

## 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 методов оптимизации траекторий межорбитального перелета в окрестности Земли и траекторий межпланетного перелета. Основное внимание уделяется оптимизации траекторий перелетов, в которых используются не только традиционные химические двигательные установки, но и перспективные электроракетные двигательные установки. Исследуются и оптимизируются, как прямой перелет к некоторому небесному телу, так траектории межпланетного перелета с последовательностью гравитационных маневров.

**Актуальность** представляемой работы определяется:

Для повышения эффективности выполнения транспортных космических операций с использованием электроракетных двигательных установок благодаря их высокому удельному импульсу:

- 1) необходимо разработать математических моделей, описывающих оптимальные траектории многовитковых межорбитальных перелетов космических аппаратов (КА) с электроракетной двигательной установкой (ЭРДУ) при использовании сложных схем межорбитальных и межпланетных перелетов.
- 2) необходимо совершенствовать методов оптимизации космических маневров, разработки алгоритмов, обеспечивающих сходимость тех итерационных процедур, без которых не обходится ни один поиск оптимальной траектории космического перелета.

**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; совершенствование методов проектирования траекторий КА с малой тягой.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается:

Разработана **новая** методическая база для решения задачи оптимального управления движением КА с ЭРДУ с помощью совместного использования условий оптимальности

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 25 06 2018

принципа максимума и численного метода оптимизации, базирующегося на эволюционной стратегии с адаптацией ковариационной матрицы.

1. Разработан метод оптимизации многовитковых межорбитальных перелетов КА с ЭРДУ между некомпланарными орбитами и прямых гелиоцентрических перелетов КА с ЭРДУ.
2. Разработана методика анализа и оптимизации сложных схем межпланетного перелета КА с химическими двигательными установками с использованием гравитационных маневров у промежуточных планет и импульсов скорости на гелиоцентрических участках перелета. Методика базируется на эволюционной стратегии с адаптацией ковариационной матрицы.
3. Разработан трехэтапный метод оптимизации сложных схем межпланетного перелета КА с ЭРДУ. В методе используется полный набор условий оптимальности принципа максимума. Метод предполагает решение вспомогательной задачи, которая формулируется как задача безусловной оптимизации межпланетного перелета с использованием активных гравитационных маневров и импульсов скорости на траекториях гелиоцентрического перелета. Полученные из решения вспомогательной задачи характеристики (маршрут и его характерные даты) используются на последующих двух этапах разработанного метода как начальное приближение. На последнем (третьем) этапе решается задача сквозной оптимизации всего рассматриваемого маршрута.
4. Предложен подход к оптимизации траекторий КА с ЭРДУ, идея которого состоит в сведении задачи оптимизации, сформулированной в виде краевой задачи принципа максимума, к задаче безусловного минимума некоторой функции. Эта функция представляет собой сумму квадратов невязок краевой задачи принципа максимума и оптимизируемого критерия, взятого с весовым коэффициентом. Предполагается использование метода продолжения по этому весовому коэффициенту, при котором появляется возможность получения глобального экстремума анализируемого критерия.

**Достоверность** полученных в работе результатов обоснована точностью и строгостью общей математической формализации рассматриваемых в работе оптимизационных проблем с помощью известных методов, использующихся при решении аналогичного типа задач 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

- Разработанная методика и общий подход к решению задач траекторной оптимизации межпланетного и межорбитального перелета КА с ЭРДУ может быть широко использованы при решении различных задач баллистического проектирования транспортных космических систем.
- Разработанные алгоритмы, реализующие предложенную в работе методику, могут быть использованы при проектировании межпланетных и межорбитальных перелетов КА с двигателями малой тяги.

При этом, можно отметить и ряд **недостатков**, содержащихся в автореферате рассматриваемой работы:

- судя по автореферату, в качестве конкретного примера межорбитального перелёта рассматривается только перелёт на ГСО, что, не исчерпывает актуальные постановки околоземных межорбитальных перелётов.
- судя по автореферату, не ясно как получены использованные условия трансверсальности при гравитационных маневрах.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки работы и могут быть учтены автором в дальнейшей работе. Судя по автореферату, диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненном на высоком уровне. Полученные результаты, приведенные в автореферате диссертации, позволяют квалифицировать работу как решение новой научной задачи.

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» п. 9-14, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Мин Тейн заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

*Доцент кафедры общих проблем управления*

*механико-математического факультета*

*МГУ имени М.В.Ломоносова, к.ф.-м.н.*

*Тел. 8-495-939-56-32, e-mail zapletin\_m@mail.ru*



*Заплетин М.П.*