

Отзыв на автореферат диссертации

Шестакова Сергея Алексеевича тему: «**Методы построения и поддержания тетраэдральных спутниковых формаций**», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 - Теоретическая механика

В настоящее время одним из перспективных направлений фундаментальных космических исследований околоземной среды является использование малых космических аппаратов (КА) для исследования характеристик ионосферы и верхней атмосферы и, в частности, - магнитного и электрического полей Земли.

Поскольку характеристики околоземной среды меняются в пространстве и во времени, то несколько последовательных измерений, проведенных одним КА, не позволяют отличить пространственное изменение характеристик от временного. Для этого необходимы параллельные во времени измерения при помощи нескольких КА. Легко видеть, что минимальное число КА, необходимое для получения непрерывных измерений, позволяющих вычислить пространственные динамические характеристики околоземной среды, равно четырём (два КА, проводя одновременные измерения в разных точках орбиты, позволяют вычислить градиент характеристик среды лишь вдоль направления, соединяющего эти КА; три КА позволяют вычислить градиент по любому направлению в плоскости, проходящей через эти спутники, но не по направлению, ортогональному этой плоскости).

Таким образом, проектирование миссии по изучению, например, геомагнитного поля, электронной плотности ионосферы и т.п. неизбежно сталкивается с необходимостью развертывания, построения, поддержания и управления тетраэдральной формацией КА.

В этой связи **актуальность** разработки методического аппарата построения и поддержания тетраэдральных спутниковых формаций не вызывает сомнений.

Диссертация С.А.Шестакова посвящена разработке методики построения тетраэдральной формации из четырёх спутников на низкой околокруговой околоземной орбите.

В процессе диссертационного исследования автором были получены научные результаты, обладающие **новизной**:

1. Найдены необходимые и достаточные условия, накладываемые на начальные данные спутников в группе и обеспечивающие сохранение формы и размера тетраэдральной группировки в линейном приближении.

2. Разработана методика построения управления спутниками в группе на основе прямого метода Ляпунова и геометрических характеристик относительных опорных орбиты.

3. Построен алгоритм управления тетраэдральной спутниковой конфигурацией с помощью сил аэродинамического сопротивления, поддерживающий форму и размер тетраэдра.

Практическая значимость диссертационных исследований состоит в том, что полученные при этом результаты позволяют:

- на этапах проектирования миссии с использованием тетраэдральной спутниковой формации подобрать необходимые опорные орбиты;
- проводить трёхмерное исследование ионосферы Земли с помощью групп малых КА, разработанных с использованием предложенной методики;
- использовать представленную методику построения управления для поддержания относительных орбит при построении миссий с использованием спутниковых формаций.

Достоверность полученных результатов **обеспечивается** соответствием выбранных моделей относительного движения спутников в группе общепринятым стандартам, проведением численного моделирования, подтверждающего полученные аналитические результаты, сравнением полученных результатов с опубликованными ранее смежными результатами других авторов.

Исследование направлено на поиск начальных данных для четырёх космических аппаратов и построение управления этими аппаратами. В работе приведена постановка задачи, выбрана и обоснована корректная теоретико-механическая модель, а методы теоретической механики, теории устойчивости, динамики космического полета и численные методы решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений используются для получения и исследования решений. Область исследований - прикладная небесная механика. Работа имеет выраженный фундаментальный характер и относится к физико-математической отрасли наук.

Материалы диссертационной работы были **апробированы** на XLII и XLIV Академических Чтениях по космонавтике (Москва, 2018 и 2020 гг), на XII Всероссийском съезде по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Уфа, 2019 г), на 9-м и 10-м Международных симпозиумах по многоспутниковым группировкам (Колорадо, США, 2017 и Глазго, Шотландия,

2019 г), на 69-м Международном астронавтическом конгрессе (Бремен, Германия), на 3-м симпозиуме COSPAR по малым спутникам для космических исследований, на 5-й Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов» (Тарусса, 2016 г), а также на многочисленных семинарах в вузах и институтах РАН.

Автореферат обладает внутренним единством, написан лаконичным и грамотным языком.

В тоже время следует отметить следующие **недостатки**:

1. В работе предложено управлять формой и размером тетраэдра (т.е. движением центра масс КА тетраэдральной формации) при помощи аэродинамических сил. Однако при решении некоторых конкретных целевых задач необходимо будет управлять не только движением центра масс КА, но и угловым положением. В этом случае возможен конфликт управляющих воздействий, требующихся в одно и то же время. Подобный метод реализован фирмой Planet (США) для разведения малых КА типа Flock многоспутниковой группировки ДЗЗ по заданным орбитам.

2. В автореферате сказано, что длительность поддержания тетраэдральной формации КА зависит от размеров и требуемых характеристик орбит. Однако упомянутая зависимость не конкретизирована даже на качественном уровне.

3. В автореферате не показано, какое влияние на деградацию тетраэдральной формации КА оказывает сопротивление атмосферы.

4. Из автореферата не представляется возможным оценить точность используемой линеаризованной модели движения КА.

5. Не все формулы в автореферате пронумерованы; не все переменные в формулах расшифрованы.

Тем не менее, перечисленные недостатки не снижают теоретической ценности и практической значимости полученных результатов.

Автореферат дает достаточно полное представление о диссертационной работе, тема исследования актуальна, представленные на защиту положения обладают научной новизной, достоверность результатов не вызывает сомнения, работа обладает практической ценностью, основные результаты работы опубликованы и докладывались на научно-технических симпозиумах, конференциях и семинарах.

Выводы:

Представленная работа Шестакова С.А. является завершенной научно-квалификационной работой, которая содержит решение актуальной научной задачи, имеющей значение для развития теории и практики построения и поддержания тетраэдральных спутниковых формаций.

Представленная работа соответствует паспорту специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика» и требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г., а её автор Шестаков Сергей Алексеевич достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика».

Отзыв заслушан и обсужден на заседании подсекции №10-1 секции 10 научно-технического совета ФГУП ЦНИИмаш, протокол № 10 от 04 сентября 2020 г.

Главный научный сотрудник АО «ЦНИИмаш»

доктор технических наук,

старший научный сотрудник

В.Ю. Ключников

Главный научный сотрудник АО «ЦНИИмаш»

доктор технических наук

А.Н. Балухто

Подписи Ключникова Валерия Юрьевича и Балухто Алексея Николаевича удостоверяю

Главный ученый секретарь АО «ЦНИИмаш»

доктор технических наук

профессор



Ю.Н. Смагин

04.09.2020