

ОТЗЫВ

официального оппонента
кандидата физико-математических наук Каленовой Веры Ильиничны
на диссертационную работу Охитиной Анны Сергеевны
«Построение трехосного магнитного управления ориентацией космических
аппаратов с использованием метода роя частиц»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин

Актуальность темы диссертации

Исследованию движения космических аппаратов (КА) с магнитным управлением посвящено множество работ российских и зарубежных ученых. Магнитные системы ориентации широко используются для решения различных задач стабилизации ориентации спутников. Малые КА предоставляют широкие возможности для испытания оборудования, тестирования новых алгоритмов, инженерных и технологических решений. Они имеют известные преимущества перед большими аппаратами. Для выполнения многих технических задач необходимо активное управление ориентацией, поэтому управление угловым движением КА является одной из наиболее важных задач динамики космического полета.

Для управления такими аппаратами часто используется электромагнитная система управления ориентацией, состоящая из трех взаимно перпендикулярных токовых катушек, которые взаимодействуя с внешним геомагнитным полем, создают управляющий механический момент. Малый вес и небольшой размер катушек делают использование электромагнитной системы экономически выгодным. Магнитный момент, реализуемый катушками, пропорционален векторному произведению вектора собственного магнитного момента и вектора геомагнитной индукции. По этой причине часть момента, направленная вдоль вектора геомагнитной индукции, в диссертационной работе считается возмущающим моментом, что с течением времени приводит к ошибкам реализации требуемой ориентации.

Широко используемым подходом при выборе закона управления, обеспечивающего устойчивость требуемой ориентации, является построение алгоритма, сформированного на основе прямого метода Ляпунова. В этом случае необходимо тем или иным способом подбирать коэффициенты линейной обратной связи в алгоритме управления. При подборе коэффициентов могут быть использованы различные подходы: линейно-квадратичный регулятор, управление с прогнозирующими моделями, применение нейронных сетей и т.д. Однако их реализация на борту КА может быть достаточно проблематичной из-за существенных вычислительных затрат.

В диссертационной работе предлагается следующий метод, состоящий в : классическом подходе к построению управления в виде линейной обратной связи на основе прямого метода Ляпунова и метода глобальной оптимизации – метода роя частиц.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, приложений, имеет общий объем 116 страниц. Список литературы содержит 90 наименований. Результаты диссертационной работы в полной мере отражены в 6 печатных работах, 4 из них – статьи в журналах, индексируемых в Scopus и/или Web of Science, 2 – статьи в сборниках трудов конференций, индексируемых в базах данных Scopus и/или Web of Science.

Введение содержит краткий обзор литературы и состояние работ по данной тематике. Представлены цели работы, обоснована новизна, указана практическая ценность и сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена задаче управления КА с помощью магнитной системы ориентации с целью достижения требуемой ориентации. Выписаны уравнения движения. Алгоритм решения задачи управления разбивается на два этапа.

На первом этапе определяется опорное движение из условия минимума проекции управляющего момента на направление геомагнитной индукции. Для решения задачи поиска опорного движения предлагается использовать метод роя частиц.

На втором этапе строится управление, обеспечивающее асимптотическую устойчивость опорного движения КА.

В качестве примера рассмотрен случай, когда требуемая (целевая) ориентация – орбитальная. Проводится численное моделирование, подтверждающее эффективность применения предложенной методики.

Во Второй главе рассматривается применение подхода к решению задачи ориентации, изложенного в I главе, при учете различных возмущений (методических,

приборных и вычислительных погрешностей). Предлагаются вспомогательные процедуры, позволяющие улучшить точность полученного решения, – процедура «склейки» опорных движений на различных временных интервалах, процедура «сдвига» коэффициентов управления вглубь от границ области устойчивости.

