



МОКБ МАРС
РОСАТОМ

Московское опытно-конструкторское
бюро «Марс» – филиал федерального
государственного унитарного
предприятия «Всероссийский научно-
исследовательский институт автоматики
им. Н.Л. Духова»
(МОКБ «Марс» – филиал ФГУП
«ВНИИА»)

1-й Щемиловский пер., д. 16,
Москва, 127473
Телефон (495) 688-64-44, факс (499) 973-18-96
E-mail: office@mokb-mars.ru
ОКПО 07623885, ОГРН 1027739646164
ИНН 7707074137, КПП 770743001

23.10.2023 № 8-9705-06/32698

На № 010/25-14.09.23 от 28.09.2023

Отзыв на автореферат диссертации

ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
Учёному секретарю диссертационного
совета 24.2.327.03, д.т.н., доценту
Старкову А. В.
отдел Учёного и диссертационного
советов, Волоколамское шоссе, д. 4
г. Москва, 125993

Уважаемый Александр Владимирович!

Высылаю Вам отзыв на автореферат диссертации Юн Сон Ук на соискание
учёной степени кандидата технических наук на тему «Оптимизация траекторий
космического аппарата с электроракетной двигательной установкой при наличии
возмущающих ускорений».

Приложение: Отзыв на автореферат..., на 3 листах, 2 экз.

Научный руководитель МОКБ «Марс»

 В. Н. Соколов

Радугин Игорь Сергеевич
(499) 978-18-41

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«30» 10 2023.

**Московское опытно-конструкторское бюро «Марс» –
филиал федерального государственного унитарного предприятия
«Всероссийский научно-исследовательский институт
автоматики им. Н.Л. Духова»
(МОКБ «Марс» – филиал ФГУП «ВНИИА»)**

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Юн Сон Ук на тему «Оптимизация траекторий космического аппарата с электроракетной двигательной установкой при наличии возмущающих ускорений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.16. – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)».

Представленная диссертационная работа Юн Сон Ук посвящена актуальной проблеме разработки эффективной методики оптимизации возмущенных траекторий космического аппарата (КА) с электроракетной двигательной установкой (ЭРДУ). Применение ЭРДУ с высоким удельным импульсом тяги позволяет существенно повысить эффективность космических транспортных операций благодаря снижению требуемых затрат топлива. В большинстве исследований при анализе траекторий КА используется модель движения КА в центральном ньютоновском гравитационном поле. Однако во многих задачах возмущающие ускорения, действующие на КА, имеют величину, сравнимую с величиной ускорения от тяги ЭРДУ или даже превосходящую ее. В этих условиях возмущающие ускорения, наряду с притяжением центрального небесного тела и реактивной тягой, играют определяющую роль в формировании траектории КА и должны учитываться уже на ранних стадиях проектирования траекторий КА с ЭРДУ.

Например, при выведении КА с ЭРДУ на геостационарную орбиту с геопереходной орбиты, имеющей низкую высоту перигея, возмущения от нецентральности гравитационного поля Земли сильно влияют на траекторию из-за разворота линий апсид и узлов. Учет возмущающих ускорений необходим при проектировании траекторий перелета к Луне и межпланетных траекторий, так как в противном случае не могут быть использованы особенности движения в рамках задач трех и более тел (например, движение по инвариантным многообразиям, WSB-траектории и т.д.), позволяющие существенно снизить требуемые затраты характеристической скорости.

Известные методы оптимизации возмущенных траекторий КА с малой тягой имеют существенные ограничения в области применения, требуют проведения сложных процедур для подготовки математической модели и выбора начального приближения для обеспечения сходимости и, как правило, требуют чрезвычайно больших вычислительных затрат. Необходимость расчета и оптимизации возмущенных траекторий КА с ЭРДУ вместе с недостаточной эффективностью существующих методов обуславливают актуальность диссертационной работы Юн Сон Ук.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«30» 10 2023.

