



ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ КОРПОРАЦИЯ  
«ЭНЕРГИЯ» ИМЕНИ С.П. КОРОЛЁВА»  
(ПАО «РКК «ЭНЕРГИЯ»)

Ленина ул., д. 4А, г. Королёв, МО, 141070  
Тел. +7 (495) 513-86-55, факс +7 (495) 513-86-20  
e-mail: post@rsce.ru; http://www.energia.ru  
ОКПО 07530238; ОГРН 1025002032538  
ИНН/КПП 5018033937/997450001

13.02.2020 № 012-4/49

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
диссертационного совета  
Д 212.125.12, к.т.н., доценту  
Старкову А.В.

Московский авиационный  
институт  
125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское ш., 4

#### ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Старченко Александра Евгеньевича на тему *«Траектории многовитковых перелётов космических аппаратов с минимальной радиационной нагрузкой»*, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 — «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Представленная диссертация посвящена **актуальной** проблеме, связанной с оптимизацией межорбитальных перелётов космической аппаратов (КА) с электроракетной двигательной установкой (ЭРДУ) с целью снижения радиационной нагрузки на бортовые системы во время перелёта.

**Целью** работы является исследование пределов возможностей снижения радиационной нагрузки на бортовые системы путём изменения формы траектории многовиткового перелёта КА с ЭРДУ на геостационарную орбиту (ГСО). Рассматривается два случая: перелёт КА с ядерным источником энергии, в котором минимизируется накопленная некоторым прибором внутри

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

Вх. №  
«14» 02 2020

корпуса доза ионизирующего излучения, а также перелёт КА с солнечными батареями, в котором минимизируется степень радиационной деградации этих батарей.

**Научная и практическая значимость** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработана и протестирована на нескольких задачах общая методика решения задач оптимизации траекторий многовитковых перелётов КА с ЭРДУ для снижения уровня поглощенной бортовыми системами космической радиации на основе принципа Л.С. Понтрягина;
2. Разработана методика сглаживания радиационных функционалов для их применения в методике оптимизации траектории многовитковых перелётов с помощью метода продолжения решения по параметру;
3. Разработана и отлажена программная реализация указанных выше методик, применяемая при проведении проектно-баллистического анализа перелётов КА с ЭРДУ на ГСО;
4. Получены траектории с радиационной нагрузкой меньшей, чем на траекториях оптимального быстрогодействия, показана работоспособность предлагаемого подхода.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в нетрадиционном подходе к снижению радиационной нагрузки на бортовую аппаратуру путём вариации формы многовитковой траектории перелёта КА с ЭРДУ, а также в использовании непрямых методов в данном подходе, в частности принципа максимума Л. С. Понтрягина. Также научной новизной обладает методика осреднения и адаптации радиационных функционалов к методам оптимизации многовитковых перелётов КА с ЭРДУ.

**Достоверность полученных результатов** обеспечивается корректностью постановки рассмотренной задачи, адекватностью используемых математических моделей и обоснованных методов (таких как принцип максимума Понтрягина и т.д.). Полученные решения хорошо соотносятся с результатами, опубликованными другими авторами и не вызывают сомнений.



## **Замечания**

1. В работе не приведено сравнение эффективности предложенной методики оптимизации траекторий перелётов для снижения радиационной нагрузки на основе принципа максимума Л. С. Понтрягина с прямыми методами на основе математического программирования.
2. В задаче оптимизации перелётов многоразового буксира с ядерной энергоустановкой возникает вопрос о целесообразности оптимизации поглощенной дозы космической радиации, поскольку бортовой источник энергии может иметь сопоставимое или даже преобладающее радиационное влияние на бортовые системы, чем внешние источники радиации. Данный вопрос не освещен в работе.
3. В качестве примеров использования предлагаемой методики предложены только многовитковые перелёты на геостационарную орбиту. Нет примеров перелётов на другие орбиты.

Сделанные замечания не снижают ценности полученных автором результатов. Представленная диссертационная работа представляет из себя законченную научно-квалификационную работу, которая выполнена на высоком научном уровне, а указанные замечания могут быть учтены в последующей работе. Развиваемые в работе подходы имеют существенное практическое и методическое значение.

## **Заключение**

Из автореферата можно сделать вывод о том, что диссертация Старченко А. Е. «Траектории многовитковых перелётов космических аппаратов с минимальной радиационной нагрузкой» является самостоятельным и законченным исследованием и соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (п. 9 – 14) ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой

степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Руководитель Центра ПАО «РКК Энергия»,  
доктор технических наук



Ю.П. Улыбышев

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва. Московская область, г. Королев, 141070, ул. Ленина, д. 4а. Тел. 8-495-513-6406, E-mail: Yuri.Ulybyshev@rsce.ru

Начальник отдела ПАО «РКК Энергия»,  
кандидат технических наук



Р.Ф. Муртазин

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва. Московская область, г. Королев, 141070, ул. Ленина, д. 4а. Тел. 8-495-513-6405, E-mail:Rafail.Murtazin@rsce.ru

Подписи Улыбышева Ю.П. и Муртазина Р.Ф. заверяю:

Ученый секретарь ПАО «РКК Энергия»  
кандидат физико-математических наук



О.Н. Хатунцева