

ОТЗЫВ

официального оппонента Петухова Вячеслава Георгиевича на диссертационную работу Ильина Ивана Сергеевича «Квазипериодические орбиты в окрестности точки либрации L_2 системы Солнце-Земля и траектории перелёта к ним в российских космических проектах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика».

Актуальность темы

Орбиты в окрестности коллинеарных точек либрации L_1 и L_2 системы Земля-Солнце наилучшим образом подходят для обеспечения условий функционирования ряда научных космических аппаратов (КА). К настоящему времени такие целевые орбиты уже использовались в ряде зарубежных космических программ. В рамках Федеральной космической программы в ближайшие годы планируется выведение на квазипериодические орбиты вокруг точки либрации L_2 астрофизических КА «Спектр-РГ» и «Миллиметрон».

Траектории перелёта КА с низкой околоземной орбиты на квазипериодическую орбиту в окрестности коллинеарной точки либрации являются довольно энергозатратными и чувствительными по отношению к ошибкам выведения и к внешним возмущающим факторам. Сами квазипериодические орбиты неустойчивы, и обеспечение длительного существования КА на этих орбитах требует проведения периодических коррекций движения. Затраты характеристической скорости и рабочего топлива на перелёт к точке либрации, выведение КА на квазипериодическую орбиту вокруг точки либрации и дальнейшее её поддержание в течение срока эксплуатации КА напрямую зависят от выбранных схем перелёта и проведения коррекций, точности математической модели движения КА, адекватности моделей ошибок навигационных измерений и корректирующих воздействий. Задача баллистического проектирования орбит в окрестности точек либрации и траекторий перелёта к ним осложняется наличием ряда ограничений на условия функционирования КА, включая условия

обеспечения постоянной освещенности КА, обеспечения радиовидимости, ограничения на максимальное удаление КА от точки либрации.

В большинстве известных работ для расчета траекторий перелёта на орбиты вокруг точек либрации и коррекций для поддержания этих орбит используются различные упрощающие допущения, заключающиеся в игнорировании ряда возмущающих факторов. Однако высокая чувствительность траекторий перелёта и неустойчивость квазипериодических орбит в окрестности точек либрации приводят к необходимости анализа движения КА в рамках математических моделей движения, учитывающих все существенные возмущения. Эта задача представляет несомненный интерес как с научной, так и с практической точки зрения, так как её решение позволяет, с одной стороны, выявить новые закономерности движения КА, а с другой – необходимо для проектно-баллистического анализа и баллистико-навигационного обеспечения космических миссий.

Поэтому можно утверждать, что работа И.С. Ильина, посвященная разработке методов и алгоритмов баллистического проектирования квазипериодических орбит с заданными геометрическими характеристиками в окрестности точки либрации L_2 системы Солнце-Земля, а также траекторий перехода на них с низкой околоземной орбиты, является актуальной.

Структура и содержание работы

Диссертация И.С. Ильина состоит из введения, шести глав, заключения и списка использованных источников.

Во введении обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируется её цель, определяется научная новизна исследований и практическая значимость полученных результатов, представляются выносимые на защиту положения и приводятся сведения о публикациях автора и апробации работы.

В первой главе приведен краткий обзор существующих методов построения периодических и квазипериодических орбит в окрестности коллинеарных точек либрации, рассмотрена динамика движения материальной точки в окрестности коллинеарной точки либрации в

ограниченной круговой задаче трёх тел, приведены типы орбит в окрестности этой точки. В конце главы приведён обзор зарубежных миссий, использовавших особенности динамики в окрестности коллинеарных точек либрации системы Солнце-Земля.

Во второй главе рассмотрена задача построения начального приближения для множества траекторий перехода с низкой околоземной орбиты на квазипериодическую орбиту в окрестности точки L_2 системы Солнце-Земля с помощью варианта метода продолжения по параметру, предложенного М.Л. Лидовым и развитого в рецензируемой работе. Рассмотрены задачи построения начального приближения для прямых траекторий перелета и траекторий с использованием гравитационного манёвра у Луны.

В третьей главе содержится описание модели движения КА, учитывающей гравитационное воздействие Солнца, Луны, планет Солнечной системы, нецентральности гравитационного поля Земли и светового давления на КА. Приводится описание алгоритма расчёта параметров траектории перелёта на квазипериодическую орбиту по начальному приближению из условия максимального времени пребывания в этой окрестности в рамках рассматриваемой модели возмущенного движения.

В четвёртой главе рассмотрена методика расчёта импульсов коррекций, обеспечивающих поддержание квазипериодической траектории движения КА в окрестности точки L_2 в течение заданного периода времени.

