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 19 апреля 2024 года, № 3

о присуждении Сергаевой Елизавете Андреевне, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Программы управления космическим аппаратом с электроракетной двигательной установкой для исследования малых тел Солнечной системы», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов принята к защите 2 февраля 2024 г. (протокол заседания № 2) 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» 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 приказами от 07.07.2021 г. №670/нк, от 03.06.2021 №561/нк, от 03.10.2022 №1097/нк, от 12.12.2023г. №2298/нк.

Соискатель Сергаева Елизавета Андреевна, 21 ноября 1994 года рождения, в 2018 г. освоила программу магистратуры федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по направлению подготовки 24.04.02 Системы управления движением и навигация, в 2022 году освоила программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет

имени академика С.П. Королева» по направлению 24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника в настоящее время работает в должности инженера управления перспективных проектов и программ 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 Старинова 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: Ивашкин Вячеслав Васильевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»; Симонов Александр Владимирович, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела баллистики и навигации Акционерного общества «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» – **дали положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), г. Москва, **в своём положительном заключении**, подписанном кандидатом технических наук, ведущим научным сотрудником Эйсмонтом Натаном Андреевичем; утвержденном исполняющим обязанности директора ИКИ РАН Петруковичем Анатолием Алексеевичем, указала, что диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой, выполнена на высоком научном уровне, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор – Сергаева Е. А. заслуживает присуждения ему учёной

степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Соискатель имеет 23 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; восемь статей – в базах Scopus и Web of Science). Общий объём публикаций составляет 11,06 п.л., авторский вклад 7,63 п.л. (69%). Из публикаций лично соискателю принадлежат: математическая модель объектоцентрического движения КА с ЭРДУ с учётом гравитационного воздействия Солнца и объекта исследования неправильной формы; алгоритм определения параметров математической модели гравитационного поля объекта исследования неправильной формы в случае использования двух притягивающих точек; вычислительная процедура формирования оптимального номинального управления на гелиоцентрическом участке движения с использованием условий трансверсальности для определения начального приближения для оптимальной даты старта; методика формирования номинального управления на объектоцентрическом участке движения для межорбитальных переходов и поддержания заданной орбиты; результаты применения разработанных моделей, методик, алгоритмов, вычислительных процедура и программных комплексов к баллистическому проектированию миссий КА с ЭРДУ к комете Чурюмова-Герасименко и астероиду 433 Эрос. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые работы:

1. **Сергаева, Е.А.** Использование тяжёлого космического аппарата с двигателями малой тяги для отклонения астероида от опасной траектории [Текст] / Е.А. Сергаева, О.Л. Старинова // Вестник Московского авиационного института. - 2019. - Т. 26, № 2. - С. 166-174. (научная статья 1,12/0,56 п.л.).

2. Старинова, О.Л. Проектно-баллистический анализ миссии длительного исследования астероида Апофис наноспутником с электроракетной двигательной установкой [Текст] / **Е.А. Сергаева**, О.Л. Старинова, А.Ю. Шорников // Космические аппараты и технологии. 2020. Т. 4, № 3 (33). С. 161-170. (научная статья 2,5/1,25 п.л.).

3. **Nikolaeva, E.A.** etc. Ballistic and design of nano-class spacecraft for asteroid exploration [Текст] / E.A. Nikolaeva, O.L. Starinova, A.U. Shornikov, I. V. Chernyakina, Ya. S. Kiunov // Proceedings of 9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies, RAST 2019. 2019. (научная статья 0,75/0,38 п.л.).

4. **Sergaeva, E.A**. Motion control of spacecraft with low-thrust engines for a flight to a Near-Earth asteroid [Текст] / E.A. Sergaeva, O.L. Starinova // 28th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2021. – 2021. (научная статья 2,5/1,25 п.л.).

5. Starinova, O. Motion control of an electric propulsion observation spacecraft in a irregular gravitational field [Текст] / **E. Sergaeva**, O. Starinova, C. Danhe, R. Khabibullin, I. Chernyakina // Proceedings of ITNT 2022 - 6th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology. - 2022 (научная статья 1,12/0,56 п.л.).

