

УТВЕРЖДАЮ:

директор Федерального государственного учреждения «Федеральный
исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В.

Келдыша Российской академии наук, член-корреспондент РАН

М.В. Якобовский



ИЮНЬ

2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного учреждения

«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики

им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

Диссертация «Проектирование многовитковых траекторий космических аппаратов с малой тягой с помощью методов усреднения и параметризации рядами Фурье» выполнена в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), отдел № 7.

В период подготовки диссертации соискатель Суслов Кирилл Сергеевич работал в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН в отделе № 7 младшим научным сотрудником, в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт космических исследований Российской академии наук» в лаборатории 549 ведущим инженером, в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре математического моделирования и прикладной математики ассистентом, а также обучался в аспирантуре ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

В 2022 г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению «Прикладные математика и физика».

Соискатель успешно сдал все кандидатские экзамены, соответствующие научной специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Овчинников Михаил Юрьевич, работает в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, отдел № 7, главный научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего отделом.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертация «Проектирование многовитковых траекторий космических аппаратов с малой тягой с помощью методов усреднения и параметризации рядами Фурье» посвящена изучению управляемого орбитального движения космического аппарата с малой тягой в околоземном пространстве. Задача является особо актуальной для космических аппаратов, оснащённых высокоэффективными электрореактивными двигателями (ЭРД). Работа предоставляет методическую основу для поиска квазиоптимального управления малой тягой, которая может быть применена на этапе предварительного анализа миссий малых космических аппаратов вокруг небесных тел, что говорит о практической значимости полученных результатов. Также практическая значимость подтверждается участием соискателя в выполнении госзадания Министерства науки и высшего образования РФ (темы №FFMN-2022-0006 и №FFMN-2025-0021), а также грантов РНФ № 19-11-00256, № 23-72-30002 и № 24-11-00038.

В диссертации автором решены следующие задачи и получены новые результаты:

1. Разработана модель усреднённого орбитального движения космического аппарата с двигателем малой тяги в гравитационном поле Земли. В рамках модели учтены возмущающее ускорение за счёт полярного сжатия Земли и прерывание работы электрореактивного двигателя в тени. С помощью численного моделирования показано, что траектории космических аппаратов, построенные в

рамках модели усреднённого движения, аппроксимируют траектории в исходной задаче с высокой точностью на необходимых на практике промежутках времени. Получены приближённые решения в квадратурах и элементарных функциях для эволюции почти круговой орбиты под действием периодического возмущающего ускорения.

2. Разработана методика поиска квазиоптимального управления при многовитковом межорбитальном перелёте с малой тягой. Предложены методы решения задачи минимизации затрат рабочего тела при межорбитальном перелёте с двигателем идеально регулируемой тяги и задачи быстрогодействия при межорбитальном перелёте с двигателем ограниченной тяги в классе периодических функций реактивного ускорения и реактивной тяги. Предложен подход к учёту слабой неперIODичности управления с помощью введения изменяющихся во времени параметров, определяющих периодическое управление.

3. На основе разработанных методик создан комплекс программ для ЭВМ, с помощью которого проведён баллистический анализ миссии малых космических аппаратов (МКА) по исследованию магнитосферы Земли с точки зрения возможности вывода единичного МКА с геопереходной орбиты на рабочую высокоэллиптическую орбиту вокруг Земли силами собственной двигательной установки (ДУ) на базе ЭРД. Сделаны оценки количества рабочего тела и ресурса работы ДУ, построены траектории перелёта на рабочую орбиту и обеспечивающие их законы управления. Сделаны выводы о реализуемости миссии.

Полученные результаты демонстрируют теоретическую и прикладную ценность научных работ соискателя.

Материалы диссертации достаточно полно представлены в работах, опубликованных соискателем. Основные научные результаты диссертации изложены в семи рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, включая четыре статьи в изданиях, входящих в базы данных Web of Science и Scopus. Требования, установленные пунктом 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, соблюдены.

