



Госкорпорация «Роскосмос»
Акционерное общество
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР имени М.В. ХРУНИЧЕВА»
(АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»)

Новозаводская ул., д. 18, г. Москва, 121309, тел.: 8 (495) 797-33-33,
Тел.: 8 (499) 749 83 43, Тел/факс: +7 (499) 749 92 31, факс: 8 (495) 797-33-33 доб. 506-91,
e-mail: agd@khrunichev.ru, <http://www.khrunichev.ru>
ОГРН 5177746220361, ИНН/КПП 7730239877/773001001

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель
генерального конструктора

КБ «Салют» им. В.М. Мясищева
АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,
д.т.н., проф.



А.В. Владимиров

« » _____ 2023 г.

ОТЗЫВ

АО «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева»

на автореферат диссертации Филиппова Григория Александровича на тему: «Формирование Парето-оптимальных номинальных программ управления относительным движением космического аппарата с конечной тягой на околокруговых орбитах», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)»

Диссертационная работа Филиппова Г. А. посвящена разработке методики двухкритериальной оптимизации номинальных программ управления относительным движением космического аппарата с двигателем конечной тяги. Задачи управления относительным движением центра масс маневрирующего космического аппарата в окрестности другого, пассивного, аппарата находят широкое применение в задачах организации группового полёта, задачах сближения и стыковки, приведения космического аппарата в точку стояния. В настоящее время ведётся активная работа по созданию орбитальных группировок, включающих большое количество малых космических аппаратов, оснащённых, как правило, двигателями малой тяги. Вместе с тем, увеличиваются сроки активного существования космических аппаратов,

Входящий № 211-1199
Дата 27 ФЕВ 2023
Самарский университет

вследствие чего важными становятся вопросы проведения их инспекции и текущего ремонта, а также утилизации отработавших космических аппаратов. Принимая во внимание перечисленные обстоятельства, задача, рассматриваемая автором, является **актуальной**.

Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются цели и задачи исследования, определяется научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Автором проведено достаточно глубокое исследование современного состояния моделей и методов решения задач выбора номинального управления относительным движением.

Первая глава посвящена анализу основных результатов исследований в области управления относительным движением КА. Приведены типовые постановки задачи оптимизации номинального управления – минимизация общей продолжительности относительного движения или минимизация суммарных затрат характеристической скорости при заданной продолжительности манёвра. Автором разработана математическая модель относительного движения космического аппарата, инвариантная к параметрам опорной орбиты и величине тяги, а также поставлена задача двухкритериальной оптимизации – определения оптимального управления, минимизирующего как затраты моторного, так и общего времени манёвра.

Во второй главе, с привлечением принципа максимума Понтрягина, получены серии решений задачи оптимального управления относительным движением космического аппарата, определены структуры оптимального управления и получены релейные функции управления с двумя и тремя включениями тяги в трансверсальном направлении. Для рассмотренных вариантов управления приводится оценка минимальных затрат моторного времени. Автором получены аналитические соотношения для расчёта параметров управления как по вековым и периодическим составляющим относительного движения по отдельности, так и по всем составляющим одновременно. Приведены примеры траекторий и оптимального управления со свободной и трансверсальной ориентацией тяги.

В третьей главе разработаны алгоритмы оптимизации номинального параметрического управления по критериям минимума моторного и общего времени в рамках теории эффективности Парето. Автором рассмотрены два варианта управления – случаи свободной и трансверсальной ориентации вектора тяги. Для последнего варианта получены аналитические соотношения для определения минимального моторного времени относительного движения. Автором впервые получены аналитические соотношения для расчёта размеров активных участков параметрических программ управления как функции граничных условий, которые позволили аналитически рассчитать границы множества оптимальных по Парето решений задачи, а также дана оценка предельных значений затрат моторного и общего времени. Приведено строгое математическое обоснование характера зависимости предельного изменения размеров эллипса относительного движения от числа включений

тяги КА. Выполнено сравнение полученных параметрических программ управления с оптимальными.

Четвертая глава посвящена решению практической задачи приведения космического аппарата в точку стояния геостационарной орбиты в двухкритериальной постановке. Автором определены актуальные с практической точки зрения варианты граничных условий, для которых найден соответствующий набор решений, часть из которых эффективны по Парето, что является новым практически важным результатом.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна диссертационной работы состоит в построении инвариантной математической модели относительного движения КА, получении аналитических решений задачи оптимального управления относительным движением КА с последующим определением структуры параметрических программ управления. Автором получены аналитические соотношения для расчёта параметрических программ управления и определения области допустимых граничных условий, а также аналитические соотношения для расчёта предельных затрат моторного и общего времени. Разработан алгоритм построения множества оптимальных по Парето номинальных программ управления относительным движением с различным количеством включений тяги в трансверсальном направлении в двухкритериальной постановке.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением известных численных методов решения краевых задач оптимального управления, известных методов численного интегрирования, сравнением результатов, полученных в диссертации, с результатами, полученными другими авторами.

Судя по информации, приведённой в автореферате, работа достаточно **апробирована** – представлена на многих научных конференциях. Результаты работы опубликованы в различных изданиях, в том числе, входящих в перечень ВАК РФ и индексируемых Scopus/WebOfScience.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в решении задачи приведения КА в точку стояния на геостационарной орбите в двухкритериальной постановке. В работе на примере полученного множества оптимальных по Парето программ управления показана эффективность двухкритериального подхода к оптимизации траекторий относительного движения для типовой задачи управления геостационарными КА.

К **недостаткам** работы на наш взгляд следует отнести следующее:

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 околоуловым 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.

Указанные недостатки не снижают научного уровня диссертации, её научную и практическую ценность.

Судя по автореферату, по своему научному уровню и достигнутым практическим результатам диссертационная работа Филиппова Григория Александровича «Формирование Парето-оптимальных номинальных программ управления относительным движением космического аппарата с конечной тягой на околокруговых орбитах» является законченной научно-квалификационной работой и заслуживает положительной оценки, а её автор – присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)».

Ведущий конструктор сектора отдела К103
КБ «Салют» им. В.М. Мясищева
АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», к.ф.-м.н.


А.А. Давыдов

Подпись Давыдова А.А. удостоверяю
Первый заместитель генерального конструктора
КБ «Салют» им. В.М. Мясищева
АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», д.т.н, проф.




А.В. Владимиров

Я, Давыдов Алексей Алексеевич, не возражаю против включения своих персональных данных в аттестационные документы соискателя учёной степени кандидата наук Филиппова Г. А. и их дальнейшую обработку в соответствии с требованиями ВАК.

Адрес организации: 121309 г. Москва, ул. Новозаводская д. 18, тел.: +7(499) 749-33-33, e-mail: adg@khrunichev.ru

Ведущий конструктор сектора отдела К103
КБ «Салют» им. В.М. Мясищева
АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», к.ф.-м.н.


А.А. Давыдов