

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук

Родникова Александра Владимировича

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

Актуальность темы диссертации

Работа Юй Вэйцзе посвящена исследованию динамики полёта космического аппарата (КА) с солнечным парусом (СП) в задачах формирования, поддержания и осуществления выведения на искусственно поддерживаемые периодические орбиты в окрестности точки либрации L2 системы Земля-Луна. Благодаря своему уникальному положению и динамическим свойствам, этой точки, КА в неё помещённый одновременно обеспечивает обсервацию обратной стороны Луны и возможность организации ретрансляционной связи с Землёй. Таким образом, «освоение» точки L2 представляется необходимым звеном в будущих крупномасштабных исследованиях и колонизации Луны. Не все связанные с такими исследованиями миссии могут довольствоваться естественными орбитами вблизи L2. Диссертация Юй Вэйцзе посвящена формированию периодических орбит, отличных от естественных, благодаря использованию СП. Также в диссертации рассматриваются вопросы поддержания искусственных периодических орбит и управления выведением КА с СП на такие орбиты.

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

Результаты работы могут быть использованы при проектировании окололунных ретрансляционных спутниковых систем связи на базе КА с СП переменной отражательной способности. Этой же цели могут служить полученные в диссертационной работе зависимости характеристик орбит и минимальной длительности выведения КА на орбиты от проектных параметров СП.

Структура диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка цитируемой литературы.

Во введении оценивается степень разработанности изучаемой в диссертационной работе проблемы, указываются цели исследования, формулируются положения, выносимые на защиту.

В первой главе описаны основные аспекты движения КА с СП в окрестности точки либрации L2 системы Земля-Луна. Проанализировано большинство существующих исследований в области применения СП для космических полётов в окрестности точек либрации системы Земля-Луна и основных методов исследования движения КА с СП. Разработаны и описаны применяемые далее в диссертации математические модели движения КА с СП с переменной отражательной способностью в рамках круговой ограниченной задачи трёх тел вблизи точки либрации L2 системы Земля-Луна.

Во второй главе разрабатывается методика формирования искусственных орбит вблизи точки либрации L2 системы Земля-Луна (резонансных орбит второго порядка и цилиндрических орбит). Для формирования резонансной орбиты второго порядка используется метод множественной стрельбы, методика формирования цилиндрической орбиты базируется на линеаризации уравнения движения. Проведены численные эксперименты и анализ зависимости геометрических характеристик полученных периодических орбит от проектных и

Входящий № 206-7640
Дата 21 ОКТ 2024
Самарский университет

баллистических параметров.

В третьей главе описывается разработанная методика поддержания искусственных периодических орбит с помощью изменения отражательной способности и изменения угла установки СП. Эта методика основана на использовании управления в скользящем режиме и обладает высокими точностью, надёжностью и адаптивностью.

В четвёртой главе рассматривается задача выведения КА с естественных гало орбит или орбит Ляпунова на искусственные орбиты с помощью специальных алгоритмов управления СП. Разрабатываются методики и вычислительные процедуры оптимального по быстродействию выведения КА с СП на искусственные орбиты. Проанализирована зависимость минимального времени перелёта от проектных параметров СП и баллистических параметров орбит.

В заключении кратко формулируются основные результаты диссертационной работы.

Новизна проведённых исследований и полученных результатов

К основным результатам, полученным в диссертационной работе и имеющим научную новизну, можно отнести

- 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 в случае, когда СП представляется плоским полностью или частично отражающим зеркалом.
- методику и вычислительную процедуру определения управления СП для поддержания искусственных орбит КА на основе адаптивного управления в скользящем режиме с учётом особенностей движения системы Солнце-Земля-Луна. При этом управляющими параметрами служат углы наклона СП и переменный коэффициент отражения материала паруса, что, в частности, позволяет в реальном времени компенсировать лунные гравитационные возмущения.
- методики и вычислительные процедуры оптимизации алгоритма выведения КА с СП на искусственную периодическую орбиту с использованием естественных периодических орбит в качестве начального приближения.

Значимость результатов исследований для науки и практики

В ходе выполнения диссертации Юй Вэйцзе получил следующие научные результаты, имеющие теоретическую и прикладную научную значимость:

1. Разработаны методики и вычислительные процедуры для формирования искусственных периодических орбит космических аппаратов с солнечным парусом в окрестности точки либрации L2 системы Земля-Луна, включая резонансные и цилиндрические орбиты.

2. Определены зависимости характеристик искусственных периодических орбит от углов установки паруса, начального относительного положения Солнца и проектных параметров космических аппаратов с солнечным парусом.

3. Разработаны методика и вычислительная процедура для управления поддержанием орбит космических аппаратов с солнечным парусом, оснащённых устройством регулировки отражательной способности, с учётом особенностей движения системы Солнце-Земля-Луна.