Список публикаций в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Suslov, K.S., Shirobokov, M.G., Tselousova, A.A. Minimum Energy Transfer Optimization between Near-Circular Orbits Using an Approximate Closed-Form Solution // *Aerospace*. 2023, 10, 1002. <https://doi.org/10.3390/aerospace10121002>
2. Suslov, K.S., Shirobokov, M.G., Trofimov, S.P. Approximate Finite Fourier Solution to the Periodically Perturbed Two-Body Problem // *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*. 2024, 47(8), pp. 1698—1708. <https://doi.org/10.2514/1.G007900>
3. Ovchinnikov, M.Yu., Suslov, K.S., Tkachev, S.S., Shirobokov, M.G., Shestakov, S.A. Academy transaction note “time-optimal low thrust control using finite-Fourier parametrization” // *Acta Astronautica*. 2026, 239, pp. 478–482. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2025.11.029>
4. Suslov, K.S. Energy-Optimal Low Thrust Optimization using Finite Fourier Parametrization with Nonstationary Spectrum // *Astrodynamics* <https://doi.org/10.1007/s42064-026-0312-x>
5. Suslov, K.S., Shirobokov, M.G., Bogachev, S.A. Ballistic analysis of a small spacecraft mission for studying the Earth’s magnetosphere // *Cosmic Research*. 2024, 62(6), pp. 632–642. <https://doi.org/10.1134/S0010952524600987>
6. Суслов К.С. Приближенное решение задачи двух тел, возмущённой периодическим ускорением // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2023, №68, 17 с. <https://doi.org/10.20948/prepr-2023-68>
7. Васильев Д.С., Комаров А.А., Корнеев К.Р., Попова Ю.В., Степанова Е.С., Суслов К.С., Широбоков М.Г. Перспективные проекты применения двигателей АО «ОКБ «Факел» // *Космическая техника и технологии*. 2025, 3(50), С. 72-88. EDN OMJBWP

Достоверность результатов, представленных в диссертации, обоснована применением современных методов теоретической механики, усреднения и численных методов, подтверждена согласованностью теоретических результатов и численного моделирования, сравнением с результатами других авторов. Основные результаты докладывались на ведущих конференциях:

- 74-й Международный астронавтический конгресс (г. Баку, Азербайджан, 2023);

- Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства (г. Москва, 2023, 2024, 2025);
- Всероссийская конференция «Проблемы и перспективы космических миссий с ЭРДУ» (г. Махачкала, 2022);
- Международная научная конференция по механике «Десятые Поляховские чтения» (г. Санкт-Петербург, 2024);
- 58-е Научные чтения, посвященные разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского (г. Калуга, 2023);
- 3-я Российская молодёжная научная конференция «Новые горизонты прикладной математики» (г. Москва, 2026);
- 64-я Всероссийская научная конференция МФТИ (г. Москва, 2021).

Диссертационное исследование обсуждалось на следующих семинарах:

- Семинар «Динамика космических систем» отдела №7 в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, руководитель М.Ю. Овчинников;
- Семинар «Динамические системы и механика» в МАИ (НИУ), руководитель Б.С. Бардин;
- Семинар по теории управления и динамике систем в ИПМех РАН, руководитель Ф.Л. Черноусько;
- Семинар «Динамические системы и механика» в ИКИ РАН, руководитель Н.А. Эйсмонт;
- Семинар Баллистического центра ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, руководитель А.Г. Тучин;
- Семинар «Механика и управление движением» отдела №5 в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, руководитель Ю.Ф. Голубев.

Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Все приведенные в диссертации результаты получены автором лично.

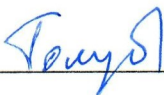
Совокупность результатов диссертации можно квалифицировать как решение научной задачи, имеющей значение для развития динамики космического полёта. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертации кандидата физико-математическим наук по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин. В частности, исследования, проведенные в диссертации, удовлетворяют пп. 1, 10, 14 направлений исследований по паспорту специальности.

Диссертация «Проектирование многовитковых траекторий космических аппаратов с малой тягой с помощью методов усреднения и параметризации рядами Фурье» Сулова Кирилла Сергеевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин.

Заключение принято на заседании семинара «Механика и управление движением». Присутствовало на заседании 24 чел., в том числе 8 докторов наук по специальности, соответствующей тематике диссертации. Выступили с положительной оценкой диссертации: М.Г. Широбоков, В.В. Сидоренко, Ю.Ф. Голубев.

Результаты голосования:

"за" - 24 чел., "против" - 0 чел., "воздержалось" - 2 чел.,
протокол № 66 от 21 мая 2026 г.



*Ю.Ф. Голубев, д.ф.-м.н., профессор,
з.н.с. отдела № 5,
руководитель семинара*

18 июня 2026 г.