

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.12

Соискатель: Старченко Александр Евгеньевич

Тема диссертации: Траектории многовитковых перелетов космических аппаратов с минимальной радиационной нагрузкой

Специальность: 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 27 февраля 2020 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, установленным Положением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Старченко Александру Евгеньевичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: заместитель председателя диссертационного совета М.Н. Красильщиков, ученый секретарь диссертационного совета А.В. Старков, члены диссертационного совета: В.Т. Бобронников, В.С. Брусов, Л.В. Вишнякова, В.А. Воронцов, В.Н. Евдокименков, А.В. Ефремов, К.А. Занин, Ю.С. Кан, А.И. Кибзун, М.С. Константинов, В.П. Махров, В.Г. Петухов, В.Н. Почукаев, В.В. Родченко, Г.Г. Себряков, М.М. Хрусталеv, А.В. Шаронов.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 212.125.12, к.т.н.

 А.В. Старков

Начальник отдела УДС МАИ
Т.А. Аникина 



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.12,

созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
(МАИ),

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 27.02.2020 г. № 2

О присуждении **Старченко Александру Евгеньевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Траектории многовитковых перелетов космических аппаратов с минимальной радиационной нагрузкой» по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» принята к защите «28» ноября 2019 (протокол заседания № 24) диссертационным советом Д 212.125.12, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель, Старченко Александр Евгеньевич, 1990 года рождения, в 2013 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», в 2017 году окончил очную аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)», работает исполняющим обязанности начальника лаборатории «Механика космического полёта» в научно-исследовательском институте прикладной механики и электродинамики МАИ (НИИ ПМЭ МАИ), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в отделе №32 «Баллистика космических аппаратов» НИИ ПМЭ МАИ, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Петухов Вячеслав Георгиевич, НИИ ПМЭ МАИ, отдел №32 «Баллистика космических аппаратов», начальник отдела.

Официальные оппоненты:

1. Ивашкин Вячеслав Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», отдел №5, главный научный сотрудник,

2. Сеницын Алексей Андреевич, кандидат технических наук, государственный научный центр Российской Федерации – федеральное государственное унитарное предприятие «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», отдел комплексного анализа ракетно-космических систем, ведущий научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (АО «ИСС») г. Железногорск, Красноярский край, в своем положительном отзыве, подписанном Чеботаревым Виктором Евдокимовичем, доктором технических наук, профессором, отдел проектирования космических комплексов (систем) координатно-метрического назначения, ведущий инженер-конструктор, Булыниным Юрием Леонидовичем, сектор разработки баллистического и навигационного обеспечения космических аппаратов (КА), ведущий инженер, указала, что диссертационная работа А.Е. Старченко является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи снижения радиационной нагрузки на участке выведения КА на геостационарную орбиту (ГСО) с использованием электроракетной двигательной установки (ЭРДУ) и по своему содержанию, научной новизне и практической ценности соответствует требованиям (п.9-14) «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Старченко Александр Евгеньевич, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Соискатель имеет 36 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 35 работ, из них 5 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК Министерства науки и высшего образования РФ и перечень МРБД ВАК, 2 работы опубликованы в изданиях, индексируемых в международных реферативных базах данных SCOPUS и Web Of Science. Наиболее значимыми научными работами по теме диссертации являются:

Статьи в рецензируемых журналах перечня ВАК и перечня МРБД ВАК:

1. Старченко А. Е. Оптимизация поглощенной дозы радиации при перелётах на геостационарную орбиту с малой тягой // Труды МФТИ. 2015. Т. 7, № 4. С. 192–204. (13 с. авт., № 1708 в перечне ВАК по состоянию на 31.12.2015)

Представлены результаты оптимизации траекторий движения межорбитального электроракетного буксира и ядерной энергетической установкой с целью снижения поглощенной бортовыми системами дозы радиации, в случае околокругового движения по траектории выведения на ГСО.

