

Отзыв

на автореферат диссертации «Методика определения траекторий космического аппарата для экспедиции Земля-астероид-Земля с учётом выбора орбит пребывания у астероида и её применение для экспедиции к астероиду Апофис», представленной Лан Аньци в диссертационный совет Д 002.024.01, созданный на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН».

Диссертационная работа Лан Аньци состоит из введения, четырёх глав, заключения, приложения и списка публикаций по теме диссертации в изданиях, рекомендованных ВАК.

В автореферате обоснована актуальность исследований построения энергетически оптимальных траекторий космических аппаратов (КА) для экспедиций Земля-астероид-Земля с использованием двигательных установок большой тяги (ДУБТ) и с учётом орбит пребывания КА у астероида. Отмечено, что в большинстве публикаций об экспедициях к астероидам описаны системы с использованием двигательных установок малой тяги (ДУМТ) и применение ДУБТ для этой цели недостаточно изучено.

В первой главе рассмотрена схема полёта КА от Земли к астероиду и обратно с определённым временем пребывания КА около астероида для возможной посадки на него и взятия образцов его грунта. Также предусмотрено отделение от основного КА мини-аппарата с радиомаяком, который должен находиться около астероида несколько лет.

Разработана методика расчёта оптимальных траекторий перелёта КА с максимизацией массы полезной нагрузки. Построение оптимальных траекторий производится автором с помощью решения задачи Эйлера-Ламберта в центральном ньютоновском поле притяжения Солнца. Определяются скорости на каждом этапе полёта и требуемые импульсы скорости, а оптимальные траектории определяются выбором времён включения двигательной установки. Полученные траектории КА уточняются численным интегрированием системы дифференциальных уравнений движения КА и решением краевых задач для выполнения граничных условий с учётом возмущений от притяжения небесных тел, сжатия Земли и давления солнечного света. Коррекция массово-энергетических характеристик проведена с учётом гравитационных потерь при разгоне КА у Земли, массовых характеристик отделяемых разгонного блока и мини-спутника астероида и необходимым гарантийным запасом топлива.

Во второй главе с помощью разработанной методики определяются и исследуются энергетически оптимальные по максимуму полётной массы КА траектории полёта КА к астероиду Апофис и обратно с различными временами пребывания КА на орбите вокруг астероида. Планируемое время проведения экспедиций 2019 – 2022 гг. Продолжительность экспедиции выбиралась из заданного множества с длительностью от 390 до 730 суток. При этом время пребывания КА на орбите нахождения около астероида принималось из множества от 7 до 130 суток. Определены оптимальные траектории для экспедиций с различной длительностью и оптимальное время пребывания КА у Апофиса, которое находится в интервале 90 – 120 суток. В диссертации приведены расчётные данные по некоторым возможным экспедициям к астероиду Апофис. Так при времени выхода КА на орбиту полёта к астероиду 06.05.2000 г., временем полёта к астероиду 297 суток, времени нахождения КА у Апофиса 120 суток общее время экспедиции составило бы 716 суток, при полезной массе аппаратуры на КА 328 кг. В конце главы выполнены уточнения полученных оптимальных траекторий методом покоординатного спуска, что привело к некоторому уменьшению полезной массы.

Третья глава диссертации посвящена разработке математической модели орбитального движения КА вокруг Апофиса. В развитие известных опубликованных работ ряда отечественных и зарубежных авторов проведён полный анализ орбитального движения спутника астероида путём численного метода с использованием дифференциальных уравнений астероидоцентрического движения КА. При этом учтены возмущающее ускорение от удалённых небесных тел (Солнца, Земли, Луны, Венеры, Юпитера и др.), возмущающее ускорение от несферичности астероида и возмущающее ускорение от светового давления.

В четвёртой главе автор применила разработанную математическую модель орбитального движения КА вокруг Апофиса для построения и анализа различных конкретных вариантов орбит, как для основного КА массой 600 кг, так и для отделяемого мини-спутника массой 10 кг. Определено, что на низкой орбите (~ 500 км) основное возмущение, действующее на аппарат, происходит от несферичности Апофиса, а на орбите с большим радиусом – от давления солнечного света. Расчёты автора показали, что могут быть выбраны орбиты, которые позволят мини-спутнику находиться около астероида около 9 лет (на орбите с радиусом $\sim 1,5$ км), а основному КА на орбите с радиусом 0,9 – 1,2 км более 120 суток.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Материалы диссертации опубликованы в 10 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК.

Научная новизна диссертационной работы определяется разработанными методикой расчёта оптимальных траекторий перелёта КА к астероиду с максимизацией массы полезной нагрузки, математической моделью орбитального движения космического аппарата вокруг Апофиса и построением с их помощью ряда конкретных траекторий и орбит.

Результаты диссертации могут иметь большое практическое значение при использовании в баллистических расчётах будущих космических систем с космическими аппаратами, направляемыми к небесным телам.

Анализ автореферата диссертации Лан Аньци показывает, что она успешно решила поставленные задачи и диссертация является актуальным и завершённым исследованием.

Можно сделать лишь два замечания, которые не являются недостатком работы, а скорее рекомендациями автору для дальнейшего продолжения работ в этом направлении. Первое – двигательные установки большой тяги устанавливаются, как правило, на больших космических аппаратах, на которых устанавливаются и двигательные установки малой тяги. Поэтому целесообразно было бы рассмотреть оптимальные режимы их работы. Второе – как известно, в период 2019 – 2022 годы в России не планируется экспедиция к астероиду Апофис, а создание космических систем с межпланетными перелётами в современных условиях потребует от 7 до 15 лет. Следовательно, желательно рассмотреть построение траекторий к Апофису на период 2025 – 2030 годы и далее.

Вывод: диссертация Лан Аньци «Методика определения траекторий космического аппарата для экспедиции Земля-астероид-Земля с учётом выбора орбит пребывания у астероида и её применение для экспедиции к астероиду Апофис» полностью соответствует требованиям ВАК РФ, а её автор Лан Аньци заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

Доктор физико-математических наук,

Главный научный сотрудник ФГБУН Институт астрономии РАН

Рыхлова Лидия Васильевна .

30.08.2018.

Подпись Л.В. Рыхловой заверяю.

Учёный секретарь ФГБУН Институт астрономии РАН к.ф.-м.н.

А.М. Фатеева

Адрес: 119017, г. Москва, ул. Пятницкая, д. 48.

ФГБУН Институт астрономии РАН

Телефон: (495) 951-54-61.

rykhlova@inasan.ru

