

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Карпенко Станислава Олеговича

«Исследование движения спутника с активной магнитной системой ориентации по информации от солнечного датчика», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика

Диссертационная работа посвящена научному обоснованию возможности управления ориентацией искусственного спутника Земли при помощи системы активных магнитных исполнительных органов с использованием информации от единственного датчика углового положения – солнечного датчика.

Несмотря на большое количество теоретических и прикладных работ, посвященных вопросам управления движением космических аппаратов относительно центра масс, до настоящего времени недостаточно внимания уделено алгоритмам, практически применимым в случаях нештатных ситуаций для обеспечения живучести спутника. Для разрабатываемых в настоящее время малых и сверхмалых космических аппаратов возможность многократного резервирования блоков системы управления ограничена и актуальной является задача функционального резервирования при которой функции отказавших устройств берут на себя другие элементы.

В частности для магнитной системы ориентации и стабилизации критическим является выход из строя магнитометра, являющегося основным источником информации о движении аппарата относительно геомагнитного поля. Актуальной задачей является поиск способов функционального резервирования магнетометра, например, при помощи информации об ориентации панелей солнечных батарей (СБ) на Солнце. Это важный с практической точки зрения аспект, поскольку ориентация СБ на Солнце является базовым служебным режимом, необходимым для обеспечения надежной зарядки аккумуляторных батарей космического аппарата. **Таким образом, задача разработки новых алгоритмов управления, позволяющих осуществлять разворот спутника в инерциальном пространстве с помощью магнитных катушек и солнечных датчиков, которую решает в своей работе С.О. Карпенко, является, безусловно, актуальной.**

Текст диссертации состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения.

Во введении автором приведен краткий анализ алгоритмов МСО с точки зрения теоретических исследований и прикладных применений.

В первой главе вводятся основные допущения, системы координат, описаны модели геомагнитного поля, введены переменные и параметры, выведены уравнения движения. Приведены рассуждения автора, на основе которых им был предложен новый закон управления.

Вторая глава полностью посвящена исследованию, на основе полученных ранее уравнений, алгоритма управления угловым движением космического аппарата, использующего показания солнечного датчика и магнитные исполнительные элементы. Алгоритм назван автором «S-dot», по аналогии с известным алгоритмом демпфирования угловой скорости вращения спутника «B-dot». К несомненным достоинствам работы следует отнести проведенный в данной главе аналитический анализ динамики осесимметричного спутника позволивший получить первые интегралы усредненных уравнений, определить положения равновесия и исследовать их устойчивость.

В третьей главе выполнено численное моделирование динамики спутника под управлением предложенного алгоритма с использованием уточненных моделей внешней среды.

Результаты продемонстрировали наличие аналогичных полученным в Главе 2 положений равновесия, что эквивалентно устойчивой ориентации на Солнце нормали к панелям СБ динамически вытянутого спутника, близкого к осесимметричному, что выполняется на практике во многих случаях. Это подтверждает работоспособность закона управления «S-dot» даже без допущений, используемых на этапе теоретического исследования. Отличительной особенностью диссертационной работы является наличие прикладных результатов, касающихся использования разработанного алгоритма в системе управления малого космического аппарата «Чибис-М». Приведенные в главе 3 результаты летных испытаний показывают достаточно высокую эффективность разработанного алгоритма, позволившего при выходе из строя двигателей-маховиков обеспечить точность ориентации спутника на Солнце не хуже 10 градусов, что достаточно для нормального функционирования системы электропитания аппарата.

Содержание диссертации соответствует выводам, сформулированным в заключении.

Список литературы из 50 источников достаточно полно отражает современное состояние исследования рассматриваемых автором задач и содержит ссылки на основные работы в данной области. Приложение содержит, в частности, подробное описание бортового программного комплекса аппарата Чибис-М.

