



# ФЕДЕРАЛЬНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»



Ленинградская ул., д. 24, г. Химки, Московская область, Российская Федерация, 141400  
тел. (495) 629-67-55, факс (495) 573-3595,  
e-mail: nprol@iaspace.ru, http://www.iaspace.ru

12 ОКТ 2015

№

118/6894

на №

от

Ученому секретарю  
Ученого совета Московского  
авиационного института  
(национального исследовательского  
университета),  
к.т.н., доц. А.Н. Ульяшиной

---

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

УТВЕРЖДАЮ

Помощник  
генерального директора  
по науке, д.т.н., профессор



В.В. Ефанов

10 2015 г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы  
Иванюхина Алексея Викторовича

«Методы проектирования траекторий КА с электроракетными двигателями на основе анализа области существования решений и исследования задачи о минимальной тяге», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

Тема представленной на рассмотрение диссертационной работы связана с решением научной задачи оптимизации траекторий космических аппаратов (КА) с электроракетными двигательными установками (ЭРДУ). Благодаря высокому удельному импульсу тяги ЭРДУ уже давно используются для проведения относительно небольших манёвров, но только в последнее время они стали широко применяться в качестве маршевых двигателей для

межорбитальных и межпланетных перелетов. При этом наиболее перспективным их использование представляется в целях исследования планет и малых тел Солнечной системы.

Об актуальности использования ЭРДУ говорит разработка подобных им миссий, осуществляемая в других странах. По мере развития технических возможностей и продвижения интересов и задач космонавтики ЭРДУ становятся все более востребованными. В связи с этим задача проектирования и оптимизации траекторий с малой тягой требует дальнейшего развития методов повышения устойчивости вычислительных процедур для обеспечения качественных результатов исследования. Это дает возможность утверждать, что диссертационное исследование выполнено на актуальную тему.

Научная новизна работы состоит в разработке методики, позволяющей определять область существования решений задач перелётов КА с двигателем ограниченной тяги в пространстве основных параметров двигательной установки. На основе этой методики сформулирован подход к поиску оптимального управления КА с двигателем ограниченной тяги. Разработку программного обеспечения на основе данной методики также имеет большое как научное, так и практическое значение, так как оно обеспечивает высокую степень автоматизации процесса поиска решений и обеспечивает построение границы области существования решений в задачах расчётов межпланетных перелётов.

К достоинствам данной диссертационной работы относится использование непрямых методов оптимизации, методов численного решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений и численного интегрирования. Например, задача оптимального управления КА с ограниченной тягой сводилась к краевой задаче с помощью принципа максимума Понтрягина, а краевая задача – к задаче Коши методом продолжения по параметру.

В работе представлены результаты качественного анализа области существования решения в пространстве основных параметров двигательной установки для ряда задач прямых межпланетных перелётов (Земля-Меркурий, Земля-Венера, Земля-Марс) при помощи разработанного автором метода, а также решения межпланетных перелётов по сложным маршрутам (замкнутым перелётам к Марсу и астероидам). О высокой степени достоверности результатов данной диссертационной работы говорит тот факт, что они совпадают с результатами, полученными авторами других опубликованных работ. Данные результаты демонстрируют высокую степень надежности разработанного автором метода и созданного на его основе программного обеспечения.

Сочетание в работе хорошей теоретической проработки методики и её программной реализации отражает научно-практический вклад автора в развитие методов проектирования траекторий КА с ЭРДУ. Предложенные методы интересны как с точки зрения траекторной оптимизации межпланетных перелётов, так и для выработки требований к перспективным ЭРДУ и оснащаемым ими КА.

По материалам диссертационной работы имеется 10 публикаций, из них 4 статьи в реферируемых ВАК изданиях. Результаты работы были доложены на двух международных и трёх российских конференциях.

К недостаткам работы, судя по автореферату, можно отметить следующее:

- 1) При переходе к задаче с заданной величиной тяги ЭРДУ используется сглаженная модель релейного управления, что вносит дополнительные погрешности в полученные таким образом решения;
- 2) В приведённом примере межпланетного перелёта Земля-Марс никак не рассматриваются околопланетные участки траектории;
- 3) В качестве модели движения КА используется ограниченная задача двух тел, не учитывающая притяжения планет солнечной системы.

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации. Замечания носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором в дальнейшей работе. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Судя по автореферату, считаем, что по совокупности полученных результатов диссертационная работа «Методы проектирования траекторий КА с электроракетными двигателями на основе анализа области существования решений и исследования задачи о минимальной тяге», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов, соответствует критериям, изложенным в пунктах 9 – 14 Положения о присуждении учёных степеней, а её автор Иванюхин Алексей Викторович заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по названной специальности.

Заместитель начальника Центра баллистико-навигационного обеспечения КС, д.т.н.



А.Е. Назаров

Заместитель начальника отдела баллистико-навигационного обеспечения межпланетных КА и средств выведения, к.т.н.



А.В. Симонов