

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.03, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17 ноября 2023 года, № 19
о присуждении Рожкову Мирославу Андреевичу, гражданину Российской
Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Оптимизация многоцветных гелиоцентрических
перелётов космического аппарата с солнечным парусом с учётом деградации
отражающей поверхности», представленная на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика,
управление движением летательных аппаратов принята к защите 30 августа
2023 г. (протокол заседания № 7) диссертационным советом 24.2.379.03,
созданным на базе федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Самарский
национальный исследовательский университет имени академика
С.П. Королева» (Самарский университет) Министерства науки и высшего
образования Российской Федерации (443086, г. Самара, Московское шоссе,
34), приказом Министерства науки и высшего образования Российской
Федерации от 20 декабря 2018 г. № 365/нк с изменениями, внесенными
приказом от 07.07.2021 г. №670/нк.

Соискатель Рожков Мирослав Андреевич, 11 января 1995 года рождения,
в 2019 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Самарский национальный
исследовательский университет имени академика С. П. Королева» по
направлению 24.04.01 «Ракетные комплексы и космонавтика», присвоена
квалификация Магистр. В 2023 году освоил программу подготовки научно-
педагогических кадров в аспирантуре Самарского университета по
направлению 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника» с
присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь»,
в настоящее время работает в должности специалиста института авиационной
и ракетно-космической техники Самарского университета, по
совместительству в должности ассистента кафедры программных систем
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Самарский национальный исследовательский

университет имени академика С. П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре динамики полёта и систем управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Старина Ольга Леонардовна, заведующий кафедрой динамики полёта и систем управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Официальные оппоненты: Родников Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры мехатроники и теоретической механики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»; Поляхова Елена Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры небесной механики математико-механического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» – **дали положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр Российской академии наук», г. Саратов, **в своём положительном заключении**, подписанном заведующим лабораторией «Анализ и синтез динамических систем в прецизионной механике» доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником Барулиной Мариной Александровной; кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником Панкратовой Еленой Владимировной и утверждённом заместителем директора ФИЦ СНИЦ РАН кандидатом экономических наук Брелем Валерием Константиновичем, указала, что диссертационная работа Рожкова Мирослава Андреевича является законченной научно-исследовательской работой, выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 года, а её автор – Рожков Мирослав Андреевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Соискатель имеет 22 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 11 работ; из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано пять работ (из них две статьи – в научных изданиях, рекомендованных ВАК; три статьи – в базах Scopus и Web of Science). Общий объём публикаций составляет 4,9 п.л., авторский вклад 4,2 п.л. (86%). Из публикаций лично соискателю принадлежат: математическая модель управляемого движения центра масс космического аппарата с солнечным парусом, которая включает в себя определение управляющего ускорения с учётом оптических особенностей отражения от неидеально зеркальной поверхности (рассеивание, поглощение, пропускание, собственное излучение материала) на базе расчёта оптических характеристик многослойного тонкого паруса и с учётом деградации оптических характеристик отражающей поверхности паруса под действием электромагнитного излучения Солнца; оптимальное по быстродействию номинальное управление движением центра масс космического аппарата с неидеально отражающим солнечным парусом с учётом деградации отражающей поверхности на базе принципа максимума Понтрягина; методика решения задач проектирования оптимальных по быстродействию многоразовых гелиоцентрических перелётов космического аппарата с неидеально отражающим солнечным парусом с учётом деградации отражающей поверхности; результаты верификации предлагаемой математической модели посредством сравнения полученных результатов с известными решениями других авторов и опубликованными результатами экспериментов; результаты расчётов, полученных с использованием разработанной методики и программно-математического обеспечения многоразовых перелётов Земля-Меркурий-Земля и Земля-Марс-Земля для космического аппарата с неидеально отражающим солнечным парусом с учётом деградации отражающей поверхности. Наиболее значимые работы:

1. **Рожков М. А.** Влияние оптических характеристик многослойного солнечного паруса на его гелиоцентрическое движение / **М.А. Рожков** // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2022. – Т. 21. – №. 4. – С. 52-65. (статья 0,91 п. л.)