Юн Сон Ук предлагает методику оптимизации возмущенных траекторий КА с ЭРДУ на основе использования принципа максимума, метода продолжения и использования угловой переменной (вспомогательной долготы) в качестве независимой переменной вместо времени для многовитковых перелетов. Рассматривается задача минимизации топлива для межорбитальных перелетов с фиксированной угловой дальностью и свободным временем перелета. Для автоматизации выбора начального приближения используется задача оптимизации траектории КА с идеально-регулируемым двигателем, решение которой вычисляется с использованием пассивной траектории движения КА в качестве начального приближения. После вычисления траектории КА с идеально-регулируемым двигателем, эта траектория продолжается в оптимальную траекторию КА с ЭРДУ с заданными величинами тяги и удельного импульса, а для диагностики существования решения этой задачи используется задача вычисления траектории КА с минимальной тягой, также получаемая продолжением из оптимальной траектории КА с идеально-регулируемым двигателем. Для высокоточного вычисления требуемых первых и вторых производных от рассматриваемых возмущающих ускорений применяется разработанный автором алгоритм автоматического дифференцирования с использованием комплексных дуальных чисел. Рассмотрены также задачи оптимизации возмущенных траекторий перелета к Луне и гелиоцентрических траекторий межпланетных КА.

Представленные в диссертационной работе Юн Сон Ук методики и результаты обладают научной новизной, которая, судя по автореферату, состоит в следующем:

- рассмотрен ряд новых постановок задачи с фиксированной угловой дальностью и свободным временем перелета для оптимизации возмущенных траекторий КА с двигателем ограниченной мощности, ограниченной тяги и минимальной тяги;
- разработана методика оптимизации возмущенных траекторий КА с ЭРДУ с использованием алгебры комплексных дуальных чисел, которая позволяет вычислять требуемые производные с высокой точностью при использовании сложных моделей возмущающих ускорений;
- предложен подход к оптимизации лунных и межпланетных траекторий КА с ЭРДУ с использованием точек либрации в качестве точек стыковки участков с разными притягивающими центрами с учетом притяжения Солнца, Земли и планет на всех участках перелета;
- предложен подход к решению задачи сквозной оптимизации траекторий перелета к Луне с малой тягой на основе использования канонического преобразования в точке стыковки геоцентрического и селеноцентрического участков.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования разработанных методов и полученных результатов в проектно-баллистическом анализе перспективных КА.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием строгих математических методов и известных фундаментальных подходов при решении задачи оптимизации траекторий КА, сравнением решений, полученных с помощью методов, разработанных в диссертационной работе, с известными результатами других авторов.

На основе автореферата можно сделать вывод о том, что диссертационная работа выполнена на хорошем научно-техническом уровне и является законченным научным трудом. Вместе с тем, следует отметить следующие недостатки:

1. Из текста автореферата не вполне понятна причина использования новой постановки задачи оптимизации траекторий с фиксированной угловой дальностью и свободным временем перелета.
2. Отсутствует расшифровка обозначений p_r и p_v к формуле (17).

Указанные недостатки носят частный характер, не снижают общей научной ценности проведенного автором научного исследования и не влияют на положительную оценку, которую заслуживает диссертация Юн Сон Ук.

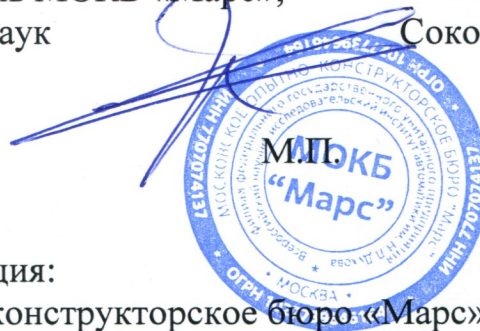
Судя по автореферату, представленная диссертационная работа по новизне, научной и практической значимости полученных результатов соответствует предъявляемым к диссертациям требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842.

Автор диссертационной работы Юн Сон Ук заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. - «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)».

Заместитель научного руководителя
МОКБ «Марс» – филиала ФГУП «ВНИИА»,
кандидат технических наук

Радугин Игорь Сергеевич

Подпись Радугина И.С. заверяю.
Научный руководитель МОКБ «Марс»,
доктор технических наук



Соколов Владимир Николаевич

Контактная информация:
Московское опытно-конструкторское бюро «Марс» –
филиал ФГУП «ВНИИА», Россия, 127473, г. Москва,
1-ый Щемилковский пер., д.16
Тел.: +7 (499) 978-91-55
Эл.почта: sokolov@mokb-mars.ru