2. Старченко А. Е. Оптимизация траектории выведения космического аппарата на геостационарную орбиту с целью снижения уровня радиационной деградации солнечных батарей // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2017. № 3. С. 128–145. (18 с. авт., №552 перечня МРБД ВАК по состоянию на 14.06.2017)

Представлены результаты оптимизации траекторий выведения КА на ГСО с помощью ЭРДУ с целью снижения уровня деградации солнечных батарей (СБ) с кремниевыми фотоэлектрическими преобразователями (ФЭП). Рассматривается постановка задачи на оптимальное быстроедействие при фиксированном значении накопленного ФЭП эквивалентного флюенса электронов 1 МэВ. Оценивается уровень деградации ФЭП на конец этапа выведения на ГСО и на конец срока активного существования (САС).

3. Старченко А. Е. Оптимизация траектории выведения космического аппарата на геостационарную орбиту с целью снижения поглощённой дозы космической радиации // Космические исследования. 2019. Т. 57, № 4. С. 308–320. (13 с. авт., №593 перечня МРБД ВАК по состоянию на 03.05.2019).

Статья переведена на английский язык и опубликована в журнале *Cosmic Research* (Starchenko A. E. Trajectory Optimization of a Low-Thrust Geostationary Orbit Insertion for Total Ionizing Dose Decrease // *Cosmic Research*. 2019. Vol. 57, No. 4. P. 289–300.), индексируемом в международных реферативных базах данных SCOPUS и Web Of Science.

Представлены методика и результаты оптимизации траекторий выведения межорбитального буксира с ядерной ЭРДУ на ГСО с целью снижения поглощенной бортовыми системами дозы радиации, в случае, когда нет ограничений на эксцентриситет оскулирующей орбиты. Описан эффект немонотонного изменения максимального на траектории эксцентриситета орбиты по мере уменьшения конечной дозы радиации.

4. Старченко А. Е. Минимизация деградации трехкаскадных солнечных батарей космического аппарата при выведении на геостационарную орбиту // Космические исследования. 2019. Т. 57, № 5. С. 386–400. (15 с. авт., №593 перечня МРБД ВАК по состоянию на 15.06.2019).

Статья переведена на английский язык и опубликована в журнале *Cosmic Research* (Starchenko A. E. *Minimizing the Degradation of Triple Junction Solar Array of a Spacecraft during Geostationary Orbit Insertion* // *Cosmic Research*. 2019. Vol. 57, No. 5. P. 364–377.), индексируемом в международных реферативных базах данных SCOPUS и Web Of Science.

Представлены методика и результаты оптимизации траекторий выведения КА на ГСО с помощью ЭРДУ с целью снижения уровня деградации СБ с трехкаскадными ФЭП. Предложена постановка и решение задачи на максимум относительной мощности СБ на конец САС.

5. Старченко А. Е. Сглаживание функции эквивалентного потока в задаче минимизации деградации солнечных батарей при выведении на геостационарную орбиту // Вестник «НПО им. С. А. Лавочкина». 2019. № 2 (44). С. 65–73. (9 с. авт., №419 перечня ВАК по состоянию на 11.07.2019).

Представлена методика получения гладких зависимостей эквивалентного потока электронов энергией 1 МэВ, накопленных трехкаскадными ФЭП СБ КА, от текущих радиуса и наклона орбиты на основе осреднения по круговым орбитам и аппроксимации сплайнами высокого порядка. Приведены численные примеры интегрирования траекторий выведения КА с ЭРДУ на ГСО. Показана эффективность предлагаемой методики расчета гладких радиационных функционалов.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, представленные в диссертации. Автореферат соответствует диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:

1. Акционерное общество «Информационные спутниковые системы им. М.Ф. Решетнёва», ведущая организация. Отзыв положительный.

К диссертационной работе могут быть сделаны следующие замечания:

1. В третьей главе в рамках задачи максимизации остаточной мощности СБ на конец срока активного существования не рассмотрен вариант использованием всей доступной на борту электрической мощности. Не рассмотрены условия оптимальности для этого случая и соответствующая краевая задача.

