



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.Э. БАУМАНА»  
(национальный исследовательский университет)

## НАУЧНО-УЧЕБНЫЙ КОМПЛЕКС «СПЕЦИАЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ» (НУК СМ)

105005, Москва, Госпитальный пер., д.10  
Телефон: (499)-263-65-12. Телефакс (499)-267-74-15. Электронная почта: dekanat@sm.bmstu.ru

23.05.18 № 03.06.01/105  
на № 010121 от 11.04.2018

УТВЕРЖДАЮ  
Руководитель НУК СМ  
МГТУ им. Н.Э.Баумана  
Д.т.н., профессор  
В.Т.Калугин  
23.05 2018 г.

### 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»

Тема диссертационной работы, посвященной разработке методов оптимизации траекторий межорбитального перелета в окрестности одного гравитирующего тела (в том числе, Земли) и траекторий межпланетного перелета, является безусловно **актуальной**. Отмеченное обстоятельство определяется, прежде всего:

- целесообразностью повышения эффективности транспортных космических операций, выполняемых КА с электроракетной двигательной установкой;

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 31  
"05" 2018

- необходимостью разработкой математических моделей, описывающих оптимальные траектории многовитковых межорбитальных и межпланетных перелетов КА с ЭРДУ;

- целесообразностью совершенствования методов оптимизации траекторий КА, разработки алгоритмов для обеспечения регулярной сходимости необходимых для этого итерационных процедур;

- необходимостью развития методик оптимизации траекторий КА для поиска оптимального решения в условиях существования большого числа локальных экстремумов.

**Основными целями диссертационной работы** являются:

- повышение эффективности работы космических транспортных систем с ЭРДУ при реализации межорбитальных и межпланетных перелетов;
- совершенствование методических основ механики космического полета с малой тягой и методов проектирования траекторий КА с малой тягой.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в разработке новой методической базы для решения задачи оптимального управления движением КА с ЭРДУ на основе совместного использования условий оптимальности принципа максимума и метода SMAES. Диссертационная работа включает в себя:

✓ метод оптимизации многовитковых межорбитальных перелетов КА с ЭРДУ между некомпланарными орбитами, применимый при рассмотрении задач оптимального быстрогодействия и минимизации затрат топлива при фиксированном времени перелета. Метод обеспечивает хорошую сходимость;

✓ устойчивый и регулярный метод решения задач оптимизации траекторий прямых гелиоцентрических перелетов КА с идеально-регулируемой ЭРДУ и КА с нерегулируемым двигателем ЭРДУ;

✓ подход к оптимизации траекторий КА с ЭРДУ, идея которого состоит в том, чтобы свести задачу оптимизации (в том числе краевую задачу принципа максимума) к задаче безусловного минимума вспомогательной

функции, состоящей из суммы квадратов невязок краевой задачи принципа максимума и оптимизируемого критерия, взятого с весовым коэффициентом для получения глобального оптимума;

✓ алгоритмы анализа и оптимизации 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;

✓ трехступенчатый метод решения сквозной задачи оптимизации для сложных траекторий перелета КА с ЭРДУ с совместным использованием полного набора условий оптимальности принципа максимума и метода СМАЕС.

**Достоверность** полученных в работе результатов обусловлена точностью и строгостью общей математической формулировки рассматриваемых в работе проблем оптимизации с помощью методов, повсеместно используемых при решении аналогичных задач в рамках механики космического полета КА с малой тягой, а также сравнением полученных автором результатов с соответствующими результатами других авторов.

**Практическая значимость** диссертационной работы Мина Тейна заключается в возможности использования следующих объектов, разработанных в диссертации:

- нового подхода для решения задач оптимизации траекторий межорбитальных и межпланетных перелетов КА с ЭРДУ;
- методики 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 автором методов и программного обеспечения можно проводить проектно-баллистический анализ перспективных космических миссий, к которым в том числе относятся:

- 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 можно использовать при создании программных продуктов, обеспечивающих решение широкого круга задач для анализа перспективных космических транспортных средств.

При несомненной актуальности, научной новизне и практической значимости данной работы ей присущи некоторые **недостатки**, которые не снижают ее общей положительной оценки:

- в автореферате диссертации не отражена инициализация начальных параметров метода SMAES и влияние этих параметров на регулярность и трудоемкость решения различных задач оптимизации;
- в автореферате диссертации неясно отражены результаты шестой главы диссертационной работы.
- в автореферате диссертации на рисунке 25 неправильная подрисовочная подпись (Траектория Земля – Земля – Юпитер – Сатурн). В самом деле показана траектория Земля – Венера – Венера – Земля – Юпитер – Сатурн.

Судя по автореферату, диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком уровне. Приведенные в автореферате диссертации результаты работы позволяют квалифицировать ее как решение важной научно-технической проблемы повышения эффективности космических транспортных систем и развития методических основ механики космического полета с малой тягой.

Содержание исследования соответствует паспорту специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов».

Диссертационная работа полностью соответствует критериям «Положения о порядке присуждения научных степеней», 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».

*Профессор кафедры СМ-3  
чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор*



*В.В. Бетанов*

**Бетанов Владимир Вадимович, чл.-корр. РАН, д.т.н., профессор  
тел. 8-903-599-80-71, E-mail: vlavab@mail.ru**