



ул. Ленина, д. 52, г. Железногорск, ЗАТО Железногорск, Красноярский край, Российская Федерация, 662972
Тел. (3919) 76-40-02, 72-24-39, Факс (3919) 72-26-35, 75-61-46, e-mail: office@iss-reshetnev.ru, http: //www.iss-reshetnev.ru
ОГРН 1082452000290, ИНН 2452034898

Экз №

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель секции №1 НТС предприятия,
Заместитель генерального конструктора по
разработке космических систем, общему
проектированию и управлению космическими
аппаратами, кандидат технических наук



А.В.Кузовников

2018г.

ОТЗЫВ
на автореферат диссертационной работы
Мина Тейна
на тему «Оптимизация траекторий космических аппаратов с
использованием эволюционной стратегии с адаптацией
ковариационной матрицы»,

представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.07.09 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

Диссертационная работа посвящена разработке методов оптимизации траекторий межорбитального перелета космического аппарата (КА) в рамках модели центрального поля. Разработанные методы проиллюстрированы на примере межорбитальных перелётов у Земли и траекторий межпланетного перелета. При этом рассматриваются КА с двигателями большой тяги (химические двигательные установки или химический разгонный блок - ХРБ) или малой тяги (электроракетные двигательные установки - ЭРДУ), и сложные траектории перелета (в частности с последовательностью гравитационных маневров).

1. Актуальность темы диссертационной работы

Актуальность диссертационной работы определяется:

- востребованностью использования сложных маршрутов для реализации перелётов внутри солнечной системы,

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 7
" 06 " 20 18

- внедрением схем с довыведением для формирования высоких рабочих орбит ИСЗ (таких как при реализации проектов Экспресс АМ 5 и 6),
- необходимостью развивать подходы, использующие методы нелокального анализа в задаче поиска корней систем трансцендентных уравнений, описывающих краевые условия при межорбитальном перелете, и в задаче поиска глобального экстремума функции многих переменных, характеризующих схему межорбитального и межпланетного перелета.

В качестве целей работы заявлено совершенствование методов проектирования траекторий КА и повышение эффективности космических транспортных систем при реализации межорбитальных и межпланетных перелетов. Для достижения этих целей в работе решаются следующие задачи: разработка методики решения краевой задачи принципа максимума Л. С. Понтрягина, с помощью численного метода безусловной оптимизации (СМАЕС, относящегося к группе эвристических методов, использующих алгоритм эволюционной стратегии) и использования этой методики при оптимизации сложных схем межпланетного перелета КА с гравитационными маневрами и импульсами скорости на гелиоцентрических участках перелета.

2. Наиболее существенные научные и практические результаты и научная новизна

- Предложена и апробирована методика проектирования многовитковых межорбитальных перелетов КА с ЭРДУ между некомпланарными орбитами в постановке задач оптимального быстрогодействия и минимизации затрат топлива при фиксированном времени перелета.
- Предложена и апробирована методика проектирования сложных схем межпланетного перелета КА к небесным телам Солнечной системы с использованием гравитационных маневров и импульсами скорости на гелиоцентрических участках перелета.
- С использованием разработанных методов и программного обеспечения можно проводить проектно-баллистический анализ таких космических миссии как:
 - выведение КА с низкой околоземной орбиты на ГСО с использованием космической транспортной системы, включающей ХРБ и ЭРДУ;
 - выведение КА на гелиоцентрические рабочие орбиты с большим наклоном (например, для исследования Солнца);
 - выведение КА на орбиту около планеты назначения для исследования этой планеты или его спутников;
- Разработанные методы могут быть использованы при создании программных продуктов, обеспечивающих решение широкого круга задач (выходящих за пределы рассмотренных автором) для проведения проектно-баллистического анализа.

Научная новизна работы состоит в новом подходе к проектированию траекторий КА. Этот подход основан на сведении краевой задачи принципа максимума Понтрягина к задаче прямой

минимизации вспомогательной функции, состоящей из суммы квадратов невязок краевой задачи принципа максимума и оптимизируемого критерия, взятого с весовым коэффициентом. Задачу минимизации этой функции предлагается решать с помощью нелокального, эвристического метода эволюционной стратегии (Evolution Strategy) с адаптацией ковариационной матрицы (Covariance Matrix Adaptation) – СМАЕС. Этот метод позволяет «сравнивать» в процессе решения локальные минимумы и определять таким образом глобальный (из всех сравниваемых).