2. В работе не рассмотрена важная с практической точки зрения задача максимизации конечной массы КА при ограничениях на уровень радиационной нагрузки на бортовые системы КА с ЭРДУ.

3. Используемая при расчётах модель радиационного окружения ограничена и включает в себя только заряженные частицы радиационных поясов Земли. Не показано почему остальные источники радиации можно не учитывать и каково соотношение вкладов в дозу радиации и деградацию СБ заряженных частиц радиационных поясов и всех остальных источников радиации.

2. **Ивашкин Вячеслав Васильевич**, официальный оппонент, доктор физико-математических наук, профессор. **Отзыв положительный**, заверен ученым секретарем ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, к.ф.-м.н. А.И. Масловым.

По диссертации имеются следующие замечания.

1. Не достаточно обоснован вариант с постановкой задачи на быстроедействие, случай перелета без пассивных участков. При минимизации расхода топлива на оптимальной траектории могут быть участки пассивного полета.

2. Нет обоснования оптимальности получаемых решений задачи принципа максимума. Возможны, в принципе, случаи многоэкстремальности.

3. Не сделано сравнение с решением с помощью прямых методов оптимизации.

4. Разные рассмотренные случаи решенных задач зачастую соответствуют не одному варианту исходных данных, а разным, что затрудняет их сравнение.

3. **Синицын Алексей Андреевич**, официальный оппонент, кандидат технических наук. **Отзыв положительный**, заверен ученым секретарем ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», кандидатом военных наук Ю.Л. Смирновым.

Замечания по диссертационной работе.

1. В работе не рассматривается возможная постановка оптимизационной задачи, в которой вся располагаемая мощность СБ определяем тягу ЭРДУ. В этом случае тяга ЭРДУ будет уменьшаться за счет деградации СБ на траектории выведения.

2. Некоторые методические положения заслуживают большего внимания в тексте диссертации. В частности, использование явной зависимости массы от времени вместо дифференциального уравнения делает систему неавтономной. Несмотря на то, что размерность интегрируемой системы сокращается, становится невозможно использовать свойство постоянства гамильтониана для контроля над вычислениями. Другим методическим моментом, требующим расширенных комментариев в тексте, является приравнивание нулю сопряженной истинной долготы на всей траектории движения. Такой инженерный приём позволяет не касаться проблемы неединственности экстремалей (по быстроедействию) в зависимости от истинной долготы, однако обратной стороной является невозможность исследования отличий экстремалей по радиационным нагрузкам.

3. Хотя в целом диссертационная работа оформлена на хорошем уровне (а её электронная версия содержит интерактивные ссылки на формулы и литературу), в оформлении имеются отдельные недочёты. Например, в выражении (1.26) на стр. 22 присутствует операция деления на вектор. На стр. 60 приводится рис. 3.8, а ссылка на него в тексте на стр. 57 в другой главе. В тексте встречаются опечатки.

4. **Акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» им. А.Г. Иосифьяна» (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»)**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан заместителем генерального директора по научной работе, д.т.н., профессором В.Я. Гечей.

Отмеченные недостатки:

1. рассмотренные автором задачи траекторной оптимизации в постановке на быстрое действие с ограничением на радиационную нагрузку и на минимум радиационной нагрузки не являются исчерпывающими с точки зрения проектирования траекторий межорбитального перелета, так как в работе не были рассмотрены постановки с целевым функционалом, отвечающим, например, минимизации количества рабочего тела, потребного на осуществление перелета.

5. **Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан руководителем, д.т.н. Ю.П. Улыбышевым, начальником отдела, к.т.н. Р.Ф. Муртазиным, подписи которых заверены учёным секретарём ПАО «РКК Энергия», к.ф.-м.н. О.Н. Хатунцевой.

