

Результаты публичной защиты

Соискатель: **Лан Аньци**

Диссертация: «Методика определения траекторий космического аппарата для экспедиции Земля-астероид-Земля с учетом выбора орбит пребывания у астероида и ее применение для экспедиции к астероиду Апофис».

На заседании 11 сентября 2018 г. присутствуют 17 членов совета, из них 10 специалистов по профилю рассматриваемой диссертации:

САЗОНОВ В.В.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ГОРБУНОВ-ПОСАДОВ М.М.	д.ф.-м.н.	05.13.11
БОНДАРЕВ А.Е.	к.ф.-м.н.	05.13.11
БОРОВИН Г.К.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ВАШКОВЬЯК М.А.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ВОЛОБОЙ А.Г.	д.ф.-м.н.	05.13.11
ГОЛУБЕВ Ю.Ф.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ИВАШКИН В.В.	д.ф.-м.н.	01.02.01
КРЮКОВ В.А.	д.ф.-м.н.	05.13.11
КУГУШЕВ Е.И.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ЛАЗУТИН Ю.М.	д.ф.-м.н.	05.13.11
ЛАЦИС А.О.	д.ф.-м.н.	05.13.11
МИРЕР С.А.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ОВЧИННИКОВ М.Ю.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ПОЛИЛОВА Т.А.	д.ф.-м.н.	05.13.11
САРЫЧЕВ В.А.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ТУЧИН А.Г.	д.ф.-м.н.	01.02.01

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований введена идея проектирования траекторий полета КА для экспедиции Земля-астероид-Земля с учетом выбора рациональных параметров орбиты и времени пребывания КА в окрестности астероида. Разработана методика построения оптимальных по максимум полезной массы КА траекторий экспедиции, реализуемой с помощью двигательных установок большой тяги. Разработаны математическая модель и алгоритмы, позволяющие проанализировать движение КА около астероида с учетом возмущений от притяжения дальних небесных тел (Солнце, все планеты Солнечной системы,

Луна), нецентральности астероида, а также давления солнечной радиации. Разработанная методика применена к экспедиции для изучения опасного, сближающегося с Землей астероида Апофис. Доказано, что можно создать стабильную орбиту мини-спутника астероида Апофис с большим «временем жизни», вплоть до тесного сближения Апофиса с Землей в 2029 г.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что применительно к проблематике диссертации результативно использован комплексный метод оптимизации, сочетающий несколько методов: метод Соболя И.М., генетический алгоритм и квазиньютоновский BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno) метод, что позволяет в сложных ситуациях эффективно решать задачу оптимизации. Предложен и апробирован алгоритм построения вдоль траектории базис-вектора Д.Ф. Лоудена в случае максимизации полезной массы КА для проверки выполнения необходимых условий оптимальности полученных траекторий в классе многоимпульсных перелетов. Изучена динамика полета КА около астероида с учетом возмущений от притяжения дальних небесных тел (Солнце, все планеты Солнечной системы, Луна), нецентральности астероида и давления солнечной радиации. Раскрыты влияния этих возмущений на движение аппарата, в частности, показана важная роль давления солнечной радиации.

Значение полученных соискателем результатов исследования для решения **практических задач** подтверждается тем, что

- 1) определены перспективы практического использования разработанных алгоритмов и полученных выводов на практике при проектировании траекторий полета КА для экспедиции к астероиду с целью взять и доставить образцы вещества астероида на Землю, а также выводить мини-спутник на долгосрочную орбиту около астероида для уточнения орбиты астероида Апофис;
- 2) проведены исследования траекторий перелета КА для экспедиции Земля-Апофис-Земля с помощью обычных двигательных установок большой тяги. Показана принципиальная возможность реализации такой космической экспедиции при использовании существующих ракет-носителей типа «Союз», «Зенит»;
- 3) создана математическая модель для анализа характеристик орбитального

движения спутника астероида, учитывающая возмущения от небесных тел, несферичности астероида как вытянутого эллипсоида вращения, давления солнечного света и собственного вращения астероида вокруг малой оси;

4) представлены рекомендации по выбору элементов начальной орбиты спутника астероида Апофис (радиус, ориентация плоскости) для обеспечения, в случае без управления, создания стабильной долгосрочной орбиты спутника астероида с учетом возмущений. Также оценены затраты скорости на поддержание орбиты КА для обеспечения оптимальных траекторий экспедиции.

К наиболее значимым результатам работы, представляющим **научную новизну**, относятся:

- 1) Двухэтапная методика построения оптимальных, по максимуму полезной массы, траекторий КА с использованием ДУБТ для экспедиции Земля-астероид-Земля: в центральном ньютоновском поле притяжения Солнца, в импульсной модели – на первом этапе, и при учете возмущений и гравитационных потерь от конечности тяги – на втором этапе.
- 2) Алгоритм построения сопряженных функций для случая максимизации полезной массы экспедиции Земля-астероид-Земля с ДУБТ с учетом различия скоростей истечения газов у двигательных установок и наличия отделения масс.
- 3) Характеристики энергически оптимальных траекторий для экспедиции Земля-Апофис-Земля в 2019-2022 гг.
- 4) Математическая модель орбитального движения спутника астероида с учетом притяжения нескольких небесных тел (Солнца, Земли, Луны, Венеры, Юпитера и др.), несферичности астероида как вытянутого эллипсоида вращения и ДСС, с возможностью затенения КА эллипсоидальным астероидом.
- 5) Результаты исследования динамики орбитального движения спутника астероида Апофис с учетом указанных возмущений. Выявление возможности

создания стабильных орбит мини-спутника астероида Апофис со «временем жизни» несколько лет вплоть до сближения с Землей в 2029 г.

Достоверность результатов работы обусловлена использованием современных теорий, методов небесной механики, методов оптимизации, динамики полета КА. Выполнено сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике. Установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии на всех этапах процесса исследования: поиске, сборе, обработке необходимой информации, разработке алгоритмов и вычислительных программ, получении и анализе результатов, подготовке публикаций и докладов по полученным результатам, личном представлении результатов на некоторых научных конференциях, в том числе на Международном Астронавтическом Конгрессе IAC-2016 в Мексике.

На заседании 11 сентября 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Лан Аньци ученую степень кандидата физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» присуждение учёной степени – 17, «против» присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.024.01

кандидат физ.-мат. наук

Бондарев Александр Евгеньевич