



Государственная корпорация
по космической деятельности «Роскосмос»
Государственный научный центр Российской Федерации –
федеральное государственное унитарное предприятие

**«Исследовательский центр
имени М.В.Келдыша»
(ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»)**

Онежская ул, д. 8, Москва, Россия, 125438
Тел. +7 (495) 456-4608 Факс: +7 (495) 456-8228
ОКПО 07547339 ОГРН 1027700482303 ИНН/КПП 7711000836/774301001
kerc@elnet.msk.ru; http://www.kerc.msk.ru

28.08.2018 № 13-08/28

на № _____ от _____

Ученому секретарю
диссертационного совета Д 212. 125.12
Федерального бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский
университет)» (МАИ)
кандидату технических наук, доценту
Старкову А.В.

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

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю Вам отзыв на автореферат диссертации Орлова А.А.
«Оптимизация сложных схем перелета КА с электроракетными двигателями
при граничных условиях смешанного типа».

Приложение:

Отзыв на автореферат на 3 листах в 2-х экз.

Ученый секретарь
ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»
кандидат военных наук

Ю.Л. Смирнов

Исполнитель: Сеницын А.А.
тел. +7(495)456-93-13 (доб. 5-86)

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 2
" 30 08 2018

Отзыв

на автореферат диссертации А.А. Орлова «Оптимизация сложных схем перелета КА с электроракетными двигателями при граничных условиях смешанного типа», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Одной из сложностей при проектно-баллистическом анализе межпланетных полетов КА с электроракетной двигательной установкой является поиск оптимальных номинальных траекторий и схем полета. В силу ряда факторов существующие математические методы решения позволяют обеспечить сходимость задач относительно простой постановки и небольшой размерности. Поиск решения конкретной рассматриваемой задачи обычно связан с последовательностью усложнений от наиболее простой постановки краевой задачи с тем, чтобы на каждом этапе обеспечивалась сходимость. От выбора этой последовательности зависит успешность решения поставленной задачи.

Гравитационные маневры в межпланетных полетах являются возможным направлением для улучшения показателей эффективности. Однако, использование гравитационных маневров ведет к усложнению краевой задачи: увеличивается размерность, ухудшается сходимость. Следует отметить, что необходимые условия оптимальности различны для задачи с ограничением на высоту перицентра пролетной гиперболы и без ограничения. Причем до проведения расчетов невозможно определить будет ли иметь место выход на ограничение или нет, что требует либо проведения расчетов для каждого гравитационного маневра с ограничением и без, либо разработки специальных подходов, позволяющих автоматически определять выход на ограничение из решения краевой задачи.

Исследования, представленные в диссертационной работе, направлены на устранение вышеперечисленных трудностей, и с этим связана их **актуальность**.

К **новым** научным результатам, представленным в диссертации, можно отнести:

- 1) Развитие методов автоматизации решения сложных вариационных задач поиска траекторий межпланетных перелетов с малой тягой, заключающееся в разработанных модификациях метода продолжения по параметру (от пассивного движения к траекториям с двигателем ограниченной тяги; метод продолжения по гравитационному параметру для многоточечных краевых задач);
- 2) Алгоритм расчета базис-вектора Лоудена (сопряженных переменных компонентам скорости) после совершения гравитационного маневра через фазовые и сопряженные переменные до момента совершения гравитационного

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. №
" 30 08 2018

маневра, позволяющий сократить размерность решаемой численно вариационной задачи на три;

3) Методика расчета траекторий перелета с малой тягой при использовании гравитационных маневров, обеспечивающая автоматическое определение наличия выхода на ограничение по радиусу перицентра пролетной гиперболы, что позволяет отказаться от решения вспомогательных краевых задач и существенным образом сократить объем вычислительного времени, особенно в схемах перелета с несколькими гравитационными маневрами.

Практическая значимость результатов диссертационной работы определяется возможностью применения полученного программно-методического обеспечения с высокой степенью автоматизации для проектно-баллистического анализа сложных схем межпланетных перелетов с гравитационными маневрами.

Достоверность полученных результатов подтверждается адекватностью постановки вариационных задач, корректностью использования математических моделей и методов, использованием необходимых условий оптимальности в замкнутом виде, верификацией результатов тестовых расчетов, приводимых в литературе другими авторами.

Недостатками автореферата являются:

1. В работе размером сферы действия Юпитера пренебрегалось. Такое упрощение расчетной математической модели приводит к методической ошибке при оценке продолжительности перелета. С учетом размеров сферы действия Юпитера и его значительной массы величина методической ошибки от двойного учета продолжительности движения в сфере действия (на гелиоцентрическом и планетоцентрическом участках) может быть значимым при проведении проектно-баллистического анализа.
2. В главе три рассматривается ЭРДУ на базе ионных двигателей с постоянным удельным импульсом тяги и мощностью с выключением двигателей по мере падения располагаемой мощности в зависимости удаления от Солнца. Известно, что на ионных двигателях, применявшихся на межпланетных КА, были реализованы различные режимы работы с достаточно широким регулированием по мощности. В работе не затрагивается достаточно интересный вопрос сравнения по показателям эффективности ЭРДУ с постоянными характеристиками и отключаемыми двигателями (и более простой циклограммой работы) с ЭРДУ на базе регулируемых по мощности (и удельному импульсу тяги) двигателей.
3. Принятые характеристики ЭРДУ в главе три содержат следующее несоответствие. Так, приводятся удельный импульс (4500 с), полный к.п.д. ЭРДУ 0,8, мощность ЭРДУ 5 кВт (с одним двигателем). Расчет тяги при таких

характеристиках ЭРДУ дает величину 0,18 Н, в то время как указана при этом величина тяги 0,15 Н.

Вышеприведенные замечания не умаляют значимость полученных автором научных результатов. Представленная диссертационная работа выполнена на высоком уровне, а ее автор продемонстрировал умение ставить и решать самые сложные инженерно-технические задачи баллистики с малой тягой.

Как следует из автореферата, представленная диссертационная работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (п. 9), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, а её автор – Орлов Александр Александрович – заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Кандидат технических наук по специальностям 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» и 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», ведущий научный сотрудник отдела 20 ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»

А.А. Сеницын

28 августа 2018 г.

Почтовый адрес: 125438, г. Москва, Россия, ул. Онежская, д. 8.

Контактный телефон: +7(495)456-93-13 (доб. 5-86)

Адрес электронной почты: Sinitin@KeRC.msk.ru

Инженер I категории отдела 20 ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»

Е.И. Музыченко

28 августа 2018 г.

Почтовый адрес: 125438, г. Москва, Россия, ул. Онежская, д. 8.

Контактный телефон: +7(495)456-64-42

Адрес электронной почты: Muzychenko@KeRC.msk.ru

Подписи А.А. Сеницына, Е.И. Музыченко удостоверяю

Ученый секретарь

ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»

кандидат военных наук



Ю.Л. Смирнов

Почтовый адрес: 125438, г. Москва, Россия, ул. Онежская, д. 8.

Контактный телефон: +7(495)456-93-12

Адрес электронной почты: KeRC@elnet.msk.ru