Замечания:

1. В работе не приведено сравнения 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.
4. Среди возмущений, учитываемых в модели движения космического аппарата, учтена только вторая зональная гармоника разложения гравитационного потенциала Земли. Влияние солнечного давления, Луны и Солнца не учитываются. Поскольку максимальная высота на рассматриваемых траекториях перелёта значительно больше высоты ГСО, то влияние указанных возмущений может быть существенным.

6. **Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан

ведущим математиком отдела баллистики и навигации, к.т.н. А.В. Симоновым, математиком 2-й категории отдела баллистики и навигации, к.т.н. Е.С. Гордиенко и утверждён заместителем генерального директора по научной работе, д.т.н., профессором С.Н. Шевченко.

Наряду с достоинствами диссертации следует отметить следующие недостатки:

1. Математическая модель движения КА не учитывает нецентральность гравитационного поля Земли для гармоник выше второй, возмущения от притяжения Луны и Солнца, а также от давления солнечной радиации.
2. При расчёте траектории КА с солнечными батареями не учтены заходы в тень Земли и необходимость выключения ЭРДУ на этих интервалах.
3. При рассмотрении околокругового движения не оптимизируется угол тангажа.

7. **Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан заместителем начальника центра системным исследований космической деятельности, к.т.н. А.Н. Мальченко, главным научным сотрудником, д.т.н. с.н.с М.В. Яковлевым, инженерами 1-ой категории В.А. Марчук и А.П. Дублевой. Подписи заверены главным учёным секретарём АО «ЦНИИмаш», д.т.н. профессором Ю.Н. Смагиным.

По содержанию автореферата выявлены следующие недостатки:

1. Судя по автореферату, в диссертационной работе отсутствует сравнение данных, полученных соискателем и другими авторами аналогичных работ, что снижает степень достоверности результатов выполненных исследований.
2. В работе не приведено сравнение полученных результатов с расчётом радиационных функционалов с использованием программы COSRAD (НИИЯФ МГУ, АО «ЦНИИмаш»), используемой в практике организаций российской ракетно-космической промышленности.
3. Анализ степени деградации СБ за счет действия поглощенной дозы ионизирующих излучений космического пространства выполнен без учета других факторов, воздействующих на СБ в процессе эксплуатации, например, плазменных струй ЭРДУ.

8. **Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан заместителем начальника экспертно-аналитического центра, д.т.н., профессором В.В. Бетановым, подпись которого заверил Учёный секретарь АО «Российские космические системы», к.т.н., старший научный сотрудник С.А. Федотов.

В качестве недостатков автореферата можно отметить следующее:

1. в тексте автореферата не поясняется чем обусловлен выбор параметра, соответствующего целевому значению радиационной нагрузки на конец перелёта Q_{max} , использующегося для построения Парето-фронта двухкритериальной задачи оптимизации с частными критериями время и радиационная нагрузка;
2. в части сравнения двух принципов уменьшения поглощённой дозы: изменение траектории перелёта и метода утолщения стенок, приведён рисунок 9, сравнивающий массы утолщения стенок и дополнительных затрат топлива, однако, в тексте затраты на изменение траектории фигурируют исключительно в виде характеристической скорости, а не массы топлива, что делает приведённый график сравнения трудным для восприятия;
3. в работе рассматривается задача в постановке оптимального быстродействия и её модификация учитывающая интегральное ограничение на радиационную нагрузку, и ничего не говорится о аналогичной задаче на максимум конечной массы, а между тем такая задача тоже представляет интерес.

9. **Государственный научный центр Российской Федерации Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан первым заместителем генерального директора ФГУП «ЦАГИ» А.Л. Медведским, руководителем программ реализации научных проектов развития аэрокосмических исследований, д.т.н. А.С. Филатьевым и ведущим научным сотрудником, к.т.н. О.В. Яновой.

Замечания.

