

## ОТЗЫВ

Официального оппонента о диссертации С. О. Карпенко «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 С.О. Карпенко посвящена исследованию управляемого вращательного движения низкоорбитального спутника, оснащенного магнитной системой ориентации (МСО), в которой механический момент создается в результате взаимодействия токовых катушек с магнитным полем Земли. Закон управления МСО построен с использованием данных от солнечного датчика.

Актуальность представленного диссертационного исследования подтверждается тем, что предложенный автором алгоритм может иметь практическое применение для широкого спектра КА, оснащенных магнитной системой ориентации, в том числе – для управления в режиме одноосной ориентации спутника на Солнце. Подобные режимы движения обычно играют важную роль в обеспечении живучести КА, например, с точки зрения поддержания положительного энергобаланса КА в случае, если одноосная ориентация обеспечивает достаточную освещённость панелей солнечной батареи.

Работа состоит из введения и трех глав. **Во введении** проведено исследование российских и зарубежных работ в области управления вращательным движением спутников, оснащенных магнитными исполнительными органами. Приведен обзор как теоретических достижений в данной области, так и практических реализаций алгоритмов управления движением КА.

В первой главе приводятся описание осредненной модели геомагнитного поля, вводятся основные переменные и формулируется математическая модель, необходимые для дальнейшего исследования. Формируется принцип управления ориентацией спутника с МСО по информации о направлении на Солнце в связанной с КА системе координат.

Во второй главе сформулированная математическая модель приводится к виду, в котором закон управления выделен в правой части уравнений, с последующим введением малого параметра и разделением переменных на быстрые и медленные. Автором выполнен анализ полученной системы уравнений с использованием метода усреднения. При анализе использовался тот факт, что управляющий момент, создаваемый взаимодействием МСО с геомагнитным полем, является малым в смысле малого относительного изменения кинетического момента аппарата за один его оборот вокруг центра масс и за один орбитальный виток. Предложенный автором закон управления на основе измерений солнечного датчика является новым результатом, ранее в литера-

туре не описанным. **Важным теоретическим результатом** является приведенное автором доказательство утверждения о том, что ориентация вектора кинетического момента спутника в инерциальном пространстве, в случае реализации на борту предложенного алгоритма «S-dot» с течением времени стремится к одному из двух положений: либо совпадает с некоторым требуемым направлением (в частности – с направлением на Солнце), либо противоположна этому направлению. При этом ось максимального момента инерции КА будет направлена вдоль вектора кинетического момента. Данный результат был получен автором аналитически для упрощенной математической модели, описывающей вращательное движение КА.

В третьей главе полученные теоретические результаты подтверждаются численным моделированием с использованием достаточно детализированных моделей, что позволило перейти к реализации предложенного закона управления в программном обеспечении реального КА. **Практический интерес** представляет использование созданного алгоритма для МКА «Чибис-М». Разработанное автором бортовое программное обеспечение системы ориентации данного спутника позволило проверить работоспособность алгоритма в условиях космического полета, с учетом особенностей функционирования реальной аппаратуры на борту. Телеметрическая информация, полученная в процессе эксплуатации аппарата на интервалах времени работы алгоритма, подтвердила, что соответствующий закон управления действительно обеспечил ориентацию вектора кинетического момента спутника вдоль направления на Солнце, и при этом ось максимального момента инерции КА оказывалась направлена вдоль вектора кинетического момента, что соответствовало заданным требованиям к режиму ориентации панелей СБ КА «Чибис-М» на Солнце.

**Достоверность результатов** обеспечивается применением апробированных, математических моделей движения КА, применением классических аналитических и численных методов решения систем ДУ, методов исследования устойчивости, полунатурным моделированием, а также результатами анализа полученной в ходе лётной эксплуатации КА «Чибис-М» телеметрической информации.

**Автореферат полностью соответствует** содержанию диссертации.

Результаты диссертации докладывались на различных конференциях, были изложены в 25 научных публикациях, 16 из которых включено в перечень рекомендованных ВАК РФ. В ходе выполнения работы получено 4 патента. Список публикаций приведен в автореферате.

В качестве замечаний к диссертации можно упомянуть следующее.

В разделе 1.1 при описании системы координат, связанной с вектором кинетического момента спутника не отмечено, что ось  $L_2$  в предлагаемой по-

становке может иметь два направления, а в случае, когда вектор кинетического момента спутника перпендикулярен плоскости  $Z_1Z_2$ , матрица  $Q$  не определена.

Предложенный закон управления подразумевает необходимость наличия значительных угловых скоростей спутника. Это значит, что разработанный алгоритм может оказаться неработоспособным в случае, когда начальная абсолютная угловая скорость аппарата мала. Кроме того, в процессе длительной работы алгоритма угловая скорость вращения КА может превысить её начальное или некоторое критическое значение. Указанные особенности не всегда приемлемы для практической реализации алгоритма на КА.

Указанные замечания **не влияют** на общую положительную оценку работы. Диссертация выполнена на хорошем научно-техническом уровне. Научные положения, выводы и результаты работы являются полностью **обоснованными и актуальными**.

Работа «Исследование движения спутника с активной магнитной системой ориентации по информации от солнечного датчика» полностью **удовлетворяет** требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика, а ее автор – Карпенко Станислав Олегович – **заслуживает** присуждения ему степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составил официальный оппонент:

**Давыдов Алексей Алексеевич**

к.ф.-м.н. по специальности 01.02.01 – теоретическая механика,  
ведущий конструктор сектора АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,  
Адрес: 121309 Москва, ул. Новозаводская, д. 18.

Тел: +7(910)402-39-34

E-mail: [aleksey\\_ad@mail.ru](mailto:aleksey_ad@mail.ru)

/А.А. Давыдов/

Подпись официального оппонента Давыдова А.А. удостоверяю

Учёный секретарь НТС КБ «Салют» АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»,  
к.т.н



/А.А. Белкин/

18 марта 2021 г.