

## О Т З Ы В

официального оппонента Заплетина Максима Петровича на диссертационную работу Иванюхина Алексея Викторовича «Методы проектирования траекторий КА с электроракетными двигателями на основе анализа области существования решений и исследования задачи о минимальной тяге», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

В рецензируемой диссертационной работе исследуется возможность использования перспективных электроракетных двигательных установок для реализации сложных схем межпланетного перелета, включающих промежуточные условия. В качестве таких установок рассматриваются двигатели с постоянной (ЯЭРДУ) и переменной (СЭРДУ) мощностью ДУ. Траектории перелёта КА с орбиты Земли к Венере, Марсу и Меркурию, а также замкнутые перелёты, траектории с гравитационными манёврами и другие задачи облёта группы объектов. В рамках данной работы рассмотрен ряд замкнутых перелётов: Земля-Марс-Земля, Земля-астероид-Земля, соответствующих пилотируемой экспедиции и задаче доставки проб грунта на Землю.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

**Во введении** сформулированы цели и задачи исследования.

**В первой** главе рассматриваются математические модели, описывающие движение КА для рассматриваемых схем межпланетного перелета с ЭРД. Описываются две задачи: задача о перелете КА с идеально-регулируемым (ИР) двигателем ограниченной мощности (ОМ-задача) и задача о перелете КА с ЭРДУ ограниченной тягой (ОТ-задача). Для ОТ-задачи представлена математическая модель регулировочных характеристик ЭРДУ как зависимость доступной для ЭРДУ мощности, тяги и скорости истечения от условий полета КА (фазовых координат и времени).. На основе принципа максимума Понтрягина получена система уравнений оптимального управления, включающая дифференциальные уравнения для фазовых и сопряженных переменных, граничные условия с учетом промежуточных условий. Приведена краевая задача принципа максимума и описаны численные методы, используемые для интегрирования систем дифференциальных уравнений и для решения краевой задачи. В качестве основного метода используется метод продолжения по параметру, представленный для этой задачи также в первой главе.

**Во второй** главе формулируется и исследуется проблема существования решений, определение границы области существования решений. Формулируется задача минимизации максимальной тяги, необходимой для заданного перелета.

**В третьей** главе представлены результаты расчетов и анализ полученных решений для ОМ и ОТ задач в широком диапазоне изменения параметров. В качестве маневров рассмотрены перелеты: Земля – Меркурий, Земля – Венера, Земля – Марс, а также перелеты с возвратом: Земля – Марс – Земля, : Земля – Веста – Земля, Земля – Юнона – Земля, Земля – Гигея – Земля. Получены области существования в пространстве основных параметров ЭРДУ. Представлены решения задач с минимизацией тяги.

Диссертационная работа А.В.Иванюхина состоит в разработке методов и алгоритмов баллистического проектирования перелетов, основанных на

Эта задача представляет несомненный интерес как с научной, так и с практической точки зрения для проектно- баллистического анализа и баллистико-навигационного обеспечения космических миссий. Разработка методов и алгоритмов оптимизации траекторий перелетов с ЭРД и является актуальной.

Научная новизна в диссертации Иванюхина А.В. состоит в предложении новых методов для решения поставленных задач:

1. методика построения области существования решений перелётов КА с ЭРДУ;
2. формулировка задачи с минимизацией максимальной тяги, необходимой для маневра и методика построения траекторий, перелётов КА с ЭРДУ реализующих решение задачи;
3. методика перехода с границы области существования в её внутреннюю часть с использованием сглаженного управления;
4. методика учета промежуточных условий и расчет оптимальных траекторий для задач с возвратом.

Результаты работы изложены в 4 печатных работах в том числе в 4 изданиях рекомендованных ВАК.

Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование. Материал хорошо структурирован и изложен грамотным научным языком, чётко обозначен личный вклад автора в результаты исследований, выводы аргументированы. При этом, однако, по содержанию имеется несколько замечаний:

1. В диссертации приведены теоремы существования, но нет их доказательства.
2. На странице 37 утверждения нечетко сформулированы (например, (2.4) и нет доказательств этих утверждений.
3. На странице 36 утверждение 4 по-видимому сделана опечатка. В таком виде оно лишено смысла

Считаю, что приведенные замечания не снижают научной и практической ценности проведенного исследования.

Диссертация А.В.Иванюхина «Методы проектирования траекторий КА с

электроракетными двигателями на основе анализа области существования решений и исследования задачи о минимальной тяге» является законченным научным исследованием, имеющим теоретическую и практическую ценность.

Работа удовлетворяет требованиям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор, Алексей Викторович Иванюхин, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Заплетин Максим Петрович,  
кандидат физико-математических наук  
(специальность 01.02.01 «Теоретическая механика»),  
доцент кафедры «Общих проблем управления» механико-математического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Адрес: 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1,  
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова  
телефон: 8 495 939-56-32  
e-mail: Zapletin\_m@mail.ru  
сайт: www.math.msu.ru

Заведующий научным отделом Механико-математического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

доцент



М.В. Козлов