



Акционерное общество  
«Государственный ракетный центр  
имени академика В.П.Макеева»  
(АО «ГРЦ Макеева»)  
Российская Федерация, Челябинская область,  
г. Миасс

✉ Тургоякское шоссе, 1, г. Миасс,  
Челябинская область, 456300

☎ 351-3/28-63-70 📠 351-3/55-51-91; 24-12-33  
Телеграфный адрес: «Рубин» 624013  
E-mail: src@makeyev.ru  
ОКПО 07549733, ОГРН 1087415002168  
ИНН/КПП 7415061109/742150001

От 06.08.18 № 16/875

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Экз. № 1

Ученому секретарю  
диссертационного совета Д 212.125.12  
при ФГБОУ ВО «Московский  
авиационный институт (национальный  
исследовательский университет)»  
к.т.н., доценту  
А.В. Старкову

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д.4,

По вопросу: направление отзыва  
на автореферат диссертации

В ответ на Ваш исх. №601-16-348 от 29.06.2018 направляю отзыв на автореферат диссертации Орлова Александра Александровича, выполненной на тему «Оптимизация сложных схем перелета КА с электроракетными двигателями при граничных условиях смешанного типа» и представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Приложение: «Отзыв...», экз. №1, №2 на 4 листах каждый.

*С уважением*

Главный ученый секретарь,  
кандидат технических наук

С.Т. Калашников

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Экз. № 2  
13 08 2018

**О Т З Ы В**

Акционерного общества «Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева» на автореферат диссертации **Орлова Александра Александровича**, выполненной на тему **«Оптимизация сложных схем перелета КА с электроракетными двигателями при граничных условиях смешанного типа»** и представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Диссертационная работа Орлова Александра Александровича посвящена исследованию вопросов, связанных с методическим обеспечением баллистического проектирования межпланетных перелетов космических аппаратов (КА) с электроракетной двигательной установкой (ЭРДУ).

Совершенствование характеристик ЭРДУ обуславливает их все более широкое использование в качестве маршевых и корректирующих двигательных установок КА для выполнения межорбитальных транспортных операций и межпланетных перелетов. Расширение круга научных и прикладных задач, решаемых КА данного типа, в свою очередь, требует решения задач формирования оптимальных траекторий. Это обуславливает **актуальность** выполненной автором работы.

Автор исследует математические модели оптимального управляемого движения центра масс КА с ЭРДУ в гравитационных полях планет с целью создания универсальной методики решения задач оптимизации межпланетных перелетов с использованием гравитационных маневров. В качестве критерия оптимизации выбран максимум конечной массы КА. Для решения рассматриваемых задач оптимизации автор использует принцип максимума Понтрягина, применение которого позволяет представить задачу оптимизации в

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Зх. № 13  
" 08 / 2018

виде краевой задачи. Краевая задача решается с помощью метода продолжения по гравитационному параметру (ПП), сводящего ее решение к итерационному решению задачи Коши.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработана методика оптимизации межпланетных траекторий КА с ЭРДУ, использующих гравитационные маневры (ГМ).
2. Разработана модификация метода ПП для случая многоточечных краевых задач межпланетных перелетов КА с двигателем ограниченной тяги (ОТ).
3. Разработана методика решения краевых задач межпланетных перелетов с ограничениями смешанного типа, основанная на использовании дополнительных ослабляющих переменных.
4. Разработаны алгоритмы и программные реализации предложенных методик.
5. Проведен качественный и количественный сравнительный анализ численных результатов перелёта Земля-Юпитер для варианта прямого перелёта и вариантов с одним и двумя ГМ при использовании новой постановки оптимизационной задачи.

**Практическая ценность** работы состоит в том, что разработанные автором методика и алгоритм оптимизации межпланетных траекторий, в том числе с ГМ, обеспечивают требуемую точность решения задач оптимизации межпланетного перелета и сокращение вычислительных затрат на их решение.

**Апробация** результатов, полученных в диссертационной работе, проведена на Научно-Технической конференции студентов и аспирантов Аэрокосмического факультета МАИ (Москва, май 2008), на XLVII научных чтениях памяти К.Э. Циолковского (Калуга, сентябрь 2012), на XLVIII научных чтениях памяти К.Э. Циолковского (Калуга, сентябрь 2013), - на семинаре «Механика космического полёта в МАИ» (Москва, июнь 2016, февраль 2018).

Из материалов автореферата следует, что автором изучены и достаточно корректно используются известные математические модели и теоретические положения других авторов по исследуемому вопросу, что подтверждает **обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**, сформулированных в диссертации.

В качестве **замечаний** к автореферату необходимо отметить следующее.

Используемое автором представление математической модели оптимального движения КА в прямоугольной системе координат не является оптимальным с вычислительной точки зрения. По нашему мнению, при моделировании многосуточных перелетов продолжительностью (700 – 1200) суток, эффективнее использовать преобразование Кустанхаймо-Штифеля, которое обеспечивает регуляризацию и устойчивость дифференциальных уравнений в областях совершения гравитационных маневров и позволяет существенно увеличить шаг интегрирования.

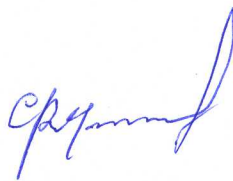
Указанное замечание не влияет на главные теоретические и практические результаты диссертации.

### **ВЫВОД.**

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, обладает актуальностью и научной новизной и имеет практическую ценность.

Автореферат в полной мере отражает сущность диссертационной работы, по объему и содержанию соответствует требованиям «Положения...» ВАК России, а его автор Орлов Александр Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Заместитель Генерального  
конструктора по проектированию  
изделий и комплексов



С.Ф. Молчанов

Начальник отдела баллистики

М.С. Голунов

Ведущий специалист

В.Ю.Фрибель

Подписи заверяю

Главный ученый секретарь АО «ГРЦ  
Макеева», к.т.н.

Кандидатская диссертация защищена по  
специальности 20.02.21 «Средства  
поражения и боеприпасы»



С.Т. Калашников

Акционерное общество «Государственный ракетный центр имени академика В.П.Макеева»

456300, г. Миасс, Челябинская область, Тургоякское шоссе, 1,

Телефон: (3513)-28-6379, (3513)-28-6216

e-mail: src@makeyev.ru