1. Для построения радиационной модели автор использует несколько баз данных и строит по ним сплайн-аппроксимацию 11-го порядка. Порядок аппроксимации выбран для соответствия погрешности применяемого автором метода численного интегрирования Дорманда-Принса. Однако, из автореферата неясно, какие автор принял меры против появления «паразитных» осцилляций, типичных для сплайн-аппроксимации столь высокого порядка, которые, в том числе, могут ухудшать сходимость решения краевых задач.

10. **Кафедра общих проблем управления механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан доцентом кафедры общих проблем управления, к.ф.-м.н., помощником декана механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова М.П. Заплетиним.

Можно выделить следующие замечания:

1. Предложенная обобщенная методика оптимизации из главы 1 обладает методическим изъяном, который состоит в том, что при ее

использовании не указано как выбирать целевое значение радиационной нагрузки Q_{max} . При этом автор в задаче минимизации дозы радиации при перелётах на ГСО конечную величину дозы выбирает нулевой, что заведомо недостижимо из физических соображений. При применении метода продолжения решения по параметру при некотором значении параметра продолжения интегрирование аварийно прерывается. При этом оказывается не совсем ясным прерывание произошло из-за отказа численного метода или из-за приближения к физическому пределу минимума дозы.

2. Применение методики осреднения радиационных функционалов по круговым орбитам является методическим упрощением, приводящим к неминуемой потере информации об исходном функционале. Не показано насколько повлияет учёт неосреднённого функционала на получаемые оптимальные траектории и величины радиационной нагрузки на конец перелёта.

3. В автореферате присутствует ряд опечаток, в том числе следующие: на стр. 10 на шестой строке абзаца после формулы (18) вместо слова «постоянной» должно быть слово «постоянное», на стр. 15 в четвертой строчке снизу присутствует лишний предлог «на» перед «320-560 м/с».

11. **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» (Самарский университет)**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан профессором кафедры динамики полёта и систем управления, д.т.н., доцентом О.Л. Стариновой, подпись которой заверил учёный секретарь Самарского университета В.С. Кузьмичев.

В качестве недостатков необходимо отметить следующие:

1. из автореферата неясно какова точность разработанных аппроксимационных моделей осредненной мощности радиации в околоземном пространстве, указывается только на базе каких общепринятых моделей они получены
2. в автореферате присутствует ряд стилистических неточностей.

12. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт космических исследований Российской академии наук»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан ведущим научным сотрудником ФГБУН «ИКИ РАН», к.т.н. Н.А. Эйсмонт, подпись которого заверена ученым секретарем ФГБУН «ИКИ РАН», к.ф.-м.н. А.М. Садовским.

Замечаний нет.

13. **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»**, отзыв на автореферат. **Отзыв**

положительный, подписан доцентом кафедры систем автоматического управления, к.т.н. Ф.В. Звягиным, подпись которого заверил заместитель начальника управления кадров МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Существенных замечаний по автореферату нет, но стоит отметить его довольно большой объем и несколько несущественных опечаток. Также, возможно было бы полезным привести рисунок с системой координат и схемой реализации проекта.

14. **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан заведующим кафедрой небесной механики математико-механического факультета, д.ф.-м.н., профессором К.В. Холшевниковым, к.ф.-м.н., доцентом В.А. Шмыровым, подписи которых заверены заместителем начальника управления кадров Санкт-Петербургского госуниверситета О.С. Суворовой.

Существенных замечаний по автореферату нет. В качестве пожелания рекомендую диссертанту обратить внимание на работы, связанные с усреднением движения КА в околоземном пространстве, в частности, при исследовании движения КА с солнечным парусом (работы Е.Н. Поляховой и А.С. Шмырова).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, компетентностью, имеющимся у них большим опытом проведения проектно-баллистического анализа транспортных операций различных КА и космических систем, в том числе, в области соответствующей паспорту специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

