



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
**ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

24 ИЮЛ 2018

№ 11204 /

30.92-58

на №

от

Председателю  
диссертационного совета Д 002.024.01  
д.ф.-м.н., профессору Сазонову В.В.  
ИПМ им.М.В. Келдыша РАН  
12507, Москва, Миусская пл.,4

Глубокоуважаемый Виктор Васильевич!

Направляю в Ваш адрес отзыв на диссертацию Лан Аньци, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Приложение: отзыв в 2х экземплярах на 5-ти листах каждый.

Ученый секретарь ИКИ РАН  
доктор физ.- мат. Наук

Захаров А.В.

Утверждаю

Врио директора ИКИ РАН



Чулков И.В.

### ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук» на диссертацию 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», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика

Проектирование миссий к астероидам и кометам является актуальной проблемой космонавтики, что находит свое отражение в реализуемых в настоящее время проектах. К их числу можно отнести полёт к астероиду Бенну с планируемым возвращением грунта, выполняемый в настоящее время NASA, а также миссию аппарата Хаябуса-2, также решающую задачу доставки на Землю грунта с поверхности астероида. Этими примерами проблема исследования малых небесных тел не исчерпывается, и рецензируемая работа естественным образом вписывается в контекст соответствующего нового направления космонавтики.

Как известно, открытие астероида Апофис послужило заметным импульсом развития технологий и методик, необходимых для решения задач

планетарной защиты и развития новых инструментов исследования малых тел солнечной системы. Поэтому выбранный в диссертации объект – астероид Апофис - является очень удачным примером для отработки и демонстрации предложенных инструментов построения оптимальных сценариев разработки необходимых для реализации соответствующих проектов траекторий.

Диссертация Лань Аньци посвящена исследованию траектории космического аппарата (КА) для экспедиции к астероиду, предназначенной для изучения астероида, возврата образцов его грунта на Землю и для выведения мини-спутника с радиомаяком на долгосрочную орбиту спутника астероида с целью улучшения точности определения орбиты «опасного» астероида (Апофис). Она содержит четыре главы.

В первой главе описана схема экспедиции Земля-астероид-Земля; изложена методика построения оптимальных межпланетных траекторий полета КА к астероиду и возврата к Земле при использовании двигательных установок большой тяги (ДУБТ). При этом в качестве критерия оптимизации параметров траекторий и соответствующих сценариев предлагается, как это делается на практике в такого рода задачах, масса доставляемых к цели полезных грузов. Применяется современный аппарат оптимизации в рамках использования принципа максимума Понтрягина и использования модели управления с многоимпульсными переходами в задаче построения траекторий перелёта.

Во второй главе, в соответствии с разработанной методикой, для экспедиции «Земля-Апофис-Земля» построены и исследованы энергетически оптимальные, по максимуму полезной массы КА, трехимпульсные межпланетные траектории с запуском КА в течение 2019-2022 гг. Показано, что существует принципиальная возможность реализации в это время космической экспедиции Земля-Апофис-Земля с использованием обычных двигателей большой тяги и РН «Союз-ФГ», «Союз-2.1б», «Зенит».

В третьей главе дана математическая модель орбитального движения КА вокруг астероида с учетом влияния трех возмущений: притяжения нескольких



дальних небесных тел, несферичности астероида как удлинённого эллипсоида вращения и давления солнечной радиации.

Четвертая глава посвящена применению разработанной модели для определения и анализа характеристик орбит движения основного КА и миниспутника вокруг Апофиса. Проанализированы главные факторы, влияющие на время жизни КА около астероида при пассивном движении. Результатами этих исследований является, помимо оценок времени пассивного существования аппарата в окрестности Апофиса, определение необходимых затрат характеристической скорости в случае использования корректирующих маневров.

В диссертации дана очень полная литература по анализируемой проблеме.

