

Акционерное общество  
«Российская корпорация ракетно-космического  
приборостроения и информационных систем»



Авиамоторная, д. 53, Москва, 111250, почтовый адрес: а/я 16, г. Москва, 111250  
тел.: +7 495 673-94-30, факс: +7 495 509-12-00, www.russianspacesystems.ru, contact@spacecorp.ru  
ОКПО11477389 ОГРН1097746649681 ИНН7722698789 КПП774550001

от 03.11.2023 № РКС НТС9-29

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
диссертационного совета  
24.2.327.03  
при МАИ (НИУ)  
А.В. Старкову

Направляю Вам отзыв Акционерного Общества «Российские космические системы» 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 специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Приложение: отзыв в 2 экз. на 4 листах каждый.

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

 Сергей Анатольевич Федотов

Исп. Бетанов В.В.  
Тел. +7 (903) 599-80-71, +7 (495) 673-94-30 доб. 38-02

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

20.11.2023

Авиамоторная, д. 53, Москва, 111250, почтовый адрес: а/я 16, г. Москва, 111250  
тел.: +7 495 673-94-30, факс: +7 495 509-12-00, www.russianspacesystems.ru, contact@spacecorp.ru  
ОКПО11477389 ОГРН1097746649681 ИНН7722698789 КПП774550001

от 03.11.2023 № РКС НТС9-29

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## 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  
специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением  
летательных аппаратов».

В настоящее время внимание значительного числа специалистов посвящено исследованию вопросов разработки траекторий управляемого возмущенного движения центра масс космического аппарата (КА) с оценкой влияния возмущающих ускорений на оптимальные траектории и оптимальные программы управления вектором тяги электроракетных двигательных установок (ЭРДУ), а также с разработкой эффективных методик решения задач оптимизации траекторий перелета с малой тягой при использовании высокоточных моделей возмущающих ускорений. В этой связи **актуальность диссертационной работы**, целью которой является повышение эффективности космических транспортных систем при реализации перспективных космических миссий с использованием ЭРДУ, не вызывает сомнений. Тема работы представляется современной, актуальной и интересной для изучения.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

20 11 2023

**Научная новизна** диссертации, судя по автореферату, заключается в следующем.

- разработан новый метод оптимизации возмущенных траекторий с малой тягой на основе использования комплексных дуальных чисел для автоматического вычисления производных при использовании высокоточных моделей возмущающих ускорений;

- исследован новый подход к оптимизации многовитковых траекторий КА с ЭРДУ с использованием угловой переменной (вспомогательной долготы) в качестве новой независимой переменной вместо времени;

- предложен процесс автоматизации вычисления оптимальной траектории с двигателем с заданной тягой и удельным импульсом, не требующий задания начальных приближений для неизвестных параметров краевой задачи;

- предложен подход к решению задачи сквозной оптимизации траекторий перелета КА с малой тягой между околоземной и окололунной орбитами на базе использования канонического преобразования;

- предложен новый подход к оптимизации межпланетных траекторий с малой тягой с использованием коллинеарных точек для стыковки планетоцентрических и гелиоцентрических участков траектории;

- проведен качественный и количественный анализ полученных с помощью разработанной методики решений возмущенных задач оптимизации межорбитального и межпланетного перелетов, а также перелетов к Луне с малой тягой.

**Практическая значимость** работы заключается в следующем.

Разработан комплекс программно-математического обеспечения для оптимизации межпланетных и межорбитальных траекторий, а также траекторий перелета к Луне. При этом используется разработанная и теоретически обоснованная 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. Предложена также эффективная методика оптимизации траекторий с малой тягой к окололунным орбитам и точкам либрации системы Земля-Луна для реализации эффективных космических транспортных операций.

**Обоснованность** правильности решения и **достоверность** результатов обеспечивается использованием строгих математических методов и известных фундаментальных подходов (принципа максимума, метода продолжения) при решении задачи оптимизации траектории КА, сравнением решений, полученных с помощью разработанных методов с известными результатами других авторов, включающих параметры оптимальных траекторий КА с электроракетными двигательными установками с учетом возмущающих ускорений от притяжения удаленных небесных тел и гармоник геопотенциала, результатами тестирования полученных результатов.

Вместе с тем, судя по автореферату, к материалу работы могут быть высказаны некоторые **рекомендации**. Так, например, применение в исследованиях для численного интегрирования метода Грегга-Булриша-Штоера с адаптивным шагом и порядком выиграло бы при соответствующем дополнительном обосновании и сравнении.

Автореферат и научные публикации автора позволяют сделать вывод о том, что **диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на высоком научном уровне**. Приведены результаты, позволяющие их квалифицировать как решение новой научной задачи. Работа соответствует классификационным признакам диссертации, определяющим характер результатов кандидатской диссертационной работы. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК России, а ее автор **Юн Сон Ук** – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по

специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Главный научный сотрудник-заместитель начальника экспертно-аналитического центра АО «Российские космические системы», д.т.н, профессор, заслуженный деятель науки РФ, чл.-корр. РАН  
Владимир Вадимович Бетанов

Подпись главного научного сотрудника-заместителя начальника экспертно-аналитического центра В.В. Бетанова заверяю.

Учёный секретарь

АО "Российские космические системы",

к.т.н., старший научный сотрудник

Сергей Анатольевич Федотов

« 03 » ноября 2023 г.