АО «ИСС» является ведущей организацией ракетно-космической промышленности по разработке и изготовлению КА, систем и комплексов связи, телевидения, ретрансляции навигации и геодезии, созданию наземных комплексов управления для КА и многоспутниковыми системами и проведению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области создания космической техники. Заключение по диссертационной работе обсуждено и подписано учеными, которые непосредственно занимаются вопросами, связанными с решением задач выведения космических аппаратов с электроракетными двигателями на геостационарную орбиту: известным специалистом по космическим навигационным системам В.Е. Чеботаревым, ведущим специалистом АО «ИСС» по навигационному и баллистическому обеспечению Ю.Л. Булыниным, заместителем генерального конструктора АО «ИСС» по разработке космических систем, общему проектированию и управлению космическими аппаратами А.В. Кузовниковым.

Ивашкин Вячеслав Васильевич – доктор физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика», профессор, академик Российской академии космонавтики имени К.Э.Циолковского, главный научный сотрудник Института прикладной математики имени М.В.Келдыша РАН, известный специалист по механике космического полета, автор многих научных работ по оптимизации траекторий космических аппаратов с двигателями большой и малой тяги, теории возмущенного движения космических аппаратов, анализу траекторий перелета в системе Земля-Луна, межорбитальных и межпланетных перелетов.

Синицын Алексей Андреевич – кандидат технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», ведущий научный сотрудник Исследовательского центра имени М.В. Келдыша, автор работ по оптимизации межорбитальных, лунных и межпланетных траекторий. Синицын А.А. проводит работы по проектно-баллистическому анализу вопросов применения электроракетных двигательных установок на перспективных космических аппаратах. В числе прочих вопросов, в научных трудах А.А. Синицына рассматривались проблемы расчета радиационной нагрузки на многовитковых траекториях космических аппаратов с малой тягой и вопросы расчета траекторий многоразовых межорбитальных буксиров с электроракетными двигателями.

В дискуссии приняли участие:

Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, шифр специальности в совете
КРАСИЛЬЩИКОВ М.Н.	д.т.н, 05.13.01
БОБРОННИКОВ В.Т.	д.т.н., 05.13.01
ХРУСТАЛЁВ М.М.	д.ф.-м.н., 05.13.18
ЕВДОКИМЕНКОВ В.Н.	д.т.н, 05.13.01
ВОРОНЦОВ В.А.	д.т.н., 05.07.09
ЗАНИН К.А.	д.т.н., 05.13.18
КАН Ю.С.	д.ф.-м.н., 05.13.18
КОНСТАНТИНОВ М.С.	д.т.н., 05.07.09

Диссертационный совет отмечает, что **на основании выполненных соискателем исследований:**

1. Разработана общая методика оптимизации траекторий многовитковых перелётов КА с ЭРДУ на основе принципа максимума Л.С. Понтрягина для снижения воздействия космической радиации на бортовые системы КА. Полученная методика применена для нескольких конкретных задач оптимизации многовитковых перелётов, для которых решены возникающие краевые задачи и получены соответствующие экстремали.

2. Доказана принципиальная возможность получения траекторий выведения КА с ЭРДУ на ГСО с радиационной нагрузкой меньшей, чем на траектории оптимального быстрогодействия.
3. Разработана методика адаптации радиационных функционалов для применения методов оптимизации траекторий КА с ЭРДУ на основе принципа максимума Л.С. Понтрягина и метода продолжения по параметру.

