

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.379.03
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 3 марта 2023 года, № 2
о присуждении Филиппову Григорию Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Формирование Парето-оптимальных номинальных программ управления относительным движением космического аппарата с конечной тягой на околокруговых орбитах», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов принята к защите 27 декабря 2022 г. (протокол заседания № 14) 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, внесёнными приказом от 07.07.2021 г. № 670/нк.

Соискатель Филиппов Григорий Александрович, 1991 года рождения, в 2013 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королева (национальный исследовательский университет)» с присуждением квалификации инженер по специальности «Компьютерные системы управления качеством для автоматизированных производств».

В 2019 г. освоил 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 подготовки 24.06.01 – Авиационная и ракетно-космическая техника с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель–исследователь».

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, профессор Ишков Сергей Алексеевич, профессор кафедры динамики полёта и систем управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева».

Официальные оппоненты: **Константинов Михаил Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры 601 «Космические системы и ракетостроение»; **Гришко Дмитрий Александрович**, кандидат физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», доцент кафедры ФН-3 «Теоретическая механика» им. профессора Н. Е. Жуковского – дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Саратовский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНЦ РАН), г. Саратов, в своём положительном заключении, подписанном заведующим лабораторией «Анализ и синтез динамических систем в прецизионной механике», главным научным сотрудником доктором физико-математических наук Барулиной Мариной Александровной; старшим научным сотрудником кандидатом физико-математических наук Панкратовой Еленой Владимировной и утверждённом директором ФИЦ СНЦ РАН доктором технических наук, профессором Кушниковым Вадимом Алексеевичем, указала, что диссертационная работа Филиппова Григория Александровича является законченной научно-квалификационной работой. Работа выполнена на высоком научной уровне и удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а её автор – Филиппов Григорий Александрович 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 опубликовано 7 работ; из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы; 4 статьи – в изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science. Общий объем публикаций составляет 10,1 п. л., авторский вклад 6,2 п. л. (61%). Из публикаций лично соискателю принадлежат: математическая модель относительного движения космического аппарата, инвариантная к параметрам опорной орбиты и величине ускорения от тяги маневрирующего космического аппарата; оптимальные программы управления и структуры управления относительным движением по критерию минимум затрат моторного времени при фиксированном общем времени, полученные методом принципа максимума Понтрягина; алгоритмы двухкритериальной оптимизации параметрических программ управления в рамках теории эффективности Парето по критериям минимум моторного времени и минимум общего времени; аналитические соотношения для расчёта размеров активных участков параметрических программ управления, определены области граничных условий, допускающие их применение, получены аналитические соотношения для расчёта предельных затрат моторного и общего времени.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Наиболее значимые работы:

1. **Филиппов, Г. А.** Номинальная программа управления сближением космического аппарата – сборщика мусора с электроракетным двигателем малой тяги на геостационарной орбите [Текст] / С. А. Ишков, **Г. А. Филиппов**, А. А. Храмов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18. – № 4(46). – С. 1215-1222. (научная статья 0,87 / 0,48 п. л.)
2. **Филиппов, Г. А.** Итерационная процедура выбора программы управления сближением с малой тягой в задаче утилизации космического мусора на геостационарной орбите [Текст] / **Г. А. Филиппов** // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2017. – Т. 16, – No 3. – С. 125-137. (научная статья 0,87 п. л.)
3. **Filippov, G. A.** Nominal control program in problem of far rendezvous at geostationary orbit with low transversal thrust (= Номинальная программа управления в задаче дальнего сближения на геостационарной орбите с малой трансверсальной тягой) / S. A. Ishkov, **G. A. Filippov**, P. V. Fadeenkov // AIP Conference Proceedings. – 2018. – № 2046. (научная статья 0,56 / 0,38 п. л.)
4. **Filippov, G. A.** Autonomous Control Program for Special Spacecraft Debris Collector Rendezvous Transfer with Fragment of Space Debris with Low Thrust (= Автономная программа управления сближением специальным космическим аппаратом сборщиком мусора с фрагментом космического мусора с малой тягой) /

S. A. Ishkov, G. A. Filippov, A. A. Khramov // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 185. – С. 388-395. (научная статья 0,5 / 0,32 п. л.)

На диссертацию и автореферат поступило 7 отзывов.

1. Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс» (г. Самара), утверждён первым заместителем генерального директора – генеральным конструктором, д.т.н. Ахметовым Р. Н. Замечания: 1) Задачи выбора номинального управления исследованы недостаточно полно. Автор уделяет большое внимание исследованию начальных вековых параметров движения на величину критериев задачи и структуру управления, а влияние периодических характеристик на указанные факторы рассмотрено поверхностно. 2) При формировании исходных данных не рассмотрен вариант с ненулевым боковым смещением целевой орбиты относительно начальной.

2. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», подписанный д.т.н., профессором, профессором кафедры «Авиа- и ракетостроение» Трушляковым Валерием Ивановичем. Замечания: 1) Из работы не ясно, каким образом в модели 1 были учтены параметры орбитального движения КА1 для околокруговых эллиптических орбит с эксцентриситетом менее 0,1 и определены методические ошибки при расчёте сближения с КА, находящимся на эллиптической орбите. 2) Также не ясна, насколько близка к оптимальной программа сближения с тремя включениями тяги за один виток, если оптимальным является включение в двух точках, находящихся на линии апсид.

3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», подписанный заместителем директора по научной работе к.т.н. Соколовым В. О. Замечания: 1) Обычно, при решении подобных задач используется система уравнений движения в оскулирующих элементах, автор использовал систему уравнений движения в орбитальной цилиндрической системе координат, уравнения которой сведены к малоизвестным новым переменным и не привёл никакой связи новых переменных с общеизвестными. 2) В тексте автореферата имеется неточность – на стр. 7 через λ обозначена угловая скорость, а на рисунке 7 этим же символом обозначено отклонение от точки стояния.

4. Акционерное общество «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева», подписанный ведущим конструктором сектора отдела К103, к.ф.-м.н. А. А. Давыдовым, утверждённый первым заместителем генерального конструктора КБ «Салют» им. В. М. Мясищева АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» д.т.н., профессором А. В. Владимировым. Замечания: 1) Автору при использовании термина

«свободная ориентация вектора тяги» следовало бы уточнить, что в работе в целом рассматриваются задачи управления относительным движением КА для случая совпадения плоскостей орбит маневрирующего и пассивного КА. 2) Для уравнений аналитического решения в безразмерном виде (4) не приведено описание параметра ψ . 3) В четвертой главе автором приводится оценка методических ошибок, обусловленных наличием не учтённых возмущений. При этом в нелинейной модели учитывается только вторая зональная гармоника гравитационного поля Земли. Такая модель для рассматриваемой геостационарной орбиты, на наш взгляд, не совсем актуальна. Вторая зональная гармоника не оказывает существенного влияния на движение спутников на орбитах с околонулевым наклоном; вместе с тем, автор не учитывает возмущения от гравитационного притяжения Луны и солнечного света, которые на геостационарных орбитах оказывают заметное влияние на движение КА. 4) Учитывая отмеченную в автореферате эффективность двухкритериального подхода к решению важной практической задачи приведения КА в точку стояния на геостационарной орбите, можно было бы дополнить автореферат указанием на практическое применение разработанного подхода, например, актом о внедрении или свидетельством о регистрации программы.

5. Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина», утверждённому заместителем генерального директора по научной работе д.т.н., профессором С. Н. Шевченко. Замечания: 1) Модель движения КА учитывает только вторую зональную гармонику гравитационного поля Земли. Считаю, что для более точного анализа движения спутника на геостационарной орбите следовало бы учитывать возмущения от притяжения Луны и Солнца, а также от гравитационного поля Земли с разложением в ряд по сферическим функциям хотя бы до 8 порядка. 2) Текст автореферата составлен неудачно и его сложно воспринимать. Автор уделил много внимания обзору литературы по рассматриваемому вопросу, но при этом привёл очень мало практических результатов самой работы. Таблица 1 с исходными данными расположена после рисунка 3 с результатами, что усложняет понимание материала. Линии графиков на рисунках 3 и 4 сливаются. Варианты «Б» и «В» рисунка 3 можно было бы вынести на отдельный рисунок, а на рисунке 4а показать разность между расстояниями, а не сами расстояния. На рисунке 7 графики всех параметров изображены линиями одного цвета и стиля. 3) В тексте присутствует пара опечаток: стр. 13 в 5 строке снизу в трансверсальной направлении вместо трансверсальноМ; стр. 15 в строке 5 снизу «сравнение ... показал» вместо «показалО».

6. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук,

подписанный старшим научным сотрудником лаборатории № 38 «Управление по неполным данным», к.ф.-м.н. А. С. Самохиным. Замечания: 1) В качестве возмущений учитывается лишь центральное гравитационное поле основного притягивающего центра в первой главе и отклонение в начальных условиях при учёте второй зональной гармонике гравитационного поля Земли в 4-й. Не рассмотрено влияние других возмущающих сил и неточностей в знании положения, ориентации, скорости космического аппарата, возможных ошибок исполнения управления. 2) В автореферате используются такие понятия как «двигатели конечной тяги», «моторное время», не являющиеся распространёнными и общепринятыми, что несколько затрудняет восприятие. 3) Автореферат содержит ряд опечаток, например, на странице 4 отдельно написано «несмотря», на 8 странице дважды введено общее и моторное время, на 10-й странице с ошибкой написано слово «максимум», пропущены запятые в формулах (18), (20), к рисунку 7 приведена несогласованная подпись.

7. Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», подписанный профессором кафедры «Электропривод и промышленная автоматика», директором проблем надежности механических систем д.т.н., профессором Кузнецовым П. К. Замечания: 1) Приведённая математическая модель, по мнению автора, инвариантна к параметрам опорной орбиты и величине ускорения от тяги маневрирующего космического аппарата. Однако автор приводит расчёт только для геостационарной орбиты. Целесообразно было бы выполнить расчёт и для других околокруговых орбит. 2) Автором никак не рассмотрена практически важная задача сужения множества Парето.

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 Филиппову Григорию Александровичу учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Выбор Константинова Михаила Сергеевича 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.

Выбор Гришко Дмитрия Александровича в качестве официального оппонента по диссертации связан с тем, что он является опытным специалистом

в области динамики и управления 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:

предложены параметрические программы управления относительным движением с двумя и тремя включениями тяги в трансверсальном направлении и проведено их сравнение с оптимальными, отличающиеся от ранее разработанных фиксированным числом и направлением включений тяги;

разработан алгоритм построения множества оптимальных по Парето программ управления относительным движением с двумя и тремя включениями тяги в трансверсальном направлении по критериям минимума моторного времени и минимума общего времени, отличающийся от ранее представленных наличием множества решений задачи при фиксированных граничных условиях;

доказана область применения параметрических программ управления с двумя и тремя включениями тяги в трансверсальном направлении;

выведены аналитические соотношения для расчёта размеров активных участков параметрических программ управления и аналитические соотношения для расчёта предельных затрат моторного и общего времени.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность двухкритериальной оптимизации параметрических программ управления относительным движением космического аппарата.

применительно к проблематике диссертации результативно использован принцип максимума Понтрягина, позволивший определить структуру оптимального управления относительным движением космического аппарата со свободной и трансверсальной ориентацией вектора тяги.

изучено влияние ограничений по углу ориентации вектора тяги на критерий задачи и показано, что целесообразно ограничиться исследованием случая управления с трансверсальной ориентацией вектора тяги, так как увеличение критерия, обусловленное наложением ограничений на управление, составило менее пяти процентов.

изучено влияние методических ошибок, обусловленных линеаризацией уравнений движения, на величины критериев двухкритериальной задачи и

показано, что во всех рассмотренных случаях их изменение не превышает одного – двух процентов.

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

предложены номинальные параметрические программы управления относительным движением космического аппарата с двумя и тремя включениями тяги в трансверсальном направлении;

разработан алгоритм построения множества оптимальных по Парето номинальных программ управления относительным движением по критериям минимума моторного времени и минимума общего времени;

сформулированы выводы и практические рекомендации по использованию разработанных алгоритмов управления относительным движением космического аппарата.

Разработанные методика и алгоритмы управления внедрены в учебный процесс в ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» при подготовке выпускных квалификационных работ магистров (направление подготовки 24.04.02 – Системы управления движением и навигация).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для численных исследований подтверждена эффективность предложенных параметрических программ управления относительным движением с использованием нелинейных моделей движения;

теория построена на известных методах построения программ управления (принцип максимума Понтрягина);

полученные результаты не противоречат и согласуются с известными результатами по исследованию номинального управления относительным движением, полученными другими авторами.

Личный вклад соискателя состоит в: разработке методов и алгоритмов управления, в аналитических преобразованиях при построении математических моделей относительного движения и при получении аналитических оценок, в написании исходного кода программ моделирования относительного движения, в проведении численных расчётов, в анализе результатов моделирования, в обработке и интерпретации результатов численных исследований, 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 Филиппов Г. А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привёл собственную аргументацию.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты.

На заседании 3 марта 2023 г. диссертационный совет за решение актуальной задачи двухкритериальной оптимизации управления относительным движением космического аппарата с конечной тягой на околокруговых орбитах, имеющей существенное значение для космических исследований принял решение присудить Филиппову Григорию Александровичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета 24.2.379.03



Шахматов Евгений Владимирович

Учёный секретарь
диссертационного совета 24.2.379.03

3.03.2023

Крамлих Андрей Васильевич