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов.

1. ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», г. Омск, подписан руководителем ИНОЦ «Космическая экология», д.т.н., профессором кафедры «Авиа- и ракетостроение» Трушляковым В.И. Замечания: В цели диссертационной работы, вероятно, пропущена фраза: «разработка методики баллистического проектирования миссий КА с ЭРДУ к малым телам неправильной формы Солнечной системы, позволяющей повысить эффективность космических исследований». Являются ли полученные в диссертационном исследовании результаты согласованными с результатами, полученными в известных методах баллистического проектирования миссий по изучению малых тел Солнечной системы? В автореферате не указано, в чем заключается теоретическая значимость работы? Пояснения к обозначениям, входящих в формулы (1-4, 6-7) и рисунки 1, приведены не полностью. На рисунке 2 отсутствуют буквенные обозначения частей рисунка (а, б) и формула, по которой определялся радиус второго сегмента сферы астероида r_2. На рисунках 5-6, 8-9 также отсутствуют буквенные обозначения частей рисунка (а, б).

2. АО «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», г. Королёв, подписан начальником Центра автоматических космических систем и комплексов, д.т.н. Твердохлебовой Е.М. Замечания: В автореферате не указано, применим ли алгоритм определения параметров

математической модели гравитационного поля объекта исследования неправильной формы для любого малого тела или нет. В автореферате не приводится сравнительный анализ существующих методик определения гравитационного поля исследуемого тела, нет обоснования, почему используется данная методика. Математические модели, рассматриваемые в работе, не учитывают влияния планет Солнечной системы.

3. ФГБУН «Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», г. Самара, подписан заместителем директора по научной работе, к.т.н. Соколовым В. О. Замечание: Из автореферата неясно, проводилось ли сравнение с другими методами баллистического проектирования к малым телам Солнечной системы. В автореферате не приведены исходные и целевые данные для численного моделирования перелётов.

4. АО «Государственный ракетный центр имени академика В.П. Макеева», подписан начальником отдела баллистики, к.т.н. Степановым В.В. Замечания: не приведены количественные оценки, обосновывающие необходимость учёта гравитационных возмущений от объекта исследования (малого небесного тела) на гелиоцентрическом участке полёта КА. Не представлено теоретическое обоснование возможности вычисления расстояния между точечными массами в модели гравитационного поля малого небесного тела неправильной формы на основе условия динамического равновесия системы двух точечных масс в рамках ограниченной задачи трёх тел (Рисунок 2а). Не приведены количественные оценки, обосновывающие необходимость учёта гравитационного воздействия Солнца на КА при объектоцентрическом движении (формула (3)).

5. ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, подписан заместителем заведующего кафедрой «Летательные аппараты» начальником центра ракетно-космической техники имени академика В.П. Макеева, к.т.н., доцентом Федоровым В..Б. Замечания: Имеется повторение слов «с использованием» стр. 14. При описании моделирования маневра поддержания орбиты сказано, что имеются колебания радиуса орбиты до 500 м. На рисунке 10 показаны колебания соответствующей величины в пределах 0,5 м и видно, что процесс идёт с увеличением величины отклонения радиуса орбиты. В связи с этим не ясно, стабилизируется ли процесс и за какое время.

6. ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, подписан доцентом кафедры «Радиоэлектроника и системы связи», к.т.н. Дударевым Н.В. Замечания: На рисунке 6 мелкий шрифт подписи осей. Хотелось бы порекомендовать увеличить. В автореферате не описано, с помощью каких методов проводилось интегрирование и с какой точностью.

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 Сергаевой Е. А. учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Выбор Ивашкина Вячеслава Васильевича в качестве официального оппонента по диссертации обосновывается тем, что является одним из самых известных исследователей в области динамики космического полёта, проблем обеспечения астероидно-кометной безопасности.

Выбор Симонова Александра Владимировича в качестве официального оппонента по диссертации обосновывается с тем, что он является крупным специалистом в области баллистики средств выведения и межпланетных космических аппаратов.

