



Акционерное общество
«ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ»
имени академика М.Ф. Решетнёва»



ул. Ленина, д. 52, г. Железногорск, ЗАТО Железногорск, Красноярский край, Российская Федерация, 662972
Тел. (3919) 76-40-02, 72-24-39, Факс (3919) 72-26-35, 75-61-46, e-mail: office@iss-reshetnev.ru, http://www.iss-reshetnev.ru
ОГРН 1082452000290, ИНН 2452034898

от 17.11.2017 исх № 104-3/1765
на № _____ от _____

Ученому секретарю
диссертационного совета Д212.125.12
на базе Московского авиационного института
(национального исследовательского
университета)
к.т.н. А.В. Старкову

125933, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4,
А-80, ГСП-3

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляем Вам отзыв ведущей организации АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» на диссертационную работу Николичева Ильи Андреевича «Оптимизация многовиткового межорбитального перелета космического аппарата с электроракетной двигательной установкой с учетом действия возмущений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Приложение:

1. Отзыв ведущей организации в 2-х экземплярах, на 5 листах каждый.

**Заместитель генерального конструктора по разработке
космических систем, общему проектированию
и управлению космическими аппаратами**

Ю.Г.Выгонский

"УТВЕРЖДАЮ"

Председатель секции №1 НТС предприятия,
Заместитель генерального конструктора по разработке
космических систем, общему проектированию и
управлению космическими аппаратами



Ю.Г.Выгонский

" " _____ 2017г.

ОТЗЫВ

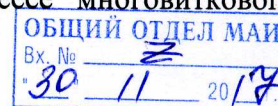
ведущей организации на диссертационную работу

Николичева Ильи Андреевича

на тему «Оптимизация многовиткового межорбитального перелета космического аппарата с электроракетной двигательной установкой с учетом действия возмущений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

1. Актуальность темы диссертационной работы

Проблема повышения эффективности выполнения транспортной операции при выведении космических аппаратов (КА) на высокие рабочие орбиты постоянно стоит перед разработчиками транспортных космических средств. Увеличение массы выводимых на рабочие орбиты космических аппаратов является важнейшей задачей, стоящей перед разработчиками транспортных средств. В настоящее время одним из основных путей повышения массовой эффективности космических транспортных средств при выведении на высокие рабочие орбиты (на геостационарную орбиту (ГСО), на орбиту спутников ГЛОНАСС) является использование в составе транспортной системы электроракетных двигательных установок (ЭРДУ). При этом траектория выведения на рабочую орбиту оказывается многовитковой, а время выведения возрастает. В процессе выведения на КА действует большое число возмущающих факторов, которые при анализе траектории выведения при использовании традиционных транспортных систем (когда время выведения невелико) можно было не учитывать. Оптимизация схемы выведения на высокие рабочие орбиты с использованием таких транспортных систем с ЭРДУ является актуальной научной проблемой. Рецензируемая диссертационная работа посвящена актуальной проблеме – анализу и оптимизации траектории выведения КА с электроракетной двигательной установкой с учетом возмущений, действующих на КА в процессе многовиткового межорбитального перелета.



В настоящее время существуют планы внедрения в практику выведения КА на высокие рабочие орбиты электроракетных двигательных установок. Требование увеличения масс КА, при выведении на геостационарную орбиту, и масс спутников Российской глобальной спутниковой системы навигации (ГЛОНАСС) заставляет искать пути повышения массовой эффективности транспортных систем, обеспечивающих выведения КА на эти орбиты. АО «ИСС» уже использует и предполагает использование в дальнейшем довыведение КА на ГСО с использованием электроракетных двигательных установок. В программе будущих проектов для космических платформ «Экспресс 1000» и «Экспресс 2000» предполагается расширение роли ЭРДУ при выведении этих платформ на ГСО. Поэтому можно считать, что диссертационное исследование И.А. Николичева находится в русле планов развития космических транспортных систем.

2. Новизна исследования и полученных результатов

Несмотря на относительно большое время, прошедшее с начала постановки задачи проектирования траекторий межорбитальных перелетов для КА с ЭРДУ, многие вопросы теории и практики оптимизации таких перелетов до сих пор не имеют четкого ответа. Основным вопросом, на который отвечает в своей работе диссертант, можно считать вопрос о том, насколько траектория многовиткового межорбитального перелета КА с ЭРДУ на ГСО, оптимизированная в рамках математической модели, учитывающей траекторные возмущения в процессе выведения, отличается от траектории выведения, полученной в рамках математической модели, не учитывающей эти траекторные возмущения. Автор диссертации, судя по всему, впервые получил оптимальную траекторию перелета в рамках очень громоздкой математической модели, учитывающей возмущения, действующие на КА с ЭРДУ на траектории выведения. Это позволило автору провести сравнение результатов оптимизации траектории межорбитального перелета в рамках математических моделей, учитывающих и не учитывающих возмущения, и сделать заключение о точности оценки массовой эффективности транспортной системы, получаемой с использованием модели не возмущенного движения.

При оптимизации траектории многовиткового межорбитального перелета КА с ЭРДУ с учетом сложных (громоздкого вида) возмущений в процессе перелета в рамках вариационного подхода к проблеме оптимизации возникают серьезные методические трудности. Модель оптимального движения при этом содержит дифференциальные уравнения, правые части которых являются производными от сложной функции (гамильтониана). Эти производные представить в виде явной функции своих аргументов, по крайней мере, очень затруднительно, часто просто невозможно. Автор диссертации разработал метод, позволивший анализировать оптимальную траекторию перелета, когда

определение правых частей дифференциальных уравнений оптимального движения проводится с использованием численного дифференцирования указанной выше функции. Основная трудность при этом обеспечение высокой точности численного дифференцирования. Автор впервые в механике космического полёта предложил использовать метод численного дифференцирования, основанный на использовании алгебры дуальных чисел, который обеспечивает высокую точность определения производных (порядок точности практически совпадает с точность вычисления кинематических характеристик траектории перелета). Эта алгебра позволила разработать новый метод оптимизации многовитковых перелетов КА с ЭРДУ. Метод является универсальным, так как позволяет учитывать траекторные возмущения различной природы, описываемые алгоритмами произвольной сложности.

