

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.03, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15 ноября 2024 года, № 12
о присуждении Чжоу Сяо, гражданину Китайской Народной Республики,
учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Оптимальное управление космическим аппаратом с малой тягой в задаче некомпланарного сближения с пассивным объектом», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов принята к защите 12 сентября 2024 г. (протокол заседания № 9) диссертационным советом 24.2.379.03, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (443086, г. Самара, Московское шоссе, 34), приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 декабря 2018 г. № 365/нк с изменениями, внесенными приказами от 07.07.2021 №670/нк, от 03.06.2021 №561/нк, от 03.10.2022 №1097/нк, от 12.12.2023 №2298/нк.

Соискатель Чжоу Сяо, 1996 года рождения, в 2020 г. с отличием освоил программу магистратуры в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», по специальности 24.04.01. Ракетные комплексы и космонавтика, в 2024 г. освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», в настоящее время обучается в институте дополнительного профессионального образования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский

университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре динамики полёта и систем управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Ишков Сергей Алексеевич, профессор кафедрой динамики полёта и систем управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Официальные оппоненты: Петухов Вячеслав Георгиевич, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», директор Научно-исследовательского института прикладной механики и электродинамики; Гришко Дмитрий Александрович, кандидат физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», доцент кафедры ФН-3 «Теоретическая механика» им. профессора Н. Е. Жуковского, - дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», г. Омск, **в своем положительном заключении**, подписанном заведующим кафедрой «Авиа- и ракетостроение» кандидатом технических наук, доцентом Яковлевым Алексеем Борисовичем, профессором кафедрой «Авиа- и ракетостроение» доктором технических наук, профессором Трушляковым Валерием Ивановичем, старшим преподавателем кафедры «Авиа- и ракетостроение» кандидатом технических наук Урбанским Владиславом Александровичем, утверждённом проректором по научной и инновационной деятельности доктором технических наук, доцентом Ложниковым Павлом Сергеевичем, указала, что диссертационная работа является завершённой научно-квалификационной работой, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Чжоу Сяо, заслуживает присуждения учёной степени кандидата

технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 5 работ; из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы (из них 2 статьи – в научных изданиях, рекомендованных ВАК; 1 статья – в базах Scopus и Web of Science). Общий объём публикаций составляет 5,31 п.л., авторский вклад 3,66 п.л. (69%). Из публикаций лично соискателю принадлежат: математическая модель пространственного относительного движения маневрирующего КА, инвариантная к параметрам опорной орбиты и величине ускорения от тяги; методика определения оптимальных программ управления; исследование структур управления пространственным относительным движением с использованием принципа максимума Понтрягина при свободной ориентации вектора тяги по критериям быстродействия и минимума моторного времени для типовых граничных условий; оптимальные программы управления при ориентации вектора тяги в плоскости местного горизонта; анализ степени эффективности для сокращения моторного времени по сравнению с управлением со свободной ориентацией при фиксированном общем времени; методика формулирования номинального управления в задаче сближения КА и пассивного объекта с учётом фазирования на этапах дальнего и ближнего наведения.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Наиболее значимые работы:

1. **Чжоу, С.** Оптимальное управление относительным движением космического аппарата по критерию быстродействия на околокруговых орбитах / С. Чжоу, С. А. Ишков, Г. А. Филиппов // Вестник Московского авиационного института. 2023. Т. 30. № 3. С. 2-12. (статья 1,27 п.л.).
2. Ishkov, S.A. Pareto-optimal control of relative motion in the orbital maneuvering problem of spacecraft with finite thrust; [帕累托 -有限推力航天器轨道机动问题中相对运动的最优控制] / S.A. Ishkov, G.A. Filippov, **X. Zhou**, etc.// Xibei Gongye Daxue Xuebao/Journal of Northwestern Polytechnical University. — 2023. — Т. 41. Вып. 3. № 3. — С. 529-536. (статья 0,92 п.л.).
3. **Чжоу, С.** Оптимальное управление в задаче орбитального аппарата с ограниченной малой тягой / С. Чжоу, С. А. Ишков, Г. А. Филиппов // Вестник Московского авиационного института. 2024. Т. 31. № 1. С. 204-214. (статья 1,27 п.л.).

4. Ишков, С.А. Выбор номинальной программы управления сближением сервисного космического аппарата с космическим мусором. / С. А. Ишков, С. Чжоу, Г. А. Филиппов, П. В. Фадеенков // Управление движением и навигация летательных аппаратов: сборник трудов XXVI Всероссийского семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов: Самара, 14-16 июня 2023 г. – Самара: Издательство Самарского университета, 2023. – С.27-33. (статья 0,81 п.л.).
5. **Чжоу, С.** Применение метода коллокации и гомотопии в задаче об оптимальном управлении при сближении космических аппаратов./ **С. Чжоу** //Управление движением и навигация летательных аппаратов: сборник трудов XXVI Всероссийского семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов : Самара, 14-16 июня 2023 г. – Самара: Издательство Самарского университета, 2023. – С.83-91. (статья 1,04 п.л.).

На диссертацию и автореферат поступило 3 отзыва от организаций.