Выбор ведущей организации связан с широко известными достижениями её специалистов в областях: управление движением космических аппаратов, динамика движения летательных аппаратов, космической физики, физики планет и малых тел Солнечной системы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны математическая модель объектоцентрического движения КА с электроракетной двигательной установкой (ЭРДУ), впервые учитывающая гравитационное воздействие Солнца и объекта исследования неправильной формы и алгоритм определения параметров математической модели гравитационного поля объекта исследования неправильной формы в случае использования двух притягивающих точек;

разработаны новые вычислительная процедура формирования оптимального номинального управления на гелиоцентрическом участке движения с использованием условий трансверсальности для определения начального приближения для оптимальной даты старта и методика формирования номинального управления на объектоцентрическом участке движения, в том числе для межорбитальных переходов и поддержания заданной орбиты;

разработаны программные комплексы, обеспечивающие автоматизацию баллистического проектирования миссий к малым телам Солнечной системы, формирование номинальных программ управления, моделирование и визуализацию управляемого движения;

описаны результаты расчётов с использованием разработанных алгоритма определения параметров математической модели гравитационного поля объекта исследования неправильной формы в случае использования двух притягивающих точек, вычислительной процедуры, методики и программы баллистического проектирования миссий к малым телам Солнечной системы, формирование номинальных программ управления, моделирование и визуализацию управляемого движения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

разработана методика формирования номинального управления на объектоцентрическом участке движения, в том числе для межорбитальных переходов и поддержания заданной орбиты.

представлены результаты использования принципа максимума Понтрягина для определения номинального оптимального управления на гелиоцентрическом участке движения.

изучены и проанализированы методы баллистического проектирования миссии КА с ЭРДУ к комете Чурюмова-Герасименко на примере миссии Rosetta.

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

разработана методика выбора программы управления на объектоцентрическом участке движения для тел, форма которых значительно отличается от сферических;

разработана вычислительная процедура оптимизации гелиоцентрического участка траектории полёта КА с ЭРДУ для

проектирования миссий к малым телам Солнечной системы, орбиты которых часто имеют эксцентриситет, значительно отличающийся от нуля, а их плоскости лежат вне плоскости эклиптики;

определены характеристики траекторий на гелиоцентрическом и объектоцентрическом участках для миссий к астероиду 433 Эрос и комете Чурюмова–Герасименко;

разработаны программы, реализующие построение и оптимизацию программ номинального управления, моделирование и визуализацию управляемого движения, и которое может быть использовано при проектировании и оптимизации траекторий КА к различным малым телам Солнечной системы.

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 в окрестности малых тел Солнечной системы.

Личный вклад соискателя состоит в:

в разработке математической модели объектоцентрического движения КА с ЭРДУ с учётом гравитационного воздействия Солнца и объекта исследования неправильной формы, разработке алгоритма определения параметров математической модели гравитационного поля объекта исследования неправильной формы в случае использования двух притягивающих точек, в разработке вычислительной процедуры формирования оптимального номинального управления на гелиоцентрическом участке движения с использованием условий трансверсальности для определения начального приближения для оптимальной даты старт и методики формирования номинального управления на объектоцентрическом участке движения для межорбитальных переходов и поддержания заданной орбиты, в анализе результатов применения разработанных моделей, методик, алгоритмов, вычислительных процедур и программных комплексов к

баллистическому проектированию миссий КА с ЭРДУ к комете Чурюмова-Герасименко и астероиду 433 Эрос, 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 задачи баллистического проектирования миссий космического аппарата с электроракетной двигательной установкой к малым телам Солнечной системы, имеющей существенное значение для космических исследований.

На заседании 19 апреля 2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Сергаевой Елизавете Андреевне учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета 24.2.379.03
д.т.н., профессор, академик РАН Шахматов Евгений Владимирович

Учёный секретарь
диссертационного совета 24.2.379.03
к.т.н., доцент Крамлих Андрей Васильевич

19.04.2024