В диссертационной работе автором получены следующие **новые результаты**:

- Построен новый алгоритм управления угловым движением космического аппарата при помощи магнитных исполнительных элементов, отличающийся тем, что в нем используется информация, получаемая от солнечного датчика;
- Для осредненных уравнений движения осесимметричного спутника под управлением нового алгоритма получен полный набор первых интегралов;
- Для спутника, близкого к осесимметричному, движущегося под управлением нового алгоритма найдены положения равновесия и исследована их устойчивость;
- Произведена адаптация алгоритма для использования в контуре управления нового микроспутника Чибис-М.

Теоретическая значимость полученных в диссертации результатов определяется тем, что получен полный набор первых интегралов для усредненных уравнений вращательного движения близкого к осесимметричному спутника под управлением нового алгоритма, а также тем, что в работе найдены асимптотически устойчивые положения равновесия вектора кинетического момента КА в инерциальном пространстве относительно направления на Солнце, и положения оси симметрии КА относительно оси кинетического момента, в зависимости от соотношения между главными моментами инерции спутника. Эти результаты важны с теоретической точки зрения, поскольку позволяют перейти к исследованию существования подобных положений равновесия и для более точных моделей внешней среды, аналитическое исследование которых затруднительно.

Практическая значимость работы определяется использованием разработанного алгоритма в составе бортового комплекса программ аппарата «Чибис-М», что позволило на поздних стадиях эксплуатации спутника после выхода из строя части двигателей-маховиков производить ориентацию панелей СБ и тем самым продлить срок службы аппарата на два месяца. Также практическая значимость работы подтверждается двумя патентами и двумя свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ.

Основные результаты диссертационной работы выполнены соискателем самостоятельно. По теме работы опубликовано 25 работ, из них 16 – в ведущих рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК РФ, международные базы Scopus (в том числе квартиля Q1) и Web of Science.

Достоверность всех полученных в диссертации результатов обеспечивается строгостью применяемых математических методов и подтверждается соответствием выбранных моделей движения аппарата и внешней среды общепринятым стандартам, результатами численного моделирования, подтверждающими полученные аналитические результаты,

сравнением полученных результатов с данными летных испытаний космического аппарата «Чибис-М».

По содержанию диссертации возникли следующие замечания:

1. В тексте диссертации отсутствуют выводы в конце каждой главы, что затрудняет восприятие работы.
2. В разделе 1.5 способ определения угла между направлениям на Солнце и вектором геомагнитной индукции описан недостаточно подробно. Это не позволяет проанализировать точность ориентации, которая достигается предложенным алгоритмом.
3. В разделе 3.2 нет информации о применявшемся методе численного интегрирования. Из текста работы не ясно насколько чувствительна исследуемая система уравнений движения к выбору параметров численной схемы, в частности к выбору шага интегрирования. Также в данном разделе нет сравнения результатов численного решения полной и осредненной систем уравнений движения.
4. В работе не исследуется вопрос о влиянии погрешности измерений солнечного датчика на точность ориентации спутника.

Указанные замечания не снижают моей общей положительной оценки диссертационной работы.

В целом диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей важное значение для развития методов управления космическими аппаратами. Диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне. Научные положения, выводы и результаты работы являются полностью обоснованными.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации, а основные результаты диссертации в достаточном объеме доложены на конференциях, научных семинарах и опубликованы в печати.

Считаю, что диссертационная работа «Исследование движения спутника с активной магнитной системой ориентации по информации от солнечного датчика» соответствует паспорту специальности, и удовлетворяет требованиям п.9. Положения ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Карпенко Станислав Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

Отзыв составил официальный оппонент

Щеглов Георгий Александрович

доктор технических наук по специальности 05.07.03 - Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов,

доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана),

профессор кафедры «Аэрокосмические системы».

105005, город Москва, улица Бауманская 2-я, дом 5, строение 1

Тел: +7(499)263-63-10

E-mail: shcheglov_ga@bmstu.ru

М 17.03.21

В Е Р Н О

Зам. начальника Управления кадров

МГТУ им. Н.Э. Баумана

А.Г. Матвеев

