

«Утверждаю»
Зам. Директора Института космических
исследований РАН д.т.н. /Назиров Р.Р./



ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук о диссертационной работе Ильина Ивана Сергеевича на тему «Квазипериодические орбиты в окрестности точки либрации L_2 системы Солнце-Земля и траектории перелёта к ним в российских космических проектах», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «теоретическая механика».

Актуальность работы

Диссертационная работа И.С. Ильина посвящена проблеме построения квазипериодических орбит в окрестности коллинеарной точки либрации L_2 системы Солнце-Земля в рамках полной численно-эфемеридной модели Солнечной системы, учитывающей гравитационные воздействия Солнца, планет Солнечной системы, Луны, нецентральность гравитационного поля Земли и давления солнечной радиации на космический аппарат. В диссертации предложены методы расчёта квазипериодических орбит и траекторий перелёта на них. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки методов и алгоритмов проектирования квазипериодических орбит в окрестности коллинеарной точки либрации L_2 системы Солнце-Земля для размещения на них российских астрофизических обсерваторий. Федеральной космической программой предусмотрено выведение космических обсерваторий серии «Спектр» на квазипериодические орбиты в окрестности точки L_2 системы Солнце-Земля в ближайшие годы. Реализованный в диссертационной работе метод построения квазипериодических орбит позволяет получать траекторию с заданной геометрией в окрестности либрационной точки, в частности, обеспечивать заданный выход орбиты из плоскости эклиптики, что необходимо для реализации научных программ аппаратов «Спектр». Квазипериодические орбиты, рассчитанные с помощью предложенных в диссертационной работе методов, на данный момент приняты в качестве номинальных для космического аппарата «Спектр-РГ».

Структура работы

Диссертация на 153 страницах текста состоит из введения, шести глав, заключения, списка рисунков, списка таблиц и списка литературы из 62 наименований.

Во введении поставлена задача диссертационной работы, обоснована актуальность и практическая значимость темы диссертации, показана научная новизна предложенных методов решения поставленной задачи.

В первой главе диссертации представлен обзор существующих методов построения периодических и квазипериодических орбит, рассмотрена динамика задачи трёх тел в окрестности коллинеарных либрационных точек, а также приведён обзор реализованных миссий к коллинеарным точкам либрации.

Вторая глава содержит подробное описание алгоритма построения начального приближения для траекторий перелёта на квазипериодические орбиты с помощью использованного и развитого в работе метода изолиний функции высоты перицентра от параметров квазипериодической орбиты. Изложен алгоритм привязки полученного начального приближения траектории перелёта к времени UTC с учётом суточного и годового движения Земли, приводятся результаты расчёта.

Третья глава содержит изложение алгоритма построения траектории перелёта в рамках полной численно-эфемеридной модели Солнечной системы, а также описание использованной модели.

В четвёртой главе рассматривается методика расчёта коррекций, обеспечивающих поддержание квазипериодической орбиты, сравниваются различные методы расчёта корректирующих импульсов. Приводятся результаты расчёта – траектории, рассчитанные для проектов серии «Спектр», включая «Спектр-РГ», для участка перелёта и движения по квазипериодической орбите. Глава также содержит разносторонний анализ работы предложенного метода расчёта корректирующих импульсов.

Пятая глава посвящена исследованию окон старта для миссий серии «Спектр» и поиску оптимальных временных интервалов для перехода на квазипериодические орбиты заданной геометрии.

Шестая глава содержит статистическое моделирование ошибок выведения и коррекций на траектории перелёта, позволяющих их парировать, а также моделирование ошибок исполнения манёвров и оценку роста затрат характеристической скорости, требуемых для поддержания квазипериодических орбит.

Заключение содержит перечисление основных результатов диссертационной работы.

Достоверность и новизна результатов

Автором диссертационной работы получены следующие результаты:

1. Предложен метод и разработан алгоритм поиска начального приближения для траектории перелёта на выбранный класс квазипериодических орбит на инвариантном многообразии коллинеарной либрационной точки L_2 . Данный метод опирается на вариант метода продолжения по параметру, предложенный М.Л. Лидовым, и метод Линдштедта-Пуанкаре построения периодических орбит;
2. Предложен метод и разработан алгоритм построения траекторий перелёта, включающих гравитационный манёвр у Луны, позволяющий совершить одноимпульсный переход на квазипериодические орбиты малой амплитуды. Метод продолжения по параметру удалось распространить на класс траекторий перелёта с гравитационным манёвром.