2. **Рожков М. А.** Оптимизация гелиоцентрических перелётов космического аппарата с разнотипными электроракетными двигателями / О. Л. Старинова, А. А. Лобыкин, **М. А. Рожков** // Космическая техника и технологии. – 2023. – № 1 (40). – С. 94-104. (статья 0,71 / 0,68 п. л.)

3. **Rozhkov M. A.** Modeling the process of optical characteristics variation for a solar sail surface during heliocentric flights (= Моделирование процессов изменения оптических характеристик поверхности солнечного паруса при гелиоцентрических перелётах) / O. L. Starinova, **M. A. Rozhkov**, B. Alipova, I. V. Chernyakina // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1368. – No. 2. (статья 0,62 / 0,53 п. л.)

4. **Rozhkov M. A.** Influence of temperature restrictions on the heliocentric motion controlling of a solar-sailing spacecraft (= Влияние температурных ограничений на управление гелиоцентрическим движением космического аппарата с солнечным парусом) / I. V. Chernyakina, **M. A. Rozhkov**, O. L. Starinova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 984. – No. 1. (статья 0,63 / 0,51 п. л.)

5. **Rozhkov M. A.** Influence of optical parameters on a solar sail motion (= Влияние оптических параметров на движение солнечного паруса) / **M. A. Rozhkov**, O. L. Starinova, I. V. Chernyakina // Advances in Space Research. – 2021. – Vol. – 67. – No. 9. – PP. 2757-2766. (статья 0,68 / 0,61 п. л.)

На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов.

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», г. Самара, подписан профессором кафедры «Электропривод и промышленная автоматика», д.т.н., профессором Кузнецовым П. К. Замечания: В автореферате отсутствует описание спектров электромагнитного излучения Солнца и способ их учёта при расчёте. Автореферат перегружен текстом, из-за чего результаты моделирования перелётов Марс-Земля представлены только в таблице. Не рассмотрены пространственная постановка и решение задачи.

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Самара, подписан заместителем директора по научной работе, к.т.н. Соколовым В. О. Замечание: Отсутствует сравнение с другими методами оптимизации, например, локально-оптимальными законами управления.

3. Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара, подписан заместителем генерального конструктора по научной работе, к.т.н. Борисовым М. В. Замечания: Вводимые автором компоненты S и T формулой (12) совпадают по обозначению с общеизвестными в орбитальной механике проекциями ускорения, которые имеют немного иной смысл. В третьей главе не представлены проектные параметры космического аппарата, которые использовались для численного моделирования.

4. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук, г. Москва, подписан ведущим научным сотрудником, к.т.н. Эйсмонт Н. А. Замечания: В автореферате отсутствуют числовые исходные и целевые данные, используемые для моделирования перелётов, также нет информации о параметрах численного интегрирования (точность решения, размер шага). Не дана оценка влияния других проектных параметров космического аппарата с

солнечным парусом помимо оптических характеристик отражающей поверхности.

5. Филиал Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» на космодроме «Восточный», г. Циолковский, подписан главным специалистом, руководителем Восточного регионального отделения МОО «Российская академия космонавтики имени К. Э. Циолковского», к.г.н., доцентом Алексеевым И. А. Замечание: Автором не приведены исходные и целевые данные для численного моделирования перелётов космического аппарата с солнечным парусом.

6. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», г. Омск, подписан профессором кафедры «Авиа- и ракетостроение», д.т.н., профессором Трушляковым В. И. Замечания: В автореферате по ошибке указано слово «патент» вместо слова «свидетельство». Для лучшего понимания разработанной методики решения задач об оптимальном межпланетном перелёте (граничное условие б) не хватает пояснительной схемы с отображёнными угловыми величинами (u_{Σ} , u_k – суммарная угловая дальность предыдущих перелётов и текущего).

7. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург, подписан заведующим кафедрой «Динамика и управление полётом летательных аппаратов», заслуженным работником высшей школы РФ, член-корреспондентом Российской академии ракетных и артиллерийских наук, д.т.н., профессором Толпегиним О. А. Замечания: 1) Из текста автореферата не ясно, как при нахождении оптимального управления из формулы (11) учитывается ограничение на управление. 2) В диссертации приводится сравнение длительности перелёта для космического аппарата с учётом деградации отражающей поверхности и космического аппарата с идеальным солнечным парусом. Однако не производятся сравнения по времени перелёта с космическим аппаратом, использующим классические способы выбора управления. Таким образом не ясно, какой выигрыш даёт использование оптимального управления. 3) В работе не учтены возмущающие факторы, действующие на КА при движении в гравитационном поле Солнца. 4) В автореферате упоминается, что для численного решения краевой задачи использовался модифицированный метод Ньютона. Также упоминается о плохой сходимости метода для задач с фиксированной угловой дальностью. В работе предложена методика решения таких задач, однако итоговая оценка сходимости не представлена.

8. Акционерное общество «Опытное конструкторское бюро «Факел» (АО «ОКБ «Факел»», г. Калининград, подписан ведущим специалистом, к.т.н.

Толстелем О. В. и утверждён главным конструктором, к.т.н. Дроновым П. А. Замечания: 1) В обосновании динамической модели утверждается, что отброшены факторы, вклад которых в величину ускорения от силы светового давления не превосходит 5%. В то же время неясно, как оценивался вклад каждого фактора. Скажем, деформация мембраны рассматриваемого в работе квадратного паруса со стороной 275 метров будет весьма велика и способна внести очень существенную поправку в уровень создаваемого ускорения. 2) Не обосновывается возможность совершить быстрые развороты паруса (до 180 градусов за сутки). Вопрос управления ориентацией паруса вынесен за скобки, в то время как для настолько больших парусов ограничения на управление угловым движением способны оказать решающее влияние на степень управляемости орбитальным движением. 3) В тексте автореферата отсутствуют условия трансверсальности принципа максимума (ПМ). Неясно, как в краевой задаче ПМ учитывается ограничение (6). 4) Автор утверждает, что задачи с фиксированной угловой дальностью сходятся плохо. При этом неясно, в чём был смысл ставить именно такую задачу (т.е. фиксировать угловую дальность), и не даётся обоснование процедуры поиска начального приближения, схема которой приведена на рис. 4. 5) Не поясняется нормировка начального значения сопряжённой переменной ψ_i (скажем, почему оно не может быть нулевым?), и его связь с ростом/убыванием гелиоцентрического расстояния. 6) В названиях статьи [2] и двух зарегистрированных программных комплексов упоминаются электроракетные двигатели малой тяги, а не солнечные паруса. Не вполне понятная связь этих работ с диссертационным исследованием.

9. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Амурский государственный университет», г. Благовещенск, подписан директором научно-образовательного центра имени К. Э. Циолковского, к.ф.-м.н, доцентом Фоминым Д. В. Замечание: Небольшим недостатком автореферата диссертации является малый шрифт текста на графиках номинального управления рисунка 5.

Во всех отзывах отмечено, что указанные недостатки не снижают научную и практическую значимость работы и не влияют на общую положительную оценку диссертации. Во всех отзывах отмечено, что диссертация соответствует требованиям ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и сделано заключение о возможности присуждения Рожкову Мирославу Андреевичу учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Выбор Родникова Александра Владимировича в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является крупным специалистом в области ракетно-космических систем, динамики и управления

движением космических аппаратов в том числе, космических аппаратов с солнечным парусом.

Выбор Поляховой Елены Николаевны в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что она является одним из самых видных исследователей в области механики космического полёта с солнечным парусом, автором первой научной монографии на русском языке по тематике солнечных парусов «Космический полёт с солнечным парусом» (1986 год), опытный специалист в области небесной механики, управлении движением космических систем, методов моделирования их движения.