Анализируя диссертационную работу по критерию новизны, можно дополнительно отметить использованную автором новую постановку проблемы оптимального маневрирования для перевода отработавших КА и отдельных конструкций (космического мусора) с ГСО на орбиту захоронения. Новизна постановки при этом, прежде всего, связана с возможностью учета траекторных возмущений для решения проблемы оптимизации встречи активного КА и «космического мусора».

Следует отметить, что автором диссертационной работы впервые получены количественные оценки оптимальных траекторий многовиткового межорбитального перелета для математических моделей, учитывающих и не учитывающих возмущения различной природы. Это количественные оценки дают возможность оценивать целесообразность учета траекторных возмущений различной структуры при проектировании траекторий многовиткового перелета КА с ЭРДУ.

3. Научная и практическая значимость результатов

Основным научным результатом проведенного в диссертации исследования можно считать разработанный автором метод оптимизации траектории многовиткового перелета КА с ЭРДУ с учетом траекторных возмущений на траектории перелета. Предложенный метод базируется на использовании численного дифференцирования для определения правых частей уравнений оптимального движения. Само численное дифференцирование предлагается выполнять с применением алгебры дуальных чисел.

Следует отметить практическую значимость и универсальность разработанного метода. Его область использования не ограничивается проблемой оптимизации многовиткового перелета КА с ЭРДУ в рамках рассмотренных в работе возмущений. Могут быть проанализированы траектории с другими ограничениями самой разной природы.

Можно согласиться с автором в том, что разработанная им методика весьма универсальна и может быть широко использована при решении различных практических задач баллистического проектирования для КА произвольного типа.

Предложенный в работе метод численного нахождения производных может быть полезен для широкого круга задач, например, таких как анализ рассеивания, для обеспечения высокой точности приведения КА при сближении, стыковке и т.д.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы при проектировании траекторий межорбитального перелета, проектно-баллистического анализа транспортных космических систем, обеспечивающих выведения КА прежде всего на высокие рабочие орбиты. Предложенный метод оптимизации может быть интересен при анализе проектов КА на высоких рабочих орбитах, при проектно-баллистическом анализе лунных миссий, при анализе полетов в окрестность точек либрации и межорбитальном переводе КА в окрестности точек либрации. Использование результатов диссертационной работы и их развитие возможно и целесообразно в организациях: НПО им. С.А.Лавочкина, РКК «Энергия», ЦНИИмаш, ГКНПЦ им. М.В.Хруничева, АО «ИСС» им. М.Ф.Решетнева .

4. Достоверность и обоснованность результатов

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений автора диссертации базируется на корректности рассматриваемой автором математической модели возмущенного движение КА, на строгой формализации проблемы проектирования (оптимизации) траектории многовиткового межорбитального перелета. Автор рассматривает целую цепочку моделей при оптимизации межорбитального перелета. Эти модели отличаются уровнем точности (в зависимости от характера учитываемых возмущений и формы их конечного представления при формализации задач), различными критериями оптимизации. Качественный и количественный сравнительный анализ рассматриваемой цепочки моделей показывает корректность проводимого исследования.

О достоверности полученных результатов свидетельствует и используемые на нашем предприятии характеристики транспортной космической системы с довыведением платформы «Экспресс 1000» на ГСО при использовании ЭРДУ на базе СПД 100, хорошо совпадающие с оценками, полученными в диссертационной работе.

Теоретические и практические результаты исследований по теме диссертации изложены в 6 работах. Следует отметить, что в пяти из них соискатель является единственным автором.

5. Замечания

К диссертационной работе могут быть сделаны следующие замечания:

- В приведенных в диссертационной работе примерах использования предлагаемой методики оптимизации траектории многовиткового перелета не учитывались аэродинамические возмущения и воздействие светового давления на КА, которые также могут оказать влияние на оптимальную траекторию перелета. Хотя понятно, что разработанная методика может учитывать такого рода возмущения.
- В результатах работы отсутствует: определение минимально-допустимых значений электрической мощности и тяги электроракетной двигательной установки при межорбитальных перелетах.
- Нет оценки эффективности предложенного автором метода оптимизации траектории многовиткового перелета КА с ЭРДУ в показателях: относительного снижения суммарного импульса, длительности полета, погрешности и длительности расчетов.

Указанные замечания не снижают общего представления о диссертации как о завершенной научно-исследовательской работе на актуальную тему и не изменяют положительную оценку диссертационной работы.

6. Заключение

Полученные соискателем новые научные результаты имеют существенное значение для науки и практики организации навигационно-баллистического обеспечения управления полетом геостационарного спутника. Основные выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Диссертация Николичева И.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой анализируется проблема проектирования траекторий многовиткового межорбитального перелета КА с ЭРДУ. Работа соответствует требованиям Положения ВАК (в текущей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 («Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждены на заседании секции НТС №1 17 ноября 2017г.

Ведущий инженер – конструктор
доктор технических наук, профессор



В.Е.Чеботарев

Начальник сектора разработки баллистического
и навигационного обеспечения КА



Ю.Л.Бульнин

Ученый секретарь НТС секции №1



А.Н.Кульков

07.12.2017 *JK*