3. Предложен метод и разработан алгоритм расчёта траекторий перелёта на квазипериодические орбиты в окрестности точки либрации L_2 системы Солнце-Земля с заданными геометрическими характеристиками, с учётом возмущений от нецентральности поля Земли, гравитационного воздействия Солнца, Луны и планет Солнечной системы, а также давления солнечной радиации;
4. Предложен метод и разработан алгоритм расчёта манёвров, реализующих эффективный сценарий удержания космического аппарата на выбранной квазипериодической орбите.

Предложенные в работе И.С. Ильина методы и разработанные на их основе алгоритмы являются новыми, целесообразность их использования подтверждена на практике результатами расчёта квазипериодических орбит для миссий серии «Спектр». Основные результаты проведённых исследований известны специалистам, они опубликованы в профильных научных журналах, входящих в список рекомендованных ВАК изданий и прошли апробацию на ведущих научных конференциях, в том числе международных.

Ценность диссертационной работы для науки и практики

Реализация автором предложенных методов и алгоритмов в виде программного комплекса, выполняющего расчёт траекторий космического аппарата в рамках апробированной численно-эфемеридной модели Солнечной системы, разработанной в Баллистическом центре ИПМ им. М.В. Келдыша, позволила получить следующие результаты, имеющие прямое прикладное применение:

1. рассчитаны множества квазипериодических орбит, имеющих заданные амплитуды в плоскости эклиптики и в ортогональной плоскости, отвечающие требованиям проектов «Спектр»;
2. построены временные распределения полученных решений, позволившие определить оптимальные окна старта для миссий «Спектр».
3. проведено статистическое моделирование траекторий космических аппаратов «Спектр» в рамках эфемеридной модели Солнечной системы с учётом возможных ошибок выведения аппарата на траекторию перелёта и ошибок исполнения манёвров коррекции поддержания квазипериодических орбит. Результаты моделирования позволяют оценить рост энергетических затрат при реализации полёта, и, как следствие, устойчивость предложенных траекторий.

Выполненная работа закладывает методическую и алгоритмическую основы баллистического проектирования траекторий для проектов «Спектр», позволяя строить квазипериодические орбиты в окрестности либрационной точки L_2 , удовлетворяющие требованиям научных экспериментов.

Общие замечания

Диссертация хорошо структурирована и иллюстрирована, написана понятным языком. Вместе с тем, имеется ряд замечаний по тексту:

- Стр. 95. Недостаточно обосновано использование функционала, максимизирующего время нахождения траектории в сфере с центром в точке L_2 после приложения корректирующего импульса, для расчёта импульса коррекции

поддержания квазипериодической орбиты. В диссертации не исследован вопрос гладкости данного функционала, поэтому его использование в алгоритме с градиентным методом вызывает вопросы.

- Стр. 118. Полученные эмпирически зависимости суммарных затрат характеристической скорости на поддержание квазипериодической орбиты от даты и времени перехода на траекторию перелёта требуют более детального объяснения. В частности, для понимания природы полученного распределения желательно привести все формальные ограничения, наложенные на траекторию перелёта.

Замечания не влияют на общую положительную оценку работы

Автореферат диссертации в полной степени, четко и ясно отражает её принципиальные положения, структуру и основные полученные результаты.

Заключение

Диссертационная работа И.С. Ильина является законченной научно-квалификационной работой, в которой исследована новая важная задача, имеющая существенное значение в прикладной небесной механике. Она содержит решение актуальной научной проблемы, соответствует специальности 01.02.01, выполнена на должном профессиональном уровне и имеет высокую практическую значимость.

Работа была представлена и одобрена на семинаре по механике, управлению и информатике Института космических исследований РАН. Она полностью удовлетворяет критериям Положения ВАК о порядке присуждения научных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Ильин Иван Сергеевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «теоретическая механика».

Ведущий научный сотрудник
Института космических исследований РАН
кандидат технических наук  /Эйсмонт Н.А./

Подпись Эйсмонта Натана Андреевича заверяю

Ученый секретарь Института космических исследований РАН
доктор физ.-мат. наук  /Захаров А.В./