Достоверность полученных результатов в части постановки рассмотренных задач и полученных решений подтверждается результатами, опубликованными другими авторами и не вызывает сомнений.

Основные результаты диссертационной работы Мин Тейна в достаточно полном объеме представлены в научных трудах, опубликованных в изданиях, рекомендуемых ВАК при Министерстве образования и науки РФ.

Результаты работы докладывались и получили одобрение на научно–технических конференциях:

на XXXIV, XXXVI, XXXVII, XXXVIII, XXXIX, XL, XLI и XLII академических чтениях по космонавтике (Москва, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018);

на XLIV- XLVI XLVII XLIX 50-х, 52-х научных чтений памяти К.Э. Циолковского. (Калуга, 2009, 2011, 2012. 2013 2014, 2015, 2016);

на XVII международной научной конференции «Системный анализ, управление и навигация» (Евпатория, 2012г);

на 10-ой, 12-ой, 13-ой и 16-ой Международных конференциях «Авиация и Космонавтика (Москва, 2011, 2013, 2014, 2017);

на IX конференции молодых ученых, посвященной дню космонавтики «Фундаментальные и прикладные космические исследования» (Москва, ИКИ РАН, 2012 г);

на XIII конференции по космическим проблемам (the 13th Reinventing Space Conference), (Oxford, UK, 2015);

на VI международной конференции по инструментам и технологиям аэродинамики. (The 6th international conference on astrodynamics tools and techniques), Darmstadt, Germany, 2016

3. Недостатки и замечания

В качестве недостатков автореферата можно отметить следующее:

- в описании подхода сведения краевой задачи принципа максимума Понтрягина к некоторой вспомогательной функции, составленной как сумма квадратов невязок плюс минимизируемой функционал, умноженный на масштабирующий множитель (стр. 22 автореферата), наличие последнего никак не комментируется, а его значение к концу поиска решения обнуляется, что в свою очередь сводит на нет возможность сменить локальный экстремум на последних итерациях. Такой подход не вполне обоснован;

- в описании первой итерации метода СМАЕС автором предлагается генерировать начальное приближение случайным образом, а после этого используя информацию о полученных решениях начать движение к глобальному оптимуму (что проиллюстрировано на рисунке 2). Однако, такой подход может оказаться не продуктивным, т.к. связан с методом генерации случайных величин.
- в тексте автореферата на стр. 18-20 имеется некоторая непоследовательность изложения. Так на стр. 18 ставится задача оптимального перелёта КА с идеально-регулируемым двигателем ограниченной мощности, при этом никак не объясняются появившиеся краевые условия (19). А после этого на стр. 19-20 достаточно полно и подробно описаны необходимые условия оптимальности для задачи с двигателем ограниченной тяги. Отмеченные недостатки не снижают общего представления о диссертации на актуальную тему и не изменяют положительную оценку диссертационной работы.

4. Заключение

Автореферат дает достаточное представление о существе работы и основных полученных автором результатах, свидетельствует о цельном и глубоком подходе к решению поставленной научной задачи. Представленная диссертационная работа выполнена на хорошем научном уровне, а развиваемые в ней методы имеют большое практическое и методологическое значение.

Диссертационная работа «Оптимизация траекторий космических аппаратов с использованием эволюционной стратегии с адаптацией ковариационной матрицы» по своей актуальности, научной новизне, практической значимости полученных результатов является законченной научно - квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения. Диссертация соответствует требованиям ВАК Минобрнауки РФ, о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям. Автор диссертационной работы Мин Тейн заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Ведущий инженер – конструктор
доктор технических наук, профессор

В.Е.Чеботарев

Ведущий инженер сектора разработки
баллистического и навигационного обеспечения КА

Ю.Л.Булынин

Ученый секретарь НТС секции №1

А.Н.Кульков