

Авиамоторная, д. 53, Москва, 111250, почтовый адрес: а/я 16, г. Москва, 111250
тел.: +7 495 673-94-30, факс: +7 495 509-12-00, www.spacecorp.ru, contact@spacecorp.ru
ОКПО11477389 ОГРН1097746649681 ИНН7722698789 КПП774850001

20.06.2018 № ВН Ц/13-69
На № 601-16-322 от 15.06.2018

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации *Мина Тейна*

на тему «**Оптимизация траекторий космических аппаратов с использованием эволюционной стратегии с адаптацией ковариационной матрицы**», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.09 - «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Диссертационная работа Мина Тейна посвящена разработке методики решения широкого класса задач оптимизации траекторий межорбитальных и межпланетных перелетов космического аппарата (КА) с электроракетной двигательной установкой (ЭРДУ). Основой методики является эффективное применение принципа максимума Понтрягина и метаэвристического численного метода безусловной оптимизации CMA-ES (Covariance Matrix Adaptation – Evolution Strategy), представляющего собой модифицированную эволюционную стратегию с адаптацией ковариационной матрицы.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена необходимостью повышения эффективности транспортных космических маневров за счет использования электроракетных двигательных установок (ЭРДУ), имеющих более высокий удельный импульс при реализации межорбитальных и межпланетных перелетов. Для этого требуется разработка математических моделей, описывающих оптимальные траектории КА с

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 2
21 06 2018 г.

ЭРДУ при использовании сложных схем межорбитальных и межпланетных перелетов, совершенствование методов оптимизации космических маневров, разработка алгоритмов, обеспечивающих сходимость итерационных процедур, без которых невозможно реализовать поиск оптимальной траектории космического перелета, и развитие подходов, позволяющих надеяться на получение глобальной, а не локальной экстремали при траекторной оптимизации в механике космического полета.

Основными **целями** диссертационной работы являются повышение эффективности космических транспортных систем с ЭРДУ при реализации межорбитальных и межпланетных перелетов, совершенствование методических основ механики космического полета с малой тягой и совершенствование методов проектирования траекторий КА с малой тягой. Для достижения этих целей сформулированы и решены следующие **научно-технические задачи**:

- Разработка универсальной методики для решения краевой задачи принципа максимума Л.С.Понтрягина, основанной на применении нового численного метода безусловной оптимизации (СМАЕС), относящегося к группе метаэвристических методов и представляющего собой некоторую специфическую модификацию алгоритма эволюционной стратегии.
- Разработка универсальной методики оптимизации сложных схем межпланетного перелета КА с использованием гравитационных маневров у промежуточных планет и дополнительных импульсов скорости на гелиоцентрических участках перелета. Реализация рассматриваемой методики основана на применении новых численных методов глобальной оптимизации.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- Разработан устойчивый и регулярный метод оптимизации КА с ЭРДУ, основанный на совместном использовании условий оптимальности принципа максимума и численного метода

оптимизации, представляющего собой эволюционную стратегию с адаптацией ковариационной матрицы.

- Разработан метод оптимизации многовитковых межорбитальных перелетов между некомпланарными орбитами для задачи не только оптимального быстродействия, но и для задачи минимизации затрат топлива при фиксированном времени перелета.
- Разработан метод оптимизации межпланетных перелетов, в том числе с гравитационными маневрами.
- Получены качественные и количественные результаты оптимизации межорбитальных и межпланетных перелетов.

Достоверность полученных в работе результатов обоснована точностью и строгостью общей математической формализации рассматриваемых в работе оптимизационных проблем с помощью известных методов, использующихся при решении задач аналогичного типа в рамках механики космического полета с малой тягой, а также сравнением полученных автором результатов с соответствующими известными результатами других авторов.

Практическая значимость диссертационной работы Мина Тейна заключается в следующем.

- Разработана методика проектирования сложных схем межпланетного перелета КА к небесным телам Солнечной системы с использованием гравитационных маневров у промежуточных планет и дополнительных импульсов скорости на гелиоцентрических участках перелета.
- С использованием разработанных методов и программного обеспечения можно проводить проектно-баллистический анализ ряда перспективных космических миссий, в том числе:
 - ✓ выведение КА с низкой околоземной орбиты на ГСО с использованием космической транспортной системы на базе РН, ХРБ и ЭРДУ;

- ✓ выведение КА на систему рабочих гелиоцентрических орбит для исследования Солнца;
- ✓ выведение КА на орбиту около планеты назначения для исследования этой планеты или ее спутников.
- Разработанные методы могут быть использованы при разработке программных продуктов, обеспечивающих решение широкого круга задач для анализа перспективных космических транспортных средств.

Основные результаты опубликованы в 45 работах, из которых одна монография, 10 – статьи в изданиях из списка ВАК Минобрнауки России и 7 – в иностранных рецензируемых изданиях. Публикации автора полностью отражают основные положения диссертационной работы. Содержание диссертационной работы Мина Тейна соответствует паспорту специальности 05.07.09 (динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов).

При этом, можно отметить **недостаток**, содержащийся в автореферате рассматриваемой работы.

- В работе утверждается, что разработанные методы и алгоритмы для задач оптимизации траекторий КА с ЭРДУ являются регулярными. Обычно регулярность метаэвристических методов зависит от параметров управления алгоритма (например, популяции особей). Но в работе не приведено обсуждение параметров управления алгоритма СМАЕС для регулярности при решении конкретной сформулированной задачи.

Указанный недостаток не снижает общей положительной оценки работы и может быть учтен автором в дальнейшей деятельности. Судя по автореферату, диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненном на высоком уровне. Представленные методики и полученные результаты, приведенные в автореферате диссертации, позволяют квалифицировать работу как решение новой научной проблемы.

Таким образом, диссертационная работа **«Оптимизация траекторий космических аппаратов с использованием эволюционной стратегии с адаптацией ковариационной матрицы»** полностью соответствует критериям «Положения о порядке присуждения научных степеней», а ее автор, Мин Тейн, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Главный научный сотрудник
экспертно-аналитического центра
АО «Российские космические системы»,
доктор технических наук, профессор

К.Н. Свиридов

Подпись главного научного сотрудника К.Н. Свиридова заверяю.

Учёный секретарь
АО "Российские космические системы",
к.т.н., старший научный сотрудник
«20» июня 2018 г.



С.А. Федотов

АО «Российские космические системы»
111250, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 53
тел. (495) 673-40-88
E-mail: contact@spacecorp.ru