В Третьей главе предложенная методика применяется для решения задачи задачи управления ориентацией КА для некоторых заданных режимов. А именно:

«орбитальная ориентация», когда цель управления – совмещение связанной системы координат с орбитальной системой;

«косая ориентация», при которой цель – совмещение связанной системы координат с системой координат, оси которой заданы некоторыми углами относительно орбитальной системы;

«инерциальная ориентация», при которой цель – совмещение связанной системы координат с инерциальной системой координат.

Для каждого режима проведено подробное численное моделирование и исследовано влияние выбора целевой функции на точность решения.

В заключении сформулированы основные выводы диссертационной работы.

Приложения дополняют основную часть текста диссертации математическими выкладками.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Научная новизна результатов работы

- Предложена методика построения алгоритма трехосного магнитного управления, содержащая процедуру построения опорного движения, которая позволяет улучшить точность ориентации относительно заданной целевой ориентации.
- Предложены целевые функции и с помощью метода роя частиц решены задачи поиска оптимальных параметров опорного движения, оптимальных коэффициентов управления, а также оптимальных параметров дипольной модели.
- Предложена процедура «сдвига» коэффициентов управления вглубь области устойчивости, что позволяет уменьшить влияние некоторых методических ошибок.

Достоверность полученных результатов

Предложенная методика решения задач стабилизации основана на классических методах теории устойчивости. Полученные теоретические результаты

подтверждены подробным математическим моделированием как для модельных примеров, так и для конкретных прикладных задач.

Практическая значимость

Предлагаемый подход к решению задачи управления КА при помощи магнитных систем ориентации позволяет решать ряд конкретных задач ориентации КА.

Использование предложенной методики позволяет улучшить точность решения указанной задачи, уменьшив влияние некоторых методических ошибок путем применения вспомогательных процедур, состоящих в подборе оптимальных на некотором временном интервале параметров дипольной модели и благодаря процедуре «сдвига» коэффициентов управления вглубь от границ области устойчивости.

Замечания

К диссертации имеется ряд замечаний.

1. Избыток сокращений и отсутствие листа обозначений затрудняет чтение работы.
2. Отсутствует запись выражения для вектора индукции геомагнитного поля в явном виде как в основном тексте, так и в Приложении.
3. «Явный вид» матриц в линеаризованных уравнениях в Приложениях отсутствует.
4. Некоторые математические термины используются неаккуратно.

Например, «радиус-вектор КА» (стр.20), «...решение системы зависит от фундаментальной матрицы» (стр.28); «получим систему уравнений на параметры» (33 стр.); «Решение о перемещении частица принимает на основе ... знания о собственном лучшем положении» (стр.34); «поиск коэффициентов ляпуновского управления...» (стр.48) и т.д.

5. Отсутствует мотивация использования метода роя частиц. Нет информации о преимуществах и недостатках использования этого метода по сравнению с другими.

Вместе с тем, указанные недостатки **не влияют** на общую положительную оценку диссертационной работы. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне. Научные положения, выводы и результаты, сформированные в диссертации, являются **обоснованными**.

Заключительные выводы

Считаю, что диссертационная работа «Построение трехосного магнитного управления ориентацией космических аппаратов с использованием метода роя частиц» является законченной научно-квалификационной работой, по содержанию и представленным результатам **соответствует** паспорту специальности 1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин» и **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». Таким образом, соискатель – Охитина Анна Сергеевна – **заслуживает** присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин».

Отзыв составил официальный оппонент

Каленова Вера Ильинична

кандидат физико-математических наук (специальность 01.02.01 – «Теоретическая механика»),

доцент,

ведущий научный сотрудник Лаборатории навигации и управления, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Научно-исследовательский институт механики,

119192, Москва, Мичуринский просп., 1, НИИ механики МГУ, лаборатория 302.

E-mail: kalnova44@mail.ru

Тел: +7 (903) 617-58-86

«2» _октября_ 2023 г.

В.И. Каленова

Подпись официального оппонента В.И. Каленовой удостоверяю
И.О.директора НИИ механики МГУ имени М.В.Ломоносова

Подпись



Д.В. Георгиевский

печать