В пятой главе проведено исследование окон старта для миссий «Спектр-РГ» и «Миллиметрон». Для этих КА построены карты решений, отражающие затраты характеристической скорости на поддержание квазипериодической орбиты в течение заданного периода времени в зависимости от даты старта.

В шестой главе анализируется влияние ошибок исполнения манёвров и ошибок определения траектории движения космического аппарата на затраты характеристической скорости для реализации траектории перелёта к точке либрации и удержания КА в окрестности заданной квазипериодической орбиты.

В заключении перечисляются основные полученные результаты и формулируется краткий вывод о проделанной работе.

Научная новизна и достоверность результатов

В результате выполнения работы автором получены следующие новые результаты:

- разработан новый метод расчёта одноимпульсных траекторий перелёта на квазипериодические орбиты в окрестности точки либрации L_2 системы Солнце-Земля с заданными геометрическими характеристиками, позволяющий учитывать основные возмущающие факторы;
- разработан новый метод построения одноимпульсных траекторий перелёта на квазипериодическую орбиту малой амплитуды в окрестности точки L_2 системы Солнце-Земля с использованием гравитационного манёвра у Луны с учётом основных возмущающих факторов;
- разработан новый метод расчёта манёвров, обеспечивающий поддержание квазипериодической орбиты с заданными геометрическими ограничениями в рамках модели, учитывающей возмущения от нецентральности поля Земли, притяжения Солнца, Луны и планет Солнечной системы, а также давление солнечной радиации;
- рассчитаны временные распределения энергоэффективных траекторий, позволяющие находить предпочтительные окна старта КА.

Практическая значимость

Практическая значимость диссертации заключается в проектно-баллистическом анализе перспективных КА «Спектр-РГ» и «Миллиметрон», включающем разработку рекомендаций по выбору траекторий перелёта этих КА, их целевых орбит в окрестности точки либрации, вычисление окон старта, оценку затрат характеристической скорости на поддержание неустойчивых квазипериодических орбит в окрестности точки либрации.

Разработанные автором методы, алгоритмы и программно-математическое обеспечение для решения задач проектирования траекторий перелёта на квазипериодические орбиты в окрестности точек либрации и расчета коррекций с целью поддержания этих орбит в течение длительного времени могут использоваться и для анализа других перспективных миссий КА к точкам либрации.

Замечания к тексту диссертации

По содержанию диссертации имеются следующие замечания:

1) Формулы (2.5) реализуют переход к системе координат с началом в барицентре системы Земля-Луна, а не к геоцентрической системе координат. Соответственно, геоцентрические координаты КА на границе сферы действия Земли вычисляются с ошибкой около 4000 км.

2) На странице 77 приведено ошибочное выражение для функции тени. При использовании приведенной формулы световое давление учитывается только в ближней к Солнцу полусфере в геоцентрической системе координат.

3) В тексте диссертации замечен ряд опечаток и неточностей. В частности, на странице 13 в выражении перед формулой (1.4) отсутствует множитель x в правой части; на странице 37 r_{π}^* – не заданная высота, а заданный радиус перицентра; при построении начального приближения для траектории перелёта движение КА моделируется в рамках задачи двух, а не трёх тел (страница 61); на странице 71 приведена неправильная размерность коэффициента светового давления; на странице 78 \mathbf{x}_{ins}^I – не вектор начальных условий орбиты перелета, а вектор начальных условий на момент окончания участка выведения на низкую околоземную орбиту.

Заключение по работе

Указанные недостатки не снижают общей положительной характеристики диссертационной работы.

Диссертация И.С. Ильина «Квазипериодические орбиты в окрестности точки либрации L_2 системы Солнце-Земля и траектории перелёта к ним в российских космических проектах» является законченным научным исследованием, имеющим теоретическую и практическую ценность.

Работа удовлетворяет требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор, Ильин Иван Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.02.01 «Теоретическая механика».

Вячеслав Георгиевич Петухов,

доктор технических наук

(специальность – 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»),

начальник отдела Научно-исследовательского института прикладной механики и электродинамики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,

адрес: 125080 Москва, Ленинградское шоссе, д. 5, а/я 43

телефон: 8 495 158 4931

e-mail: vgpetukhov@gmail.com

сайт: www.mai.ru

Подпись официального оппонента В.Г. Петухова удостоверяю

Ученый секретарь

Научно-исследовательского института прикладной механики и электродинамики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»,

кандидат технических наук



 Е.М. Петров