



**НПО
ЛАВОЧКИНА**

Акционерное общество
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»
(АО «НПО Лавочкина»)

Ленинградская ул., д. 24, г. Химки, Московская область, 141402, ОГРН 1175029009363, ИНН 5047196566
тел.: +7 (495) 573-56-75, факс: +7 (495) 573-35-95, e-mail: npol@laspace.ru, www.laspace.ru

« 30 АПР 2021 » 20 __ г. № 597/12253

На № _____ от _____

Учёному секретарю
диссертационного совета
Д 002.024.01
на базе ФГУ «Федеральный
исследовательский центр
Институт прикладной математики
им. М.В. Келдыша РАН»
к.ф.-м. н. Ширококову М.Г.

125047, г. Москва,
Миусская пл., д. 4

УТВЕРЖДАЮ

И.о. первого заместителя
генерального директора –
генерального конструктора

А.С. Митькин

«28» 04 2021 г.

Отзыв

на автореферат диссертации

Самохина Александра Сергеевича

на тему «Методика построения экстремалей Понтрягина в задачах сквозной траекторной оптимизации межпланетных перелётов с учётом планетоцентрических участков», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика

Работа посвящена разработке методики решения задач оптимального управления межпланетными перелётами космических аппаратов. Особенностью методики является возможность решения задач оптимизации

большой размерности, учитывающей порядка 70 независимых переменных. Это вызвано необходимостью построения экстремалей Понтрягина в задачах сквозной оптимизации траекторий межпланетных и планетоцентрических участков полёта КА, оснащённых двигателями как большой, так и малой тяги. Для поиска решения используется «лестница задач», основанная на поэтапном повышении размерности и сложности решаемой задачи. Результаты, полученные на текущем иерархическом этапе «лестницы», являются начальным приближением для поиска решения на следующем этапе.

Разработанная в диссертации методика была применена для миссии перелёта к спутнику Марса Фобосу. На нём, по мнению многих учёных, могло сохраниться реликтовое вещество. Также рассмотрен и обратный перелёт к Земле для возврата собранного грунта.

Таким образом, работа посвящена решению **актуальной научной задачи** по разработке методики для построения экстремалей Понтрягина в задачах сквозной оптимизации межпланетных траекторий КА, оснащённых ДУ большой и малой тяги, с учётом притяжения планет и без использования грависфер нулевой протяжённости.

Научная новизна диссертации состоит в том, что в ней впервые разработана теоретическая схема построения экстремалей Понтрягина в задачах траекторной оптимизации для перелётов к заданному небесному телу и последующим возвращением к Земле, жёсткой фазировкой, единым функционалом и сквозной оптимизацией по нему, учётом комбинированной ограниченной кусочно-непрерывной тяги, эффектов потери точности и детальным рассмотрением планетоцентрических участков. Предложена методика «лестницы задач», основанная на решении задач в упрощённой постановке и методе продолжения решения по параметру, позволяющая построить необходимое начальное приближение.

Отметим новые **научные результаты**, полученные в работе:

1. Решена задача сквозной оптимизации траектории межпланетного перелёта КА с единым функционалом и подробным рассмотрением планетоцентрических участков без использования грависфер нулевой протяжённости.
2. Разработана методика решения многоэкстремальных задач оптимизации траекторий межпланетных перелётов с возвратом к Земле, ограниченной комбинированной большой и малой кусочно-непрерывной

тягой, включающая решение серии вспомогательных задач в упрощённой постановке и продолжение решения по параметру.

3. Предложены численные методы решения краевых задач принципа максимума, возникающих при управлении совокупностью динамических систем, с учётом эффекта потери точности и перестройки структуры траектории при изменении количества активных участков во время продолжения решения по параметру.

4. Для построения начального приближения значений параметров, необходимого для поиска области нахождения глобально оптимального решения и значений сопряжённых переменных, требующихся для сходимости модифицированного метода Ньютона, разработана методика «лестницы задач». Она основана на поэтапном переходе от задач, решение которых не представляет вычислительных трудностей, таких как оптимизация комбинаций задач Ламберта прямыми методами, к задаче оптимального управления совокупностью динамических систем с кусочно-непрерывным управлением.

Считаем, что наиболее важными **практическими результатами** работы являются следующие:

1. Построены конкретные экстремали в задаче перелёта к Фобосу. Решены задачи в различной постановке, в том числе с трёхимпульсным и многовитковым подлётом к Марсу, а также гравитационным манёвром у Луны.