Основная **новизна** диссертации состоит в следующем:

- 1) Разработан алгоритм построения оптимальных по максимуму полезной массы траекторий экспедиции к астероиду с возвратом к Земле с учетом возможности оптимизировать время ожидания у астероида. При этом алгоритм позволяет также учесть ограничение скорости входа в атмосферу при возврате к Земле. Для анализа оптимальности межпланетных траекторий в классе многоимпульсных перелетов разработан алгоритм построения базис-вектора, т.е. вектора, сопряженного к вектору скорости. Впервые получены выражения для базиса-вектора в случае максимизации полезной массы КА.
- 2) Новым при решении задачи анализа движения спутника астероида является, в первую очередь, само понятие цели, именно, орбита спутника астероида, который рассматривается как тело с существенно нецентральной гравитационным полем. В дополнение к этой особенности учитывается влияние сил солнечного давления на космический аппарат и ставится задача обеспечить максимальное время удержания аппарата на орбите спутника астероида без управляющих воздействий. Достижением автора диссертации является подтверждение самой возможности выбора таких начальных параметров упомянутых орбит, которые позволяют решить эту задачу.

3) В диссертации на базе использования самых современных методов оптимизации построения сценариев полёта и выбора траекторий решена проектная задача: получен положительный ответ на вопрос о реализуемости миссии Земля-Апофис-Земля на базе использования носителей Союз-ФГ, Союз-2.1б. При этом миссия включает весьма важные и новые элементы, такие как полет мини-спутника астероида Апофис в течение достаточно продолжительного времени, нескольких лет.

**Достоверность** полученных научных положений, результатов и выводов, приведенных в диссертации, обеспечивается применением моделей движения небесных тел и управления движением, адекватных современным теориям, использованием современных вычислительных методов. Производились проверки результатов по разным методикам и программам.

**Практическая значимость** диссертационной работы состоит в следующем:

- 1) Разработан и успешно применён математический аппарат решения поставленной задачи, пригодный для применения в анализе характеристик динамики полёта и управления космических аппаратов, предназначенных для исследования Солнечной системы.
- 2) Использованный реалистичный подход к решению задачи в целом - взяты характеристики реальных ракет-носителей и сценариев выведения и исполнения корректирующих маневров - дает возможность применения полученных результатов напрямую в проектных работах для экспедиции Земля-Апофис-Земля.
- 3) Предложенные методики, обеспечившие получение приведенных результатов, также могут быть использованы напрямую в решении задач проектирования миссий к астероидам и другим объектам солнечной системы с возвращением.

В качестве замечаний автору – хотелось бы видеть оценки автора возможностей распространения полученных выводов на случаи миссий к другим околоземным астероидам. В диссертации приняты некоторые средние



характеристики отношения площади поперечного сечения аппарата к его массе. В какой-то мере это влияет на эволюцию относительно движения миниспутника. Было бы интересно указать примерные границы этого влияния. Эти замечания носят характер пожеланий автору в последующей работе и нисколько не умаляют, безусловно, положительной оценки представленной диссертации.

Материалы диссертации опубликованы в 12 статьях, из них 10 - в изданиях, включенных в перечень рекомендованных ВАК РФ, в частности, 6 работ - в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science.

Диссертация Лан Аньци является завершенной научно-квалификационной работой, содержит результаты, обладающие научной новизной и имеющие теоретическую и практическую значимость. Диссертация Лан Аньци полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, соответствует паспорту специальности 01.02.01 - Теоретическая механика, а её автор, Лан Аньци, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по данной специальности.

Отзыв составил:

Кандидат технических наук по специальности «Динамика полёта и управление движением летательных аппаратов», ведущий научный сотрудник отдела «Космической динамики и математической обработки информации» Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований Российской академии наук»

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная 84/32, E-mail: [iki@cosmos.ru](mailto:iki@cosmos.ru),  
<http://www.iki.rssi.ru/>

тел. +7(495) 333 10 78 , E-mail: [Natan.Eismont@iki.rssi.ru](mailto:Natan.Eismont@iki.rssi.ru)

23 июля 2018 г.

Н.А.Эйсмонт

Подпись Эйсмонта Натана Андреевича удостоверяю

Ученый секретарь ИКИ РАН  
Доктор физ.-мат. наук Захаров А.В.