4. Разработаны методики и вычислительные процедуры для оптимизации программы управления выведением космических аппаратов с естественных периодических орбит на искусственные периодические орбиты с помощью солнечного паруса.

5. Проведён анализ зависимости минимальной длительности перелёта от начальных условий на опорных орбитах, положения целевой точки и начального положения космического аппарата.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведённых в диссертации

Полученные автором результаты могут быть использованы для дальнейшего проектирования спутниковой системы ретрансляции связи Земля-Луна. Полученные зависимости характеристик орбит и минимального времени полета может служить ориентиром для проектирования и выбора траектории КА с СП.

Степень обоснованности и достоверности каждого из полученных положений, выводов и заключений

Достоверность полученных и излагаемых в диссертации результатов, выводов и заключений обусловлена корректностью используемых известных методов механики космического полёта, теории оптимального управления, методов численного моделирования. Достоверность также подтверждается адекватной верификацией разработанной модели, совпадением полученных результатов для частных случаев с известными результатами работ других авторов и опубликованными результатами экспериментов. Сформулированные в работе допущения обоснованы как путём их содержательного анализа, так и методами математического моделирования.

Результаты исследований Юй Вэйцзе достаточно полно опубликованы в четырёх статьях, в том числе в двух статьях в журналах, входящих в список ВАК.

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 соответствует основному содержанию диссертации, верно отражает основные положения и выводы диссертационной работы.

Общие замечания по содержанию и оформлению диссертации

При этом имеются некоторые замечания:

1. В первой главе обзор существующих исследований и применения КА с СП слишком обширен. Следовало бы уделить больше внимания результатам собственных исследований.

2. Математическая модель, используемые автором для описания движения КА, работающих вблизи точки L2, представляют собой ограниченную круговую модель трёх тел. Однако вблизи точки L2 следует учитывать как гравитационные, так и несферические возмущения Луны.

3. Цилиндрические орбиты, разработанные во второй главе и способные непрерывно покрывать область южного полюса Луны, требуют, чтобы удельная площадь КА с СП составляла 1600 квадратных метров на килограмм. Конечно, благодаря современным технологиям, принципиально такие КА возможны, но очень сложны в производстве, развертывании и эксплуатации.

4. Алгоритм поддержания орбиты, разработанный в третьей главе, декларируется высокоточным, надёжным и адаптивным. Автору следовало бы указать, с какими традиционными алгоритмом управления он сравнивается. Также желательно было бы представить результаты моделирования, иллюстрирующие преимущества нового алгоритма.

5. В четвёртой главе рассматривается использование СП для управления выводением КА с естественных периодических орбит на искусственные периодические орбиты вблизи точки L2.

Вероятно, стоило бы также рассмотреть возможность формирования переходного участка непосредственно с околоземной на искусственную периодическую орбиту.

6. Текст диссертации в целом изложен хорошим научным языком, но имеются стилистические неточности и опечатки, например, не ясен смысл последнего столбца в табл.1.1 на стр.16; на рис.6 на стр.22 векторы сил не соответствуют друг другу, в печатном варианте диссертации на некоторых рисунках неразличимы указанные в тексте цвета элементов, на стр.45 нумерованные формулы после (2.14) могут быть записаны проще, на стр.95 должно быть написано «Выводы по четвертой главе», в тексте автореферата неопределенна переменная λ (в тексте диссертации описание этой переменной есть) и др.

Большинство из сделанных замечаний следует рассматривать, как пожелание диссертанту продолжать начатые в диссертационной работе исследования чтобы в будущем обобщить и дополнить полученные в работе результаты.

Перечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не вызывают сомнений в высокой квалификации диссертанта.

Заключение

Диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему и выполненную автором самостоятельно на высоком научном уровне. В целом, исследование Юй Вэйцзе имеет большое значение как для теории, так и для практики, так как содержит новые идеи выводы, дополняющие как небесномеханические теории, так и методики, применимые для технических реализаций будущих космических миссий по исследованию Луны

Автореферат соответствует содержанию диссертации, верно отражает основные положения и выводы работы, в его тексте отражен 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 положения о порядке присуждения учёных степеней ВАК. а её автор. Юй Вэйцзе, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика. управление движением летательных аппаратов.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент

профессор кафедры «Мехатроника и теоретическая механика»

Института №8 «Информационные технологии и прикладная математика»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет)

Родников Александр Владимирович

Адрес места работы:

125993, г. Москва. Волоколамское шоссе, д. 4,

Московский авиационный институт, кафедра №802 «Мехатроника и теоретическая механика»

Тел.: +7 (499)-158-44-66; e-mail: rodnikovav@mai.ru

Подпись
15.10.2024

Подпись сотрудника МАИ удостоверяю:

Директор дирекции института №8 МАИ



С.С.Крылов