2. Разработан программный комплекс, предназначенный для расчёта и оптимизации межпланетных траекторий космических аппаратов, оснащённых ДУ комбинированной тяги. На его основе могут быть решены задачи оптимизации траекторий перелёта к различным телам Солнечной системы.

3. На основе анализа построенных экстремалей Понтрягина оценен выигрыш от использования малой тяги при доставке образцов грунта с Фобоса, позволяющий судить о целесообразности оснащения КА таким двигателем, произведено сравнение различных схем экспедиции.

Работа вносит существенный вклад в развитие таких научных направлений как управление движением и баллистическое проектирование космических аппаратов с большой и малой тягой, а также решения задач локальной и многоэкстремальной оптимизации в задачах механики космического полёта.

Наряду с достоинствами диссертации следует отметить следующие замечания и недостатки:

1. При оптимизации траектории возврата к Земле не учтено ограничение на скорость входа в её атмосферу, являющейся важным проектным параметром КА. В тексте автореферата отсутствуют какие-либо параметры подлёта аппарата к Земле, за исключением его относительной массы, указанной на рисунке 2. Весь участок траектории возврата к Земле практически никак не описан и не приведены результаты его расчётов. Он только вскользь упомянут при описании схемы полёта в главе 1.
2. Судя по описанной в главе 4 схеме полёта КА, операции по сближению с Фобосом и посадке на его поверхность предполагаются мгновенными. Однако, как показывает российский и международный опыт разработки миссий с посадкой на малые тела Солнечной системы, на эти операции стоит отводить значительное время – порядка нескольких недель или даже месяцев. Оно необходимо для тщательного изучения рельефа поверхности и выбора места посадки, т.к. камни и неровности размерами даже несколько десятков сантиметров не позволяют выполнить посадку КА с гарантированным отсутствием его опрокидывания. На этих этапах полёта также необходимо в модели движения КА учитывать гравитационное влияние Фобоса. В работе такой учёт отсутствует.
3. Представленная математическая модель движения КА не учитывает влияние солнечного давления на всех этапах полёта. Этот фактор является важным для аппаратов, оснащённых ЭРДУ, в силу большой площади поверхности панелей солнечных батарей.
4. Рисунки 2 и 6 построены в шкале относительного времени – в сутках от некоторой начальной даты. При этом диапазон изменения этого параметра – тысячи и десятки тысяч суток. Это затрудняет восприятие графиков. Следовало бы указать также календарные даты в подписях на оси абсцисс.
5. При описании содержания глав диссертации автор очень кратко описывает методику и полученные результаты. Вместо более детального описания используются ссылки на публикации. Такой подход представляется весьма спорным. Причём, перечень публикаций занимает довольно большой для автореферата объём – 5 страниц, а содержание глав всего лишь немногим более – только 9 страниц. На наш взгляд, результаты исследования имеют более высокую значимость, чем список конференций, на которых выступал автор, а также разработанных им программ для ЭВМ.

Вместе с тем указанные недостатки не влияют на качество выполненной диссертантом работы и не снижают общие положительные впечатление и оценку проведенных научных исследований, разработанных новых научных подходов и моделей.

Большой объем публикаций автора (34 работы, из них 7 статей – в изданиях из списка ВАК МинОбрНауки, Scopus и WebOfScience, а также 4 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ) подчеркивает фундаментальный подход автора к решению поставленной сложной научной задачи.

Несмотря на ряд незначительных опечаток, его основной текст написан емко, грамотным и лаконичным языком.

Основываясь на тексте автореферата, можно заключить, что диссертационная работа Самохина Александра Сергеевича является законченным и реализованным на практике научным исследованием, выполненным автором самостоятельно на высоком научно-техническом уровне. Данная научно-квалификационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, согласно п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), а ее автор, Самохин Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

Авторы дают свое согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата наук Самохина Александра Сергеевича и их дальнейшую обработку.

Главный математик
отдела баллистики и навигации,
кандидат технических наук



Симонов Александр Владимирович

Инженер второй категории
отдела баллистики и навигации,
кандидат технических наук



Поль Вадим Георгиевич

Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» (АО «НПО Лавочкина»)

Почтовый адрес: 141402, РФ, г. Химки, Московская область, Ленинградская ул., д. 24.

Телефон: +7 (495) 573-56-75

Официальный сайт: <http://www.laspace.ru/>

Электронная почта: npol@laspace.ru