



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

07 ОКТ 2024

№ 11204

на №

от



Утверждаю
Директор Института космических исследований РАН
Петрукович А. А.

ОТЗЫВ

ведущей организации Институт Космических Исследований РАН на диссертационную работу Юй Вэйцзе

«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

Подготовленная Юй Вэйцзе диссертация посвящена исследованию и разработке методов формирования, поддержания и осуществления выведения на искусственные периодические орбиты лежащие в окрестности точки либрации L2 системы Земля-Луна космических аппаратов (КА) с солнечным парусом (СП). В ближайшем будущем исследование и освоение Луны, особенно её обратной стороны и полярных областей, станет приоритетом космических программ. Для успешного выполнения стратегических задач освоения Луны спрос на системы навигации и связи значительно возрастёт. Работа Юй Вэйцзе направлена на разработку методики формирования управления орбитальным полётом спутниковых систем ретрансляционной связи построенных на базе космических аппаратов с солнечным парусом изменяемой отражательной способностью.

В китайских проектах исследования Луны "Чаньэ" для ретрансляционной связи использовалась спутниковая система с традиционными реактивными двигателями. Она сыграла важную роль в проектах исследования поверхности Луны и окололунного пространства, а также внесла большой вклад в развитие

технологий ретрансляционной связи и навигации за пределами околоземной орбиты. В отличие от этих систем, в данной диссертации рассматриваются



спутниковые системы на основе КА с СП, которые имеют следующие существенные особенности:

1. Способность формирования искусственных периодических орбит. Искусственные периодические орбиты (включая резонансные орбиты и цилиндрические орбиты), сформированные с использованием непрерывной тяги светового давления от СП, имеют регулируемые геометрические параметры орбиты и уникальное пространственное положение, которое может удовлетворять потребностям многих специальных задач. Например, можно сформировать семейства периодических орбит, движущихся в плоскости отличающейся от плоскости Земля-Луна (цилиндрические орбиты), и обеспечивающие непрерывную ретрансляционную связь между Землёй и полярной областью Луны.

2. Многофункциональный СП. В диссертационном исследовании предлагается использовать СП не только для формирования орбит, но также для поддержания орбит и межорбитальных переходов. Поскольку СП не потребляет топлива и может обеспечивать непрерывную тягу, повышаются срок функционирования КА системы ретрансляции, точность поддержания орбиты и эффективность выведения.

Сказанное выше указывает, прежде всего, на **актуальность** поставленных диссертантом задач.

Структура и объем диссертации. Диссертация Юй Вэйцзе состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 84 наименований. Общий объём диссертации составляет 110 страниц. Работа содержит 48 рисунка и 10 таблиц.

Во введении сформулирована цель исследования, обоснована её актуальность. Поставлены задачи исследования и обозначены положения, по которым автор претендует на научную новизну. Приведены сведения об апробации основных результатов работы, полученные соискателем, находят отражение в 4 печатных работах, из которых: 2 публикации входящих в перечень ВАК.

В первой главе описываются основные аспекты движения КА с СП вблизи точки L2 системы Земля-Луна, включая анализ существующих КА, работающих вблизи точек либрации, и успешно примененных проектов КА с СП, и описание математических моделей движения КА с СП в системе Земля-Луна.

Во второй главе разработаны методики и вычислительные процедуры формирования искусственных периодических орбит КА с СП, включая резонансные орбиты и цилиндрические орбиты, и проанализированы зависимости орбитальных параметров.

В третьей главе разработаны методика и вычислительная процедура поддержания орбит КА с управлением СП.

В четвертой главе разработаны методики и вычислительные процедуры

оптимизации программы управления выведением КА с СП на искусственные периодические орбиты, а также проанализированы зависимости минимальной длительности перелёта выведения КА на орбиту.

В заключении кратко перечислены основные результаты работы и даны рекомендации по улучшению будущей работы.