Новизна полученных результатов заключается в предложенном новом походе к решению задач оптимизации траекторий многовитковых перелётов КА с ЭРДУ с целью снижения радиационной нагрузки на бортовые системы на основе принципа максимума Л.С. Понтрягина, разработке методики осреднения радиационных функционалов по круговым орбитам и построения их гладких аппроксимаций с помощью сплайнов высокого порядка. Также новизна полученных результатов заключается в обнаружении эффекта немонотонного изменения максимального эксцентриситета при снижении конечной дозы радиации в задаче перелёта КА с ядерной энергетической установкой и ЭРДУ с низкой круговой орбиты на ГСО и постановке и решении задачи на максимум относительной мощности СБ на конец САС КА.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработана строгая методика расчёта многовитковых траекторий выведения КА с ЭРДУ с различных начальных орбит на ГСО с заранее заданным уровнем радиационного воздействия на бортовые системы КА. Ценность предлагаемой методики состоит в том, что в отличие от широко применяемых для задачи снижения радиационной нагрузки путем вариации траектории не прямых методов, она позволяет рассчитать траектории, удовлетворяющие необходимым условиям оптимальности, то есть экстремали. Этот факт позволяет более строго исследовать пределы снижения радиационной нагрузки на бортовые системы КА методом вариации траектории перелёта. Также стоит отметить, что методика не привязывается к конкретному виду функционала и применима к любым радиационным функционалам, удовлетворяющим приведенному в работе дифференциальному уравнению.

Практическая значимость работы заключается в создании методов и средств проектно-баллистического анализа выведения перспективных КА на ГСО с помощью ЭРДУ, которые позволяют снизить радиационное воздействие от длительного пребывания в радиационных поясах Земли путем вариации формы траектории перелёта. Разработанный автором диссертационной работы комплекс программ, реализующий предлагаемую методику, может быть использован при проектировании межорбитальных перелётов КА с ЭРДУ.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается следующими актами о внедрении результатов диссертации:

1. Акт о внедрении результатов диссертационной работы Старченко А.Е. в научно-техническую деятельность НИИ ПМЭ МАИ от 07.10.2019

2. Акт от 20.02.2020 о внедрении результатов диссертационной работы Старченко А.Е. в производственную деятельность ПАО «Ракетно-космической корпорации «Энергия» им. С.П. Королёва».

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию на предприятиях, занимающихся проектированием КА и средств выведения, а также в научно-исследовательских институтах, сопровождающих их разработку, таких как АО «ИСС», ПАО «РКК «Энергия», АО «НПО им. С.А. Лавочкина», АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», АО «ЦНИИмаш», НИИ ПМЭ МАИ, ИПМ им. М.В.Келдыша РАН. Разработанные автором методики могут быть использованы при проектно-баллистическом анализе выведения перспективных геостационарных КА с ЭРДУ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что основные положения диссертации опираются на современный математический аппарат и согласуются с опубликованными результатами работ других авторов по теме диссертации. Соискателем разработаны и используются корректные математические модели и алгоритмы. В рамках исследования автором грамотно применены общие и специальные методы моделирования движения летательных аппаратов, методы баллистико-навигационного анализа транспортных операций летательных аппаратов, в том числе методы оптимального управления движением КА с двигателями малой тяги.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в разработке представленной методики оптимизации траекторий КА с ЭРДУ с целью снижения радиационной нагрузки на бортовые системы. Соискатель лично получил все теоретические выкладки работы, разработал соответствующие программно-математические комплексы и провёл все численные эксперименты и расчёты, а также лично участвовал в апробации диссертационной работы.


В диссертационной работе все заимствованные материалы представлены со ссылкой на автора или источник. Тем самым работа удовлетворяет п.14 Положения о присуждении ученых степеней.

Изложенные в диссертационной работе результаты **являются новыми научно-обоснованными техническими решениями**, имеющими существенное значение для развития космической отрасли страны в части проектно-баллистического анализа перспективных космических аппаратов, выводимых на высокие рабочие орбиты с помощью разгонных блоков и ЭРДУ, а также всех КА, совершающих длительные межорбитальные перелёты в областях радиационных поясов Земли.

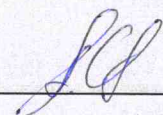
На заседании 27 февраля 2020 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, и принял решение присудить Старченко Александру Евгеньевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 5 докторов наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета Д 212.125.12,
д.т.н., профессор


М.Н. Красильщиков

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.125.12,
к.т.н.


А.В. Старков

«27» февраля 2020 г.

Начальник отдела УДС МАИ
Т.А. Аникина

