



**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

08 НОЯ 2023

«___» _____ 20__ г.

№

517/24155

На № _____

от _____

Ученому секретарю
диссертационного совета
Д 24.2.237.03, д. т. н.
Старкову А.В.

Московский авиационный
институт
125993, г. Москва,
Волоколамское шоссе, д. 4
Отдел Ученого и
диссертационных советов

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального
директора – генеральный
конструктор
к.т.н.

А. Е. Ширшаков



11 2023

Отзыв

на автореферат диссертации
Юн Сон Ук

«Оптимизация траекторий космического аппарата с электроракетной
двигательной установкой при наличии возмущающих ускорений»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.16 – Динамика, баллистика, управление движением
летательных аппаратов

Работа Юн Сон Ук посвящена решению **актуальной научной
проблемы**, заключающейся в разработке эффективной методики решения

Сделано в отделе диссертационного
обеспечения МАИ

«10» 11 2023

задач оптимизации траекторий перелета с малой тягой при использовании высокоточных моделей возмущающих ускорений.

Автор справедливо отмечает, что в настоящее время теория оптимальных возмущенных траекторий с малой тягой еще недостаточно полно изучена, также необходимо оценить влияние возмущающих ускорений на оптимальные траектории и оптимальные программы управления вектором тяги электроракетных двигательных установок (ЭРДУ).

Целью работы является повышение эффективности космических транспортных систем при реализации перспективных космических миссий с использованием ЭРДУ.

Научная новизна диссертации состоит в том, что разработан метод оптимизации межпланетных и межорбитальных траекторий с малой тягой, а также траекторий перелета к Луне с малой тягой с учетом влияния возмущающих ускорений.

Также отметим наиболее важные новые **научные результаты**, полученные в работе:

1. разработан метод оптимизации возмущенных траекторий космического аппарата (КА) с малой тягой на основе использования комплексных дуальных чисел для точного вычисления требуемых производных при применении сложных моделей возмущающих ускорений;
2. рассмотрен подход к оптимизации многовитковых траекторий КА с ЭРДУ с использованием угловой переменной в качестве независимой переменной;
3. предложен метод автоматизации процесса вычисления оптимальной траектории с ограниченной тягой;
4. предложен метод сквозной оптимизации траекторий перелета с малой тягой между околоземной и окологрунтовой орбитами на базе использования канонического преобразования для перевода сопряженного вектора из одной системы координат в другую;
5. предложен метод оптимизации гелиоцентрического участка траектории межпланетного перелета между точками либрации с малой тягой с учетом притяжения Солнца, Земли и планеты назначения;
6. проведен анализ влияния возмущающих ускорений на параметры оптимальных возмущенных траекторий КА с ЭРДУ.

Считаем, что **практическими** результатами являются следующие:

1. разработана и теоретически обоснована методика решения задачи оптимизации межорбитальных перелетов с малой тягой с учетом влияния возмущающих ускорений, имеющая важное практическое значение для реализации высокоэкономичных схем выведения КА увеличенной массы на высокие целевые орбиты с помощью ЭРДУ;
2. разработана эффективная методика оптимизации траекторий с малой тягой к окологрунтовым орбитам и точкам либрации системы Земля-Луна для реализации эффективных космических транспортных операций между околоземной и окологрунтовой орбитами с помощью космических буксиров с

ЭРДУ с целью обеспечения перспективных лунных пилотируемых программ, которые требуют значительных грузопотоков в системе Земля-Луна;

3. разработана методика оптимизации возмущенной траектории межпланетного перелета между точками либрации с малой тягой в рамках полной эфемеридной модели движения небесных тел;

4. на основе разработанных численных методов разработан комплекс программно-математического обеспечения для оптимизации межпланетных и межорбитальных траекторий, а также траекторий перелета к Луне.

Работа Юн Сон Ук вносит существенный вклад в развитие такого научного направления как космическая баллистика в части проектирования межпланетных и лунных траекторий с малой тягой, а также в части разработки соответствующего алгоритмического и программного обеспечения.

Особенно хочется отметить хороший прием, который использовал автор, для уменьшения влияния нелинейной зависимости параметров траектории от времени вводится вспомогательная долгота в качестве независимой переменной, также постановка задачи рассматривается с фиксированной угловой дальностью и свободным временем перелета.

Наряду с достоинствами диссертации следует отметить следующие замечания и недостатки.

1. Текст автореферата хорошо вычитан, написан кратким и лаконичным языком, вместе с тем, в нем присутствует 3 опечатки (что очень приятно):

- стр. 4. Практическая значимость данной диссертационной работыI...;

- стр. 6. Работа содержит 71 рисунок...;

- стр. 7. Вводится вспомогательная долгота K , удовлетворяющАЯ.

2. Автор разрабатывает методику с использованием высокоточных моделей возмущающих ускорений, а для получения эфемерид Луны и Солнца использует табличные эфемериды DE405, в то время как сейчас уже существуют более точные DE421, DE430 и DE440. Это не повлияет на качественную картину полученных результатов, но изменит рассматриваемые траектории.

3. В тексте автореферата отсутствует обзор литературы по рассматриваемой в работе проблеме, который хорошо расписан в тексте диссертации. Видимо, автор не рассматривал его из-за ограниченности объема автореферата и большой насыщенности методиками выполненной работы.

В качестве рекомендаций по продолжению работы хотелось бы выделить следующее:

- В работе рассмотрены траектории перелета с околоземных орбит на высокие круговые орбиты ИСЛ высотой около 5 тысяч км и наклоном 35° . Хотелось бы в будущем увидеть продолжение разработанной методики для перехода на более низкие круговые орбиты высотой от 100 км до 1000

км с полярным или околополярным наклоном к плоскости экватора Луны.

- Хотелось бы в будущих исследованиях автора увидеть уточненную методику в части ограничений от теневых интервалов, в которых нельзя включать ЭРДУ.

Указанные недостатки не влияют на качество выполненной диссертантом работы и не снижают общее положительное впечатление и оценку проведенного научного исследования и разработанного нового научного подхода.

Массивная апробация работы (4 работы в изданиях из перечней МРБД и ВАК, а также 3 работы в иностранных изданиях из перечней Web of Science и Scopus) позволяет судить о фундаментальном подходе диссертанта и его руководителя к рассматриваемой проблеме.

Текст автореферата написан емко и лаконично, легко читается.

Основываясь на тексте автореферата, можно заключить, что диссертационная работа Юн Сон Ук написана добросовестно, является законченным и реализованным на практике научным исследованием, выполненным автором самостоятельно. 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, Юн Сон Ук, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Авторы дают согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата наук Юн Сон Ук и их дальнейшую обработку.

Математик 1-ой категории
отдела баллистики и навигации,
кандидат технических наук
Заместитель начальника
отдела баллистики и навигации,
кандидат технических наук



Гордиенко Евгений Сергеевич



Симонов Александр Владимирович

Начальник сектора
отдела динамики полета
космических аппаратов,
кандидат технических наук



Розин Петр Евгеньевич

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