Научная новизна данной диссертации заключается в разработке методик и вычислительных процедур для управления полётом КА с 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. Исследования решают проблему низкой вычислительной эффективности технологии формирования орбиты КА с СП в системе Земля-Луна, недостаточной изученности зависимости характеристик искусственной орбиты от конструктивных параметров СП, а также слабой устойчивости и адаптивности алгоритмов поддержания орбит КА с СП.

Достоверность полученных результатов подтверждается обоснованным применением известных математических моделей и методов, а также сравнением полученных в работе результатов с результатами, опубликованными другими авторами.

Теоретическая значимость заключается в разработке методик формирования искусственных орбит, поддержания орбит и оптимального управления выведения КА с СП на искусственные периодические орбиты. Они могут использоваться для проектирования орбит и управления траекторией КА.

Практическая значимость заключается в получении зависимостей характеристик искусственной периодической орбиты от параметров конструкции и управления КА с СП, а также зависимостей минимальной длительности перелёта от параметров орбиты и параметров начального положения КА. Эти результаты могут быть использованы при проектировании орбит и миссий исследования Луны.

Замечания по диссертационной работе:

1. Математическая модель, описывающая величину и направление ускорения от светового давления, построена для паруса, имеющего плоскую, недеформируемую и невибрирующую поверхность и учитывает зеркальное отражение и поглощение света. Однако, воздействие света на поверхность СП характеризуется также диффузным отражением. Игнорирование диффузного отражения влияет на точность расчёта направления и величины светового давления. Кроме того, деформация и вибрация мембраны и фермы СП тоже оказывают важное влияние на световое давление и устойчивость СП. Хотя трактовка диссертации приемлема в качестве первого приближения для научных исследований, влияние этих факторов необходимо учесть при дальнейшей разработке и применении.

2. Во второй главе установлены зависимости геометрических параметров

резонансной орбиты от параметров, влияющих на ускорение от светового давления, но проанализированы только зависимости от каждого параметра по отдельности. Заслуживает внимания и более сложные зависимости параметров орбит от множества параметров.

3. Во второй главе применяется метод линеаризации уравнений динамики КА при формировании резонансных орбит и цилиндрических орбит по наклонению лунной орбиты. Это может привести к большей ошибке.

4. В методике формирования управления для поддержания орбит не учитываются ошибки начального положения и скорости КА, а также ошибки измерения положения и скорости КА. Эти задачи сложны и важны и требуют специального рассмотрения.

5. В четвертой главе рассматривается выведение КА с естественных периодических орбит на искусственные периодические орбиты, но не исследовано, подходят ли выбранные естественные орбиты для развёртывания и эксплуатации СП. Из-за сложности управления развёртыванием СП при выборе места и времени развёртывания необходимо учитывать множество факторов. В результате начальные положения КА с солнечным парусом могут не находиться на естественных периодических орбитах вблизи точки L2.

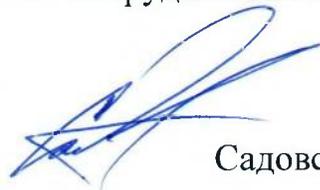
Данные замечания не снижают общей положительной оценки теоретической и практической значимости представленной диссертации. Они носят частный характер и могут рассматриваться как рекомендации на дальнейшее развитие работы.

Вывод. Оценивая диссертацию Юй Вэйцзе в целом, можно заключить, что она представляет собой законченную научно-квалификационную работу. Содержание диссертации полностью соответствует паспорту специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

В связи с изложенным выше, можно утверждать, что работа соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов, а её автор - присуждения степени кандидата технических наук.

Отзыв подготовил ведущий научный сотрудник ИКИ РАН
к.т.н. Эйсмонт Н.А.

Подпись Эйсмонта Н.А. заверяю
Учёный секретарь ИКИ РАН



Садовский А.М.

Отзыв был обсужден и одобрен на заседании НТС отдела 58 ИКИ РАН
7 октября 2024 года, протокол № 1/10 - 24.