

Акционерное общество
«Российская корпорация ракетно-космического
приборостроения и информационных систем»
(АО «Российские космические системы»)

Авиамоторная ул., д. 53, Москва, 111250
Тел.: (495) 509-12-01, факс: (495) 509-12-00, e-mail: contact@spacecorp.ru
ОКПО 11477389, ОГРН 1097746649681, ИНН 7722698789, КПП 774850001

от 10.02.2020 № РКС НТС9-13

На № 034-06-48 от 24.01.2020

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Старченко Александра Евгеньевича

«Траектории многовитковых перелётов космических аппаратов с минимальной радиационной нагрузкой», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Диссертационная работа посвящена оптимизации многовитковых траекторий межорбитальных перелетов космических аппаратов (КА) с двигателями малой тяги (электроракетные двигательные установки - ЭРДУ) с целью снижения воздействия космической радиации на бортовые системы. В работе рассмотрены примеры оптимизации многовитковых траекторий выведения на геостационарную орбиту (ГСО) КА с солнечной и ядерной ЭРДУ, и приведены результаты полученных траекторий и проведён анализ эффективности разработанного метода снижения радиационной нагрузки на бортовые системы КА.

Актуальность представляемой работы определяется:

- развитием методов оптимизации многовитковых межорбитальных траекторий, в частности с целью снижения радиационной нагрузки на бортовые системы,

Отдел документационного
обеспечения МАИ

Вх. № 2
« 10 » 02 20 20

- востребованностью использования траекторий с довыведением при использовании высоких рабочих орбит (например, ГСО), связанных с долгим пребыванием КА в радиационных поясах Земли,
- необходимостью разработки эффективных методов защиты бортовой аппаратуры КА от воздействия космической радиации.

В качестве **цели** работы заявлено исследование возможностей снижения радиационной нагрузки на бортовые системы КА при выведении на геостационарную орбиту с использованием ЭРДУ путём оптимизации траектории многовиткового перелёта.

В качестве основного метода решения задач оптимизации траекторий межорбитальных перелетов КА с ЭРДУ используется принцип максимума Л.С. Понтрягина. Для численного решения краевых задач, возникающих из принципа максимума, в диссертационной работе используется метод продолжения по параметру, метод Левенберга-Марквардта и модифицированный метод Ньютона.

Автором получены следующие наиболее значимые **научные и практические результаты**:

- предложена и апробирована методика осреднения радиационных функционалов по круговым орбитам и построения их гладких аппроксимаций с помощью сплайнов высокого порядка;
- предложена и апробирована методика решения задач оптимизации траекторий многовитковых межорбитальных перелётов КА с ЭРДУ с помощью принципа максимума Л. С. Понтрягина с целью снижения воздействия космической радиации на бортовые системы;
- с использованием разработанных методов и программного обеспечения можно проводить проектно-баллистический анализ таких космических миссии как:
 - выведение КА с солнечной ЭРДУ по многовитковой траектории перелёта с геопереходной орбиты на ГСО с максимальной

остаточной мощностью солнечных батарей на конец активного срока существования КА;

- многовитковые перелёты КА за минимальное время при заданной величине радиационной нагрузки, с возможностью выбора Парето-оптимального решения (с компромиссом между временем перелёта и радиационной нагрузкой);
- многовитковые перелёты КА в случае околокругового движения по траектории перелёта, минимизирующие радиационную нагрузку на КА, при незаданном времени перелёта;
- разработанные методы могут быть использованы при создании программных продуктов, обеспечивающих решение задач межорбитального перелёта с учётом радиационной нагрузки.

Научная новизна работы состоит в разработке методики осреднения радиационных функционалов по круговым орбитам и построения их гладких аппроксимаций с помощью сплайнов высокого порядка, разработке подхода к решению задач оптимизации траекторий многовитковых перелётов КА с ЭРДУ с целью снижения радиационной нагрузки на бортовые системы на основе принципа максимума Понтрягина в нескольких формулировках, в частности задачи на максимум относительной мощности солнечных батарей (СБ) на конец срока активного существования КА, на минимум длительности перелёта при фиксированной радиационной нагрузке, на минимум радиационной нагрузки и не заданном времени перелёта.

Достоверность полученных результатов в части постановки рассмотренной задачи определяется корректностью рассмотренных математических моделей и обоснованных методов (таких как принцип максимума Понтрягина и т.д.). Полученные решения хорошо соотносятся с результатами, опубликованными другими авторами и не вызывают сомнений.

В качестве **недостатков автореферата** можно отметить следующее:

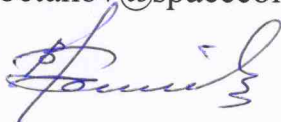
- в тексте автореферата не поясняется чем обусловлен выбор параметра, соответствующего целевому значению радиационной нагрузки на конец перелёта Q_{\max} , используемого для построения Парето-фронта двухкритериальной задачи оптимизации с частными показателями времени и радиационной нагрузки;
- в части сравнения двух принципов уменьшения поглощённой дозы: изменение траектории перелёта и метода утолщения стенок, приведён рисунок 9, сравнивающий массы утолщения стенок и дополнительных затрат топлива, однако, в тексте затраты на изменение траектории фигурируют исключительно в виде характеристической скорости, а не массы топлива, что делает приведённый график сравнения трудным для восприятия;
- в работе рассматривается задача в постановке оптимального быстродействия и её модификация, учитывающая интегральное ограничение на радиационную нагрузку, и ничего не говорится о аналогичной задаче на максимум конечной массы, а между тем такая задача тоже представляет интерес.

Несмотря на указанные недостатки, можно утверждать, что представленная диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, а указанные недостатки могут быть учтены в будущем. При этом развиваемые в работе подходы имеют существенное практическое и методическое значение.

На основании автореферата, можно сделать вывод о том, что диссертация Старченко А.Е. «Траектории многовитковых перелётов космических аппаратов с минимальной радиационной нагрузкой» является самостоятельным и законченным исследованием, соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (п. 9 – 14) ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности

05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Заместитель начальника экспертно-аналитического центра
АО «Российские космические системы»,
чл.-корр. РАН, д.т.н, профессор
8-495-673-96-61, Email: betanov@spacecorp.ru



Бетанов Владимир Вадимович

Подпись заместителя начальника центра Бетанова Владимира Вадимовича
заверяю.

Ученый секретарь
АО «Российские космические системы»,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник



Сергей Анатольевич Федотов

«10» 02 2020 г.

Акционерное общество «Российские космические системы»
Тел. +7 (495) 673-94-30, +7 (495) 673-95-19
Факс: +7 (495) 509-12-00
Email: contact@spacecorp.ru
Адрес: 111250, Россия, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 53
Адрес для почтовой корреспонденции: 111250, а/я 16, г. Москва