

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
Федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования

«Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский  
университет)»

д. т. н., профессор Равикович Ю. А.

«31» августа 2020 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Московский авиационный институт (национальный  
исследовательский университет)»

о диссертации Сергея Алексеевича Шестакова

«Методы построения и поддержания тетраэдральных спутниковых  
формаций»,

представленной на соискание учёной степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»

### Актуальность темы исследования

Диссертационная работа С.А.Шестакова посвящена исследованию возможности сохранения тетраэдральной (невырожденной) орбитальной конфигурации четырех геоцентрических спутников в течение достаточно продолжительного промежутка времени. Подобная постановка непосредственно вытекает из целей многих современных космических миссий, связанных с наблюдением за объектами на поверхности Земли, обеспечением связи и навигации, исследованием состояния околоземной среды и требующих для своей реализации нескольких космических аппаратов, объединенных общей научно-технической задачей. Для выполнения таких миссий может потребоваться сохранение определенных конфигураций групп космических аппаратов, в частности, ограничений на расстояние между спутниками или определенное «качество» конфигурации, определяемое величиной некоторых теоретических или эмпирических функций. В представляемой к защите работе исследуется конфигурация из четырёх спутников, для которой должна сохраняться «объемная» структура. Типичной научно-исследовательской задачей, требующей для своего решения подобную группу из четырёх спутников, является исследование



поведения заряженных частиц и магнитного поля в околоземном пространстве, в частности, в ионосфере Земли, поскольку для полноценного исследования в данном случае требуется проведение измерений в трёх независимых направлениях. Таким образом, **актуальность темы исследования не вызывает сомнений.**

### **Общая характеристика работы**

Представляемая к защите диссертация состоит из введения, четырёх глав основного текста, заключения, списка использованной литературы (158 наименований) и приложений. Общий объём работы - 152 страницы.

Во введении приводится краткое описание исследуемой проблемы, обосновывается ее практическая значимость, а также дается достаточно полный обзор методов возможного решения поставленных задач, включающий краткое описание существующей научной литературы, связанной с темой исследования, фактически продолжающийся в

первой главе диссертационной работы. Эта глава не содержит результатов автора, но в ней изложен ряд теоретических и вспомогательных сведений, представляющих результаты, соотношения и модели, являющиеся основой для проводимых в следующих главах исследований.

Во второй главе работы в рамках линеаризованной модели относительного движения проводится исследование движения формации из четырех спутников, называемой автором “тетраэдральной спутниковой формацией”. В результате найден набор условий, которым должны удовлетворять начальные условия движения аппаратов, образующих формацию, чтобы геометрическая форма конфигурации в целом сохранялась на протяжении длительного промежутка времени, то есть чтобы выполнялся некоторый “критерий качества” формации, гарантирующий ее существенную трехмерность. Эти условия являются серьезным **новым результатом, важным как с теоретической, так и с практической** точек зрения. По существу, разработана новая методика определения опорных орбит элементов формации, применимая и для других конфигураций.

В третьей главе работы представлена методика аналитического и численного уточнения опорных орбит с использованием оригинального “критерия качества” формы конфигурации спутниковой формации. Полученные в работе расширение конфигурации ведущий-ведомый на четыре спутника и начальные данные для всех спутников такой конфигурации являются **новыми результатами**, также интересными как с **теоретической, так и с практической** точек зрения.

В четвертой главе работы с использованием прямого метода Ляпунова строится алгоритм управления четырьмя спутниками тетраэдральной конфигурации. Поддерживаемой целевой функцией для контура управления выбрана форма конфигурации (вышеупомянутый “критерия качества”). Важным представляется тот факт, что алгоритм строится исходя из того, что на практике для поддержания конфигурации группировки спутников в течении длительного времени необходимо исключить, как нерациональное,



использование топлива и ограничится аэродинамическими эффектами. Как алгоритм, так и используемый в нем способ построения функций Ляпунова являются **новыми и важными с практической точки зрения результатами.**

В заключении представлены основные результаты работы.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

**Достоверность результатов** подтверждается адекватным выбором средств и методов исследования и проведенным численным моделированием.

**Публикации** Результаты диссертации были опубликованы в пяти изданиях из перечня ВАК, в том числе трёх изданиях из списка Web of Science и/или SCOPUS, а также докладывались на российских и международных конференциях, Список релевантных публикаций приведен в автореферате.

**Теоретическая значимость результатов** определяется применением фундаментальных результатов теоретической механики и нелинейной динамики.

**Практическая значимость работы:** Работа, без сомнения, имеет очевидную практическую значимость, так как ее результаты могут быть применены непосредственно в космической практике.

**Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Результаты диссертации рекомендуются к использованию при проектировании космических миссий, связанных с эксплуатацией группировок спутников, а также для дальнейших теоретических исследований.

Существенных замечаний, как к содержанию, так и к тексту диссертации нет. Следует отметить, однако, что

1. Текст содержит некоторое количество стилистических неточностей и оговорок, никак не влияющих на содержание, все положения диссертации строго математически обоснованы. Замечено несколько типографических опечаток.

2. Автор практически не упоминает об альтернативных способах удерживания конфигурации формации спутников, например, с помощью тросов, и не цитирует соответствующую литературу.

3. Следует пожелать автору в дальнейших исследованиях дать оценки времени существования конфигураций, удовлетворяющих выбранным критериям качества, так как едва ли возможно их вечное существование даже в управляемой ситуации.

Упомянутые недостатки **не влияют** на общую положительную оценку работы. Диссертация выполнена на высочайшем научном уровне. Научные положения, выводы и результаты работы являются **полностью обоснованными.**



## Оценка работы в целом.

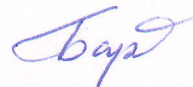
Диссертация посвящена актуальной теме в области динамики формаций космических аппаратов. Полученные в ней результаты несомненно представляют интерес как с общединамической точки зрения, так и для практического планирования актуальных космических миссий. В работе строятся алгоритмы и