



Государственный научный центр Российской Федерации  
Федеральное автономное учреждение

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени профессора Н.Е.Жуковского  
ФАУ «ЦАГИ»**

Жуковского ул., д. 1, г. Жуковский, Московская область, 140180  
тел.: +7 495 556-4303, факс: +7 495 777-6332, www.tsagi.ru  
ОГРН 1225000018803, ИНН 5040177331, КПП 504001001, ОКПО 50205960

16.01.2024 № 157 41-10-244

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
диссертационного совета 24.2.327.03  
А.В. Старкову

125993, г. Москва, Волоколамское  
шоссе, д.4, МАИ, отдел Ученого и  
диссертационных советов

Уважаемый Александр Владимирович!

Высылаю Вам отзыв на автореферат диссертации Паинг Сое Ту У  
«Оптимизация межорбитальных перелетов с конечной тягой», представленной  
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
2.5.16. – «Динамика, баллистика, управление движением летательных  
аппаратов».

Приложение: Отзыв в 2-х экз., на 3-х листах.

*С уважением,*

Заместитель генерального директора  
по вооружению, военной и специальной технике –  
начальник комплекса безопасности полетов

В.Ю. Гранич

009420

Исп. Е.М. Козырева  
Тел. (495)556-39-17

отдел документационного  
обеспечения МАИ

17 01 2024г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Паинг Сое Ту У  
«Оптимизация межорбитальных перелетов с конечной тягой»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 2.5.16. – «Динамика, баллистика, управление движением  
летательных аппаратов»

Диссертационная работа Паинг Сое Ту У посвящена развитию теории и методов численной оптимизации траекторий межорбитальных перелетов космических аппаратов (КА) с двигателями конечной тяги, в частности, с электроракетными двигательными установками (ЭРДУ). Поставленная в работе цель достигается на основе разработки и исследования математических моделей оптимального движения КА с двигателями конечной тяги, применяемых как для оптимизации межорбитальных перелетов, так и при проектно-баллистическом анализе космических транспортных операций.

**Актуальность** рассматриваемой работы во многом определяется преимуществами применения ЭРДУ с точки зрения повышения массовой эффективности космических транспортных операций за счет сокращения затрат рабочего топлива благодаря высокой скорости истечения. В то же время использование ЭРДУ существенно увеличивает длительность полета по сравнению с использованием двигателей большой тяги. Отсюда следует необходимость оптимизации управления и траекторий КА с ЭРДУ. Учитывая требования, предъявляемые к методам решения оптимизационных задач, связанные с обеспечением вычислительной устойчивости и выбором начального приближения, предлагаемые в работе направления развития теории межорбитальных перелетов с двигателями конечной тяги и разработки устойчивых быстродействующих методов оптимизации таких траекторий являются актуальными.

Судя по автореферату, **научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

- Разработаны новая математическая постановка и методы оптимизации траекторий перелета КА с ограниченным реактивным ускорением и конечной тягой на основе применения принципа максимума и методов продолжения – базового по параметру и по гравитационному параметру, а также численный метод решения задач оптимизации многовитковых траекторий с использованием вспомогательной долготы в качестве независимой переменной.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

17 01 2024

- Выявлена немонотонная зависимость оптимального времени перелета от величины тяги на траекториях с фиксированной угловой дальностью при минимизации затрат топлива.
- Разработаны методики для быстрого анализа комбинированных схем выведения КА с ЭРДУ на геостационарную орбиту (ГСО) в вариантах с использованием и без использования разгонного блока.
- Сформированы зависимости оптимальных параметров промежуточных орбит и массы КА на ГСО от длительности выведения с использованием разгонного блока и ЭРДУ (комбинированная схема).

**Практическая значимость** диссертации состоит в разработке:

- методов оптимизации траекторий КА с конечной тягой без необходимости выбора начального приближения для варьируемых параметров, определяющих оптимальное управление;
- метода оптимизации траекторий КА с двигателями ограниченного ускорения, позволяющего получить оценку сверху затрат характеристической скорости на выполнение заданной космической транспортной операции;
- применением разработанных методов и программно-математического обеспечения при проведении проектно-баллистического анализа космических миссий различного типа, в том числе перспективных.

**Достоверность представленных результатов** обеспечивается обоснованным применением известных математических моделей и методов, а также сравнением полученных в работе результатов с результатами других авторов.

Вместе с тем, после прочтения автореферата можно высказать несколько замечаний:

- В автореферате нет информации о вычислительной трудоемкости разработанных методов оптимизации по сравнению с существующими методами.
- Недостаточно ясно описано обоснование возможности использования импульсной схемы выведения КА на промежуточную орбиту с использованием тяги разгонного блока при оптимизации выведения КА с ЭРДУ на ГСО (комбинированная схема).
- В тексте встречаются грамматические ошибки.

В целом указанные замечания не влияют на значимость полученных автором научных и практических результатов и общую положительную оценку диссертационной работы.

**Вывод:** судя по автореферату, диссертационная работа Паинг Сое Ту У «Оптимизация межорбитальных перелетов с конечной тягой» является самостоятельным и законченным исследованием, содержит решение актуальной научной задачи, имеющей большое значение для развития теории и практики механики космического полёта. Работа соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней (п.9-14), а её автор, Паинг Сое Ту У, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Заместитель генерального директора по ВВ и СТ  
ФАУ «ЦАГИ», кандидат технических наук



В.Ю. Гранич

Сведения о лице, представившем отзыв:

Ф.И.О.: Гранич Владислав Юрьевич,

e-mail: [vladislav.granich@tsagi.ru](mailto:vladislav.granich@tsagi.ru),

тел.: +7 (495) 556-40-83.

Начальник сектора НИО-15 ФАУ «ЦАГИ»

кандидат технических наук

О.В. Янова

Сведения о лице, представившем отзыв:

Ф.И.О.: Янова Ольга Васильевна, e-mail: [olga.yanova@tsagi.ru](mailto:olga.yanova@tsagi.ru),

тел. +7 (495) 556-31-09.

Полное название организации: Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФАУ «ЦАГИ»).

Почтовый адрес: 140180, РФ, г. Жуковский, Московская обл., ул. Жуковского, д. 1.

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <http://www.tsagi.ru/>

Адрес электронной почты: [info@tsagi.ru](mailto:info@tsagi.ru)