



## ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ

Ул. Орджоникидзе, д. 3, Москва, Россия, 115419  
ОГРН 1027739189323; ОКПО 02066463; ИНН 7728073720

Телефон: +7 495 952-08-29  
www.engr.rudn.ru; engineering@rudn.ru

22 ЯНВАРЯ 2024г  
№ 2022-01-28/05

Ученому секретарю диссертационного  
совета 24.2.327.03  
А.В. Старкову

125993, Волоколамское шоссе, д. 4,  
Отдел Ученого и  
диссертационных советов  
федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения  
высшего образования «Московский  
авиационный институт (национальный  
исследовательский университет)».

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю отзыв на автореферат диссертации Паинг Сое Ту У на тему «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 на автореферат на 3 лист., 2 экз.

Директор

Ю.Н. Разумный

Исп. С.А. Купреев  
+79055541177

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«26» 01 2024г.

## УТВЕРЖДАЮ

Директор инженерной академии РУДН,  
директор департамента механики и  
процессов управления,  
доктор технических наук, профессор,



Ю.Н. Разумный

## ОТЗЫВ

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

Постепенно увеличивается количество космических миссий в околоземном пространстве, в рамках которых предполагается использование космических аппаратов (КА) с электроракетной двигательной установкой (ЭРДУ) малой тягой. Это позволяет сократить затраты рабочего топлива на выполнение типовых транспортных космических операций благодаря высокой скорости истечения ЭРДУ. В задачах выведения КА на высокие целевые орбиты применение ЭРДУ позволяет выводить КА увеличенной массы либо использовать средства выведения более легкого класса. Однако, малая величина тяги существенно увеличивает длительность перелета по сравнению с использованием химических двигателей большой тяги. Большая длительность перелёта и необходимость управлять ЭРДУ на продолжительном отрезке времени существенно усложняют решение задачи проектирования задачи траектории перелёта.

Судя по автореферату, работа Паинг Сое Ту У посвящена разработке подходов к решению задач оптимизации перелетов КА между околоземными орбитами с ограниченной (малой) тягой, при необходимости оптимизировать некоторые параметры начальной или конечной орбиты. Разработаны методики для быстрого анализа комбинированных схем выведения КА с ЭРДУ на геостационарную орбиту (ГСО) с использованием разгонного блока.

Основными особенностями представленных подходов к рассмотренным задачам являются:

- оптимизация траекторий перелета КА с ограниченным реактивным ускорением в сочетании с условиями трансверсальности для свободных элементов конечной орбиты,

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«26» 01 2024г.

- решение задачи оптимизации многовитковых траекторий с фиксированной угловой дальностью и свободным временем перелета с использованием вспомогательной долготы в качестве независимой переменной,
- анализ зависимости оптимального времени перелета от величины тяги на траекториях с фиксированной угловой дальностью в задаче перелета с минимальными затратами топлива,
- анализ комбинированных схем выведения КА с ЭРДУ на геостационарную орбиту (ГСО) с использованием разгонного блока.

Представленные в диссертационной работе Паинг Сое Ту У методики и результаты обладают научной новизной.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования представленных методов и результатов при проведении проектно-баллистического анализа перспективных КА.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием строгих математических методов и моделей, известных фундаментальных подходов к решению задачи оптимизации траекторий КА, сравнением полученных в диссертационной работе решений с опубликованными результатами других авторов.

Вместе с тем, следует отметить следующие недостатки:

1. Из содержания автореферата не ясны причины использования продолжения по гравитационному параметру, так как рассмотрение задачи межорбитального перелёта с использованием дифференциальных уравнений в модифицированных равноденственных элементах и «вспомогательной» долготой в качестве независимой переменной позволяет заранее определить количество витков на траектории перелёта.
2. По-видимому, при формулировке краевой задачи принципа максимума на стр. 7 и 8 допущена неточность. Указано, что «если конечные значения истинной аномалии, восходящего узла и аргумента перигея не фиксируются, то краевые условия (13) должны быть дополнены условиями трансверсальности» (14), (15) и (16). Однако, в условиях (13) уже имеются ограничения на указанные орбитальные элементы, и поскольку новых параметров в краевую задачу не вводится необходимо не «дополнить», а заменить соответствующие условия из (13) на условия трансверсальности (14), (15) и (16).
3. Из содержания автореферата не понятны причины выбранной структуры диссертации и последовательности глав, так в заключительной (пятой) главе проводится качественный анализ задачи комбинированного выведения на ГСО в упрощённой постановке (с осреднёнными уравнениями движения), в результате которого выявлены оптимальные параметры промежуточной орбиты. Однако, при рассмотрении задач межорбитальных перелётов результаты этого качественного анализа никак не используются, хотя это кажется логичным.

Указанные замечания не снижают общей научной ценности представленного научного исследования и не влияют на положительную оценку, которую заслуживает диссертация Паинг Сое Ту У.

На основе автореферата можно сделать вывод, что представленная диссертация выполнена на достойном научно-техническом уровне и является законченным научным трудом, соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Автор диссертационной работы Паинг Сое Ту У заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 - «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Доктор технических наук (2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов), профессор департамента механики и процессов управления инженерной академии

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН)

Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. Телефон: +7 (495) 955-09-62.

E-mail: kupreev-sa@rudn.ru

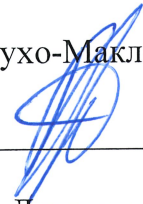
Купреев Сергей Алексеевич 

Кандидат технических наук (2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов), доцент департамента механики и процессов управления инженерной академии

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН)

Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. Телефон: +7 (910) 435-31-54.

E-mail: razumnyu-vyu@rudn.ru

Разумный Владимир Юрьевич 

Кандидат технических наук (2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов), доцент департамента механики и процессов управления инженерной академии

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН)

Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6. Телефон: +7 (926) 980-68-38.

E-mail: karatunov@rudn.ru

Каратунов Максим Олегович 

Подписи С.А. Купреева, В.Ю. Разумного, М.О. Каратунова удостоверяю.  
Ученый секретарь ученого совета инженерной академии РУДН, кандидат технических наук, с.н.с.



  
О.Е. Самусенко