том, что система

обеспечения МАИ

«30» 03 2021 г.

обслуживания геостационарных спутников, рассматриваемых в качестве целевых модулей (ЦМ), будет базироваться на круговой экваториальной орбите вне пояса безопасности геостационарной орбиты. Ее группировка включает нескольких станций. В состав каждой станции входят отделяемые сервисные модули (СМ), которые будут самостоятельно выполнять функции обслуживания, совершая перемещения от станции к целевому модулю (ЦМ) и обратно. С точки зрения разработки алгоритмов управления движением СМ, для реализации операций обслуживания, необходимо решать две базовые задачи. Первая из них заключается в приведении вектора состояния СМ в заданную область пространства в окрестности ЦМ. Вторая задача – удержание СМ относительно ЦМ в течение заданного времени.

Во второй главе дана математическая формализация задачи автономного управления движением СМ и приведены математические модели движения центра масс СМ и ЦМ в процессе обслуживания. Предложено использовать несколько моделей возмущенного движения КА. Полная (исходная) модель управляемого движения центра масс СМ и ЦМ – это система нелинейных дифференциальных уравнений в инерциальной системе J2000 с учетом возмущений от нецентральной гравитационного поля Земли, гравитационного воздействия Луны и Солнца, давления солнечного света, ошибок реализации тяги и ориентации вектора тяги двигателя. Для синтеза оптимального управления используется линеаризованная в окрестности номинальной орбиты заданного радиуса модель управляемого движения. Эта модель используется при синтезе алгоритмов управления в плоскости орбиты и управления плоскостью орбиты отдельно.

В третьей главе приведены разработанные алгоритмы автономного управления движением центра масс СМ на этапе его приведения в окрестность рабочей позиции ЦМ и удержания относительно ЦМ в процессе обслуживания. Алгоритмы управления создаются путем решения стохастической задачи синтеза оптимального управления по полным данным с использованием достаточных условий оптимальности.

Алгоритм синтеза оптимального управления разработан с использованием комбинированного метода оптимизации, при котором вектор управления разделяется на синтезируемую и программируемую составляющие. Программной составляющей является количество коррекции и моменты проведения коррекций, для нахождения которых применяются численные методы. Синтезируемой составляющей является закон определения величин управляющих воздействий для коррекции углового положения и эксцентриситета орбиты СМ. На этапе приведения параметры (коэффициенты обратной связи) синтезируемой составляющей определяются методом последовательных приближений, сходимость которого напрямую связана с полученным начальным приближением, генерируемым с помощью специально разработанного алгоритма.

На этапе удержания для поиска синтезируемой составляющей вводится предположение о существовании установившегося режима, когда коэффициенты обратной связи не зависят от времени. Моменты проведения коррекций удержания выбираются из условия ликвидации относительного эксцентриситета орбит СМ и ЦМ.

В четвертой главе проводится результат работы работы программного комплекса, реализующего все разработанные алгоритмы.

Проведено моделирование для случая с идеальным управлением и статистическое моделирование при известных статистических характеристиках ошибок. По результатам моделирования строятся гистограммы, характеризующие статистические характеристики терминальной точности управления движением центра масс СМ на этапах его приведения в окрестность рабочей позиции ЦМ и удержания относительно ЦМ с использованием двигательной установки малой тяги.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Целью диссертационной работы являлась разработка алгоритмов автономного управления движением центра масс КА при обслуживании объектов в окрестности геостационарной орбиты. Поставленная цель была достигнута.

Научную новизну диссертационной работы определяют следующие результаты:

1. Алгоритм генерации начального приближения для устойчивого решения задачи синтеза субоптимального управления движением центра масс СМ методом последовательных приближений в сочетании с комбинированным методом оптимизации на этапе его приведения в окрестность рабочей позиции ЦМ в стохастической постановке по интегро-терминальному критерию с учетом детерминированных возмущений от гравитационного поля Земли, гравитации Луны и Солнца и случайных ошибок управления и навигации.

2. Алгоритм удержания СМ относительно ЦМ на допустимом расстоянии в процессе обслуживания в стохастической постановке.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается использованием для их получения строгих математических методов, а также сравнением полученных результатов с ранее опубликованными результатами других авторов, работающих в данном направлении.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов состоит в создании программно-алгоритмического аппарата синтеза оптимального стохастического управления двигателями малой тяги на этапах выведения и удержания обслуживаемого КА в окрестности рабочей позиции обслуживаемого спутника на ГСО в условиях действия различных возмущающих факторов. Программно-математический комплекс имеет открытую архитектуру и может быть использован для решения задачи отработки средств автономного проведения динамических операций КА непосредственно на борту обслуживаемых КА. Полученные результаты показывают, что разработанные алгоритмы и программно-моделирующий комплекс могут быть использованы при проектировании автономных систем управления динамическими операциями КА на околокруговых орбитах, отличных от ГСО.

Апробация диссертационной работы и публикации по теме диссертации

Результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на пяти международных и российских научных конференциях. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 8 печатных работах, в том числе в двух работах в журналах из перечня ВАК, в одном источнике, индексируемом в базе данных Scopus.

Автореферат имеет четкую логическую структуру и в полной мере отражает содержание диссертации. В автореферате изложены основные идеи и выводы диссертации, показаны вклад автора в проведенное исследование, степень новизны и практическая значимость приведенных результатов исследований, содержатся сведения об организации, в которой выполнена диссертация, об оппонентах и ведущей организации, о научном руководителе соискателя ученой степени, приведен список публикаций автора, в которых отражены основные научные результаты диссертации.

Автореферат работы в полной мере отражает содержание диссертации.

Замечания по работе

1. Автором недостаточно полно рассмотрено управление наклоном и долготой восходящего узла на переходной орбите сервисного модуля.

2. Количество проведенных испытаний по методу Монте-Карло достаточно для подтверждения работоспособности полученных алгоритмов, но недостаточно для их практического внедрения.

3. В тексте диссертации и автореферата присутствует ряд грамматических и стилистических ошибок.

Отмеченные недостатки не снижают значение полученных автором результатов, не влияют на общую высокую оценку работы.

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Хоанг Ву Тана на тему «Разработка алгоритмов управления движением космического аппарата системы обслуживания геостационарных спутников связи» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной научной задачи, имеющей важное научное и практическое значение для развития космической отрасли. Работа соответствует паспорту специальности 05.07.09 Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

На основании текстов диссертации и автореферата можно сделать вывод о том, что работа Хоанг Ву Тана является научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, предъявляемым к квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Хоанг Ву Тан, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки).

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании департамента механики и мехатроники Инженерной академии РУДН. Протокол заседания от 10.03.2021 № 2022-30/09-04/07.

Первый заместитель – заместитель по научной работе
директора Инженерной академии,
доктор технических наук (05.07.05), доцент



С.А. Купреев

Доцент департамента механики и мехатроники Инженерной академии,
кандидат технических наук (05.07.09), с.н.с.

О.Е. Самусенко

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов» (РУДН)

Почтовый адрес: 117198, г. Москва, улица Миклухо-Маклая, дом 6

Телефон: +74999368787

Электронная почта: information@rudn.ru

Официальный сайт: www.rudn.ru