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Самарский федеральный исследовательский центр РАН», г. Самара, подписан заместителем директора по научной работе СамНЦ РАН, к.т.н. Соколовым В.О. Замечания: В автореферате не показано отличие разработанных методик от уже известных. Автором используются малоизвестные уравнения движения в орбитальной цилиндрической системе координат, которые сведены к переменным, описывающим вековое и периодическое движение. Следовало бы указать как данные переменные связаны с общеизвестными окулирующими элементами орбитального движения. Автором использована линейная модель относительного движения, при этом в автореферате не указывается для каких начальных отклонений параметров движения двух космических аппаратов эта модель может быть применена. Достаточно слабо исследованы вопросы точности решений, полученных с применением линейной модели движения.

2. Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара, подписан первым заместителем генерального директора – генеральным конструктором - начальником ЦСКБ АО «РКЦ «Прогресс», д.т.н. Ахметовым Р. Н. Замечания: В автореферате не указано, в чём состоит отличие разработанной безразмерной математической модели от аналогичных моделей, используемых в работах других авторов. Представлен единичный расчёт траектории приведения космического аппарата в окрестность пассивного объекта.

3. Акционерное общество «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», г. Санкт-Петербург, подписан ведущим научный сотрудник отдела 022 АО

«Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», д.т.н. Пелевиным А. Е. Замечания: В автореферате не ясно, на основании только ли результатов расчётов сделано заключение о хорошей сходимости разработанной методики (стр.9); Приведенные на рисунке 10 изменение параметров относительного движения на заключительном участке не характеризуют точность линейной модели при решении краевой задачи, поскольку представляется, что именно на этом участке линейная модель описывает относительное движение с достаточной степенью точности.

Во всех отзывах отмечено, что указанные недостатки не снижают научную и практическую значимость работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации. Во всех отзывах отмечено, что диссертация соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Чжоу Сяо учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Выбор Петухова Вячеслава Георгиевича, в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является крупным специалистом в области ракетно-космических систем, динамики и управления движением космических аппаратов в том числе, космических аппаратов с электроракетными двигателями.

Выбор Гришко Дмитрия Александровича в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является опытным специалистом в области оптимизации управления в задачах сближения космических аппаратов на некомпланарных орбитах.

Выбор ведущей организации связан с широко известными достижениями её специалистов в областях: теория движения космических аппаратов, управление движением космических аппаратов, и небесной механики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана математическая модель с использованием безразмерных параметров векового и периодического относительного движения, описывающая пространственное сближение маневрирующего КА с малой тягой и пассивного объекта на околокруговых орбитах;

разработана методика формирования оптимального управления пространственным относительным движением КА с малой тягой при свободной ориентации и при ориентации вектора тяги в плоскости местного

горизонта по критериям быстродействия и минимума моторного времени на основе принципа максимума Понтрягина;

разработана методика формирования номинального управления КА с двигателем малой тяги в задаче сближения с пассивным объектом, находящимся на высокой околоземной орбите с учётом фазирования на этапах дальнего и ближнего наведения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

разработана математическая модель с использованием параметров векового и периодического относительного движения, описывающая пространственное сближение маневрирующего КА, позволяющая проводить построения универсальных решений оптимального управления.

представлено применение принципа максимума Понтрягина для построения оптимального управления, и последующего решения к двухточечной краевой задаче численными методами.

продемонстрирована эффективность метода гомотопии для решения краевой задачи при смене критерия оптимальности (от задачи быстродействия к задаче минимизации моторного времени)

изучена точность принимаемой модели в задаче сближения на некомпланарных орбитах в околоземной пространстве.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработано программно-математическое обеспечение, предназначенное для формирования оптимального номинального управления относительным движением космических аппаратов на некомпланарных орбитах;

получены результаты формирования оптимального номинального управления и соответствующих траекторий в цилиндрической системе координат при типовых граничных условиях по критериям быстродействия и минимума моторного времени;

сформулированы выводы и практические рекомендации по использованию разработанных алгоритмов управления движением КА с малой тягой в задаче сближения на околоземной пространстве.

Оценка достоверности теоретических результатов обеспечивается:

теорией на известных классических методах (обеспечивается корректным использованием линейной теории возмущений, метода теории оптимального управления, метода вычислительной и высшей математики) и согласуется с известными результатами по исследованию движения в рамках задачи сближения.

Личный вклад соискателя состоит в:

разработке методов и алгоритмов управления, в аналитических преобразованиях при построении математических моделей относительного движения КА с малой тягой и при получении аналитических оценок, в написании исходного кода программ моделирования управляемого относительного движения КА с малой тягой, в проведении численных расчётов, в анализе результатов моделирования, в обработке и интерпретации результатов численных экспериментов, в апробации результатов исследования, в подготовке основных публикаций по выполненной работе. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором либо лично, либо при его определяющем личном участии.

В ходе защиты диссертационной работы критических замечаний высказано не было.

Соискатель в ходе защиты ответил на все задаваемые вопросы.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, работа содержит решение актуальной задачи управления относительным движением КА с малой тягой в околоземном пространстве.

На заседании 15 ноября 2024 г. диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, принял решение присудить Чжоу Сяо учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета 24.2.379.03



Шахматов Евгений Владимирович

Учёный секретарь
диссертационного совета 24.2.379.03

15.11.2024

Крамлих Андрей Васильевич