Выбор ведущей организации связан с широко известными достижениями её специалистов в областях: управление движением космических аппаратов, динамика движения летательных аппаратов, автоматическое и оптимальное управление движением космических аппаратов и космических систем со сложной конфигурацией.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана и исследована математическая модель управляемого движения центра масс космического аппарата с солнечным парусом, которая включает в себя: определение управляющего ускорения с учётом оптических особенностей отражения от неидеально зеркальной поверхности (рассеивание, поглощение, пропускание, собственное излучение материала) на базе расчёта оптических характеристик многослойного тонкого паруса и с учётом деградации оптических характеристик отражающей поверхности паруса под действием электромагнитного излучения Солнца;

разработана методика и программно-математическое обеспечение для решения задач проектирования оптимальных по быстродействию многоходовых гелиоцентрических перелётов космического аппарата с неидеально отражающим солнечным парусом с учётом изменения оптических характеристик отражающей поверхности;

определено оптимальное по быстродействию номинальное управление движением центра масс космического аппарата с неидеально отражающим солнечным парусом на базе принципа максимума Понтрягина, которое учитывает при оптимизации ухудшение оптических параметров паруса;

описаны результаты расчётов с использованием разработанной методики и программно-математического обеспечения многоходовых перелётов Земля-Меркурий-Земля и Земля-Марс-Земля для космического аппарата с неидеально отражающим деградирующим солнечным парусом.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

разработана методика решения задач проектирования оптимальных по быстродействию многоразовых гелиоцентрических перелётов космического аппарата с неидеально отражающим солнечным парусом с учётом деградации отражающей поверхности.

представлено использование принципа максимума Понтрягина для определения номинального оптимального управления движением центра масс космического аппарата с неидеально отражающим солнечным парусом, оптические параметры которого изменяются под действием электромагнитного излучения.

изучено влияние деградации отражающей поверхности солнечного паруса на выбор оптимальных по быстродействию номинальных программ управления движением центра масс космического аппарата для многоразовых гелиоцентрических перелётов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработано программно-математическое обеспечение, предназначенное для решения задач проектирования оптимальных по быстродействию многоразовых гелиоцентрических перелётов космического аппарата с неидеально отражающим солнечным парусом с учётом деградации отражающей поверхности;

получены результаты численного моделирования многоразовых гелиоцентрических перелётов Земля-Меркурий-Земля и Земля-Марс-Земля для космического аппарата с неидеально отражающим деградирующим солнечным парусом, проведённые с использованием разработанной методики и программно-математического обеспечения;

сформулированы выводы и практические рекомендации по использованию разработанных алгоритмов для формирования оптимального номинального управления движением центра масс космического аппарата с неидеально отражающим солнечным парусом с учётом изменения оптических характеристик отражающей поверхности.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных классических подходах, что обеспечивается корректным использованием методов небесной механики, математики, классических вычислительных методов, апробированных методов теории оптимального управления, и согласуется с известными результатами работ других авторов и опубликованными результатами экспериментов;

полученные результаты не противоречат и согласуются с известными результатами по исследованию динамики полёта космического аппарата с солнечным парусом.

Личный вклад соискателя состоит в:

разработке математической модели, методики и программно-математического обеспечения для решения задач проектирования оптимальных по быстродействию многоразовых гелиоцентрических перелётов космического аппарата с неидеально отражающим солнечным парусом с учётом деградации отражающей поверхности, в проведении численных расчётов, в анализе результатов моделирования, в обработке и интерпретации результатов численных экспериментов, в апробации результатов исследования, в подготовке основных публикаций по выполненной работе. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором либо лично, либо при его определяющем личном участии.

В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний. Соискатель ответил на все задаваемые ему вопросы.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты. Работа содержит решение актуальной научной задачи оптимизации управления движением центра масс космического аппарата с солнечным парусом, позволяющее проводить баллистическое проектирование перспективных миссий по освоению дальнего космоса.

На заседании 17 ноября 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Рожкову Мирославу Андреевичу учёную степень кандидата технических наук за решение задачи, имеющей существенное значения для развития ракетно-космической отрасли.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета 24.2.379.03

Шахматов Евгений Владимирович

Учёный секретарь

диссертационного совета 24.2.379.03

Крамлик Андрей Васильевич

17.11.2023

