ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию Юй Вэйцзе на тему «Формирование периодических орбит космического аппарата с солнечным парусом в окрестности точки либрации L2 системы Земля-Луна», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

I. Актуальность темы диссертации

Диссертация посвящена исследованию и разработке методик формирования и поддержания искусственных орбит для космических аппаратов (КА) с солнечным парусом (СП) в системе Земля-Луна. Она вносит значительный вклад в развитие методической базы и может способствовать успешной реализации будущих космических миссий.

В ближайшем будущем исследование и освоение Луны, особенно её обратной стороны и полярных областей, станет приоритетом космических программ. Для успешного выполнения этих программ необходимы надежные системы связи и навигации. Естественные орбиты вокруг точки L2 системы Земля-Луна, такие как орбиты Лиссажу, Ляпунова и гало-орбиты, часто выбираются для функционирования таких систем. Однако искусственные периодические орбиты, включая резонансные и цилиндрические орбиты вокруг точки L2, могут лучше удовлетворять специфические потребности различных миссий, несмотря на необходимость постоянного расхода топлива для их поддержания.

Использование КА с СП позволяет избежать расхода топлива и продлить срок их функционирования. Путём выбора параметров СП можно создавать искусственные орбиты с различными геометрическими параметрами, а также осуществлять выведение и поддержание КА на эти орбиты. Это особенно важно в условиях ограниченных ресурсов и необходимости повышения эффективности космических миссий.

Таким образом, тема диссертационной работы «Формирование периодических орбит космического аппарата с солнечным парусом в окрестности точки либрации L2 системы Земля-Луна» является актуальной.

II. Новизна проведённых исследований и полученных результатов

Научная новизна данной диссертации заключается в разработке методик и вычислительных процедур для формирования и поддержания искусственных орбит космических аппаратов (КА) с солнечным парусом (СП) в системе Земля-Луна. В отличие от большинства исследований, сосредоточенных на системе Солнце-Земля, данная работа учитывает уникальные сложности управления траекторией КА с СП в системе Земля-Луна, где относительное положение Солнца постоянно изменяется.

В диссертационной работе получены следующие результаты, имеющие научную новизну:

1. Разработаны методики и вычислительные процедуры формирования искусственных периодических орбит на основе линеаризации динамических уравнений КА с СП в окрестности точки L2 системы Земля-Луна и использования метода множественной стрельбы.

2. Разработаны методика и вычислительная процедура определения управления для поддержания орбит КА с СП на основе адаптивного управления в скользящем режиме с учётом особенностей движения системы Солнце-Земля-Луна.

3. Разработаны методики и вычислительные процедуры оптимизации программы управления выведением КА с СП на искусственные периодические орбиты с использованием естественных периодических орбит в качестве начального приближения.

Входящий № 06-7093
Дата 03 ОКТ 2024
Самарский университет

III. Степень обоснованности и достоверности каждого из полученных положении, выводов и заключений

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным применением методов небесной механики, математики, классических вычислительных методов, апробированных методов теории оптимального управления и согласованностью полученных результатов с известными результатами по исследованию движения в рамках задачи трёх тел.

Апробация результатов исследования осуществлялась на научных и научнопрактических конференциях всероссийского и международного уровней. Основные научные результаты диссертационного исследования отражены в публикациях соискателя.

IV. Значимость результатов, полученных в диссертации для науки и практики

Значимость полученных автором результатов для науки вообще и прикладной научной дисциплины «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», заключается в разработке комплекса математических моделей гелиоцентрического управляемого движения центра масс КА с СП, которая включает в себя:

1. Разработаны методики формирования искусственных периодических орбит космических аппаратов (КА) с солнечным парусом (СП). Эти методики включают в себя линеаризацию динамических уравнений и использование метода множественной стрельбы, что позволяет эффективно формировать орбиты в окрестности точки L2 системы Земля-Луна.

2. Разработана методика поддержания орбит КА с СП с учётом особенностей движения системы Солнце-Земля-Луна. Это включает адаптивное управление в скользящем режиме, что повышает робастность и адаптируемость алгоритмов поддержания орбит.

3. Разработаны методики оптимизации программы управления выведением КА с СП на искусственные периодические орбиты, обеспечивающие лучшую сходимость и устойчивость в решении задач оптимизации.

С точки зрения практического применения, значимыми результатами являются:

1. Получены зависимости характеристик сформированных искусственных периодических орбит от углов установки паруса, начального относительного положения Солнца и проектных параметров КА с СП.

2. Определены зависимости минимальной длительности перелёта от начальных условий на опорных орбитах, положения целевой точки и начального положения КА.

V. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности

Область исследования соответствует п. 1 «Разработка и совершенствование математических моделей, используемых для описания движения и управления летательным аппаратом на различных режимах полёта», п. 5 «Создание методов анализа и проектирования траекторий одиночных летательных аппаратов, а также группы ЛА» и п. 17 «Совершенствование методов анализа и оптимизации орбитальных структур спутниковых систем, их обслуживания и эксплуатации» паспорта специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

VI. Общие замечании по содержанию и оформлению диссертации

Структура работы в целом замечаний не вызывает. В ней в логической последовательности раскрыты все основные вопросы темы. Рукопись диссертации включает введение, четыре главы основного материала, заключение, список литературы из 84 наименований. Общий объем

диссертации составляет 110 страниц текста, включая 10 таблиц и 48 рисунка. Тематика и содержание диссертации полностью соответствуют паспорту специальности 2.5.16. - Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов, а основные результаты, полученные соискателем, находят отражение в 4 печатных работах, из которых: 2 публикации в ведущих рецензируемых научных журналах, определённых Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается непротиворечивой методологической платформой и взаимосвязанностью выводов. Структура диссертации соответствует заявленной теме, цели и задачам исследования, раскрывает его основные проблемы и выводы. Каждая из частей диссертации составляет органическое единство с другими частями. Диссертация содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые автором для публичной защиты, что свидетельствуете весовом личном вкладе автора в науку. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями и результатами экспериментов.

Диссертация и автореферат написаны на высоком научном и методическом уровне. Стиль изложения построен логично, грамотен и понятен.

Вместе с тем по работе имеется ряд замечаний:

1. Соискатель использовал модель СП с управляемой отражательной способностью, но не предоставил описание соответствия между конструкцией и параметрами СП. В реальности сложно добиться произвольно и точно управляемой отражательной способности, что создаёт трудности при проектировании и размещении устройств управления СП.

2. В уравнениях динамики КА с СП не учитывается влияние теней Земли и Луны. Возможно, это влияние незначительно, но оно требует расчёта и объяснения.

3. Алгоритмы формирования резонансных и цилиндрических орбит должны быть интегрированы в программные комплексы для исследования и проектирования орбит.

4. Формы резонансных орбит и изменения их параметров, показанные на рисунках 13-17, следует отображать более интуитивно. Также необходимо более глубоко проанализировать ценность использования резонансных орбит с различными параметрами.

5. Ключевым параметром цилиндрической орбиты, используемой для размещения спутников-ретрансляторов связи между южным полюсом Луны и Землёй, должна быть не высота орбиты, а угловая высота относительно зон обслуживания.

6. В разделе 3.2 помимо моделирования поддержания орбиты КА в устойчивом состоянии, необходимо выполнить моделирование в переходном процессе с начальной ошибкой.

7. Конкретное значение угла ϑ, показанное на стр. 73, нелегко понять, хотя после внимательного рассмотрения описание оказывается полным.

8. Использование разницы во времени Δt_0, показанной на стр. 78, ограничено. Когда Δt_0 превышает один орбитальный период T, оно больше не применяется. В тексте отсутствует описание этих ограничений.

9. Минимальное время перелёта, полученное в разделах 4.2 и 4.3, не является глобальным минимумом, пока не будет доказана независимость влияющих факторов. Это требует дальнейшего разъяснения, или, в качестве альтернативы, полученное минимальное время перелёта считается достаточно близким к глобальному минимуму.

VII. Заключение

Приведенные замечания не снижают положительного впечатления о работе, как о законченном научном исследовании сложной научно-технической задачи, имеющей практическое применение в освоении космоса. Проведенные научные исследования можно характеризовать как научно обоснованные технические разработки, обеспечивающие формирования, поддержания и осуществления выведения КА с СП на орбиты вблизи точки L2 в системе Земля-Луна, которые учитывают относительное движение Земли, Луны и Солнца, а также неидеального отражения СП.

Хотелось бы отметить творческую роль и энтузиазм поддержки диссертанта его научным руководителем профессором Ольгой Леонардовной Стариновой, являющейся ведущим специалистом в России по динамике КА с малой тягой солнечных парусов. Её научные советы и умелое методическое руководство во многом способствовали профессиональному росту диссертанта, выполнившего свою диссертационную работу на высоком научным уровне и в планируемые сроки.

Работа написана простым доходчивым языком и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны чёткие выводы. Считаю, что диссертационное исследование выполнено на нестандартную для механики космического полёта тему парусных перелетов и опирается на большое количество литературы отечественных и зарубежных авторов. Это показывает высокую квалификацию соискателя в механике космического полёта и его широкую осведомлённость об источниках на тему анализируемой проблемы.

В автореферате диссертации изложены основные идеи и выводы диссертационного исследования, показан вклад соискателя в разработку избранной темы, степень новизны и значимости результатов исследований, а также обоснована структура диссертации.

По актуальности, новизне, объёму, научной и практической ценности проведённых исследований диссертация отвечает требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор, Юй Вэйцзе, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. - Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Доцент кафедры небесной механики СПбГУ,
к.ф.-м.н., доцент, лауреат Премии
им. Ф. А. Цандера Поляхова Елена Николаевна

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет»,
198504, Санкт-Петербург, Петергоф,
Университетский просп., 28,
тел. +7 (812) 363-90-13,
e-mail: pol@astro.spbu.ru

Личную подпись Поляховой Е.Н.
заверяю
Заместитель начальника
Управления кадров О.С. Суворова
17.09.2024

Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей

Текст документа размещен
в открытом доступе
на сайте СПбГУ по адресу
http://spbu.ru/science/expert.html