



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

№ КБС-012044-УСХ
от 24.08.2022г.

На №604-10-306
от 01 июня 2022 г.

В отдел Учёного и
диссертационных советов
Учёному секретарю
диссертационного совета 24.2.327.03
Старкову А.В.

125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4, МАИ

Уважаемый Александр Владимирович!

В ответ на Ваш исх. №604-10-306 от 01.06.2022 г. направляю Вам отзыв на автореферат диссертации Прутько А.А. на тему «Оптимальные по расходу топлива траектории переориентации крупногабаритных космических конструкций», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов (технические науки)» и принятой к защите диссертационным советом 24.2.327.03.

Отзыв рассмотрен и утвержден научно-техническим советом КБ «Салют» АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» 17 августа 2022 года (протокол №2290).

Приложение – отзыв на 4 листах, 2 экз., несекретно.

Заместитель генерального конструктора
КБ «Салют», к.т.н.

А.Г. Бахтин

Отдел документационного
обеспечения МАИ

25 08 22





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

« _____ » _____ 2022 г.



ОТЗЫВ

АО «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева»

на автореферат диссертации Прутько Алексея Александровича на тему:
«Оптимальные по расходу топлива траектории переориентации
крупногабаритных космических конструкций», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением
летательных аппаратов (технические науки)»

Работа Прутько Алексея Александровича посвящена решению задачи построения программной траектории пространственной переориентации крупногабаритной космической конструкции на околоразностной орбите, минимизирующей затраты топлива на проведение такого манёвра. Маневрирующим объектом в рассматриваемой работе является Международная космическая станция (МКС).

В процессе эксплуатации МКС, при выполнении некоторых динамических операций, таких как коррекция орбиты МКС или сближение с кораблями снабжения, необходимо проводить её переориентацию на большие углы. Реализованное в настоящее время бортовое алгоритмическое обеспечение МКС, по данным автора, позволяет выполнять подобные манёвры со значительными затратами ряда ресурсных параметров, таких как количество расходуемого топлива и число включений двигателей ориентации МКС. В диссертационной работе рассматривается проблема оптимизации таких разворотов с точки зрения минимизации затрат перечисленных ресурсов МКС.

В настоящее время МКС является активно функционирующим объектом, требующим непрерывного и надёжного поддержания в работоспособном состоянии. Указанные обстоятельства в сочетании с высокой стоимостью доставки топлива и ограниченным ресурсом двигателей ориентации МКС обуславливают **актуальность** представленной работы.

Научная новизна работы заключается в применении псевдоспектральных методов для приведения сформулированной оптимизационной задачи управления ориентацией МКС при помощи реактивных двигателей к задаче нелинейного математического программирования, численное решение которой позволило найти траектории переориентации МКС, оптимизирующие расход топлива, а также получить циклограммы включений двигателей для реализации найденных траекторий.

Достоверность приведенных в автореферате результатов обеспечивается применением корректных математических моделей и известных численных методов представления функций на квадратурной сетке, а также фактом успешного проведения на МКС лётных испытаний по переориентации с применением найденных траекторий. Результаты испытаний показали существенную экономию топлива по сравнению с аналогичными манёврами, выполняемыми с использованием штатного алгоритмического обеспечения МКС.

Работа достаточно **апробирована** – представлена на десяти научных конференциях. Результаты работы опубликованы в 20 печатных работах, в том числе в 4 статьях в журналах, рекомендованных ВАК, 2 статьях – в изданиях, индексируемых Scopus, а также 14 публикаций в тезисах докладов и в сборниках статей конференций.

Из автореферата следует, что поставленная цель работы автором достигнута, получены новые результаты, которые были подтверждены летными испытаниями в рамках космического эксперимента, проведенного на МКС.

Практическая значимость работы заключается в существенном сокращении расхода топлива и экономии ресурса реактивных двигателей МКС при осуществлении пространственных разворотов по сравнению со штатной реализацией аналогичных маневров в виде эйлера разворота. По приведенной автором информации, при использовании штатного алгоритма разворота по кратчайшей траектории, для выполнения разворота по рысканью на 180 градусов затраты топлива составляют более 50 кг и количество включений двигателей достигает двух тысяч. В тоже самое время при развороте по предложенной автором траектории необходимый расход уменьшается до ~5 кг, а количество срабатываний двигателей уменьшается до ~400.

К недостаткам работы можно отнести следующее:

1. Как следует из автореферата, автором была реализована модель действующих на МКС аэродинамических сил и моментов, и дана оценка влияния данных возмущений в рассматриваемой задаче. При этом в автореферате отсутствуют материалы, иллюстрирующие полученное с учетом аэродинамических возмущений решение и его модельную реализацию. Сравнительная оценка реализаций таких решений с имеющимися в автореферате с точки зрения расхода топлива позволила бы сделать более аккуратный вывод о возможности исключения учета влияния атмосферы.

2. Минимизируемый функционал явным образом включает вектор управления, определяющий величину создаваемых двигателями ориентации управляющих моментов. При этом минимизация второго ресурсного ограничения – количества включений двигателей происходит неявным образом. В автореферате приводятся результаты, показывающие сокращение числа включений при использовании предлагаемых траекторий. Вместе с тем, не приводятся материалы, поясняющие и подтверждающие надежность полученных результатов в части сокращения количества включений двигателей ориентации МКС.

3. На странице 15, при перечислении варьируемых параметров, упоминается параметр атмосферы C^F , описание которого в автореферате не приведено.

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

Судя по автореферату, по своему научному уровню и достигнутым практическим результатам диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Прутько Алексей Александрович заслуживает присуждения ученой 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.

Алексей Алексеевич Давыдов

Адрес: г. Москва, ул. Новозаводская д. 18 Телефон: +7(499) 749-92-27
e-mail: salut@khrunichev.ru

Подпись Давыдова А.А. заверяю

Первый заместитель генерального конструктора КБ «Салют», д.т.н., проф.

А.В. Владимиров

