



**ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ КОРПОРАЦИЯ  
«ЭНЕРГИЯ» ИМЕНИ С.П. КОРОЛЁВА»  
(ПАО «РКК «ЭНЕРГИЯ»)**

Ленина ул., д. 4А, г. Королёв, МО, 141070  
Тел. +7 (495) 513-86-55, факс +7 (495) 513-86-20  
e-mail: post@rsce.ru; http://www.energiya.ru  
ОКПО 07530238; ОГРН 1025002032538  
ИНН/КПП 5018033937/997450001

02.10.2023 № 012-4/183

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
диссертационного совета  
Д 24.1.327.02,  
к.ф.-м.н. Широбокову М. Г.

---

ФГУ «ФИЦ Институт прикладной  
математики им. М.В. Келдыша РАН»  
125047, г. Москва, Миусская пл., 4

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Охитиной Анны Сергеевны «Построение трехосного магнитного управления ориентацией космических аппаратов с использованием метода роя частиц»**, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин

Диссертационная работа А.С. Охитиной посвящена разработке методики построения управления ориентацией космического аппарата. Для обеспечения его трехосной ориентации предлагается использовать только электромагнитную систему управления ориентацией. Применение магнитных катушек позволяет снизить стоимость миссии, но накладывает дополнительные ограничения на возможности реализации алгоритмов управления для достижения успеха в поставленных задачах – итоговая точность ориентации невысока – около 5-10 градусов в зависимости от целевой ориентации. Разработка алгоритмов управления для подобных систем усложняется необходимостью учитывать особенности применения магнитной системы управления ориентации – вдоль вектора геомагнитной индукции создать управляющий момент невозможно. В настоящее время использование магнитных катушек во многих миссиях для малых космических аппаратов является необходимым из-за невозможности использования маховиков или двигателей по различным причинам (высокая стоимость, необходимость исключить колебания системы). При расширении возможностей магнитной системы по обеспечению более высокой точности ориентации расширяется класс решаемых задач. В диссертационном исследовании решается актуальная задача создания алгоритмов, позволяющих повысить точность ориентации космических аппаратов с магнитными катушками.

Первая глава автореферата содержит описание двухэтапного подхода к построению управляемого углового движения КА с помощью магнитной системы

управления ориентацией. На первом этапе предлагается построить некоторое вспомогательное движение в окрестности целевой ориентации, необходимой для решения поставленной задачи, с учетом минимизации проекции управляющего момента на вектор магнитной индукции Земли. На втором этапе производится синтез закона управления на основе теоремы Барбашина-Красовского и численное определение оптимальных значений коэффициентов управления и оптимальных параметров вспомогательного движения с помощью метода роя частиц (метод глобальной оптимизации).

Во второй главе предложена адаптация методики к возмущенной задаче – учитываются различие моделей геомагнитного поля на этапе построения опорного движения и этапе численного моделирования, ошибки знания тензора инерции КА, ошибки знания модели взаимодействия КА с атмосферой Земли, а также влияние различных неучтенных возмущений случайной природы. Предлагаются дополнительные процедуры, которые позволяют частично учесть и уменьшить действие внешних возмущений на опорное движение и их влияние на матрицу системы. Во-первых, предлагается процедура поиска оптимальной модели, описывающей геомагнитное поле на некотором заранее заданном временном интервале, так, чтобы данное описание также задавалось периодической функцией времени, но имело меньшую погрешность, в сравнении с моделью прямого диполя. Во-вторых, для уменьшения ошибок реализации опорных движений, в момент переключения на следующий временной интервал производится «склейка» опорных движений, гарантирующая непрерывность управляющего момента. И, наконец, третья предложенная процедура, «сдвиг» коэффициентов управления, предполагает некую эмпирическую процедуру изменения найденных коэффициентов управления для сохранения асимптотической устойчивости в случае воздействия рассматриваемых возмущений.

В третьей главе приводятся примеры применения предложенной методики. Рассмотрена инерциальная, орбитальная и повернутая (относительно орбитальной) ориентация. Описана методика, на основе которой проводится выбор набора целевых функций в каждом случае. Продемонстрированы результаты численного моделирования.

Таким образом, задача, рассмотренная А.С. Охитиной в диссертационной работе, является актуальной в настоящее время, а методика, предложенная автором, безусловно, имеет большой потенциал для внедрения в будущие перспективные проекты, может быть применена при разработке алгоритмов управления на КА, оснащенных магнитной системой управления ориентацией.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает результаты выполненного исследования, имеется 6 публикаций по теме исследования и апробация на научных семинарах и конференциях.

Вместе с тем, по автореферату имеются следующие замечания:

1. В первой главе указано, что задача решается при допущении, что орбита является круговой кеплеровой, однако во второй главе при учете возмущений стоило бы рассмотреть влияние эволюции орбиты.
2. В автореферате нет обоснования, используемого в параметризации опорного движения, количества гармоник гравитационного поля Земли.
3. В третьей главе все результаты получены для одного значения наклона и высоты орбиты. Однако следовало бы рассмотреть пример применения методики с другим набором параметров орбиты – разных высот, наклонов и значений долготы восходящего узла. В частности, перспективной для рассмотрения является солнечно-синхронная орбита наклоном  $97^\circ$ , на которой в скором будущем будет размещена новая Российская орбитальная станция.

Стоит отметить, что указанные недостатки не снижают общую положительную оценку проделанного автором исследования. Работа «Построение трехосного магнитного управления ориентацией космических аппаратов с использованием метода роя частиц» удовлетворяет требованиям Положения ВАК (в текущей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин», а ее автор – Охитина Анна Сергеевна – заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

Начальник отдела баллистики ПАО «РКК Энергия»

доктор технических наук

Муртазин Рафаил Фарвазович

Инженер I категории ПАО «РКК Энергия»

аспирант

Иванов Георгий Михайлович

Подписи Муртазина Р.Ф. и Иванова Г.М. заверяю:

Начальник Службы организации научной деятельности 25С, главный ученый секретарь научно-технического совета Корпорации

«Ракетно-космическая корпорация «Энергия»

кандидат технических наук



Решетников Михаил Николаевич

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва. Московская область, г. Королев, 141070, ул. Ленина, д. 4а.

Тел. 8-495-513-6145,

E-mail: georgiy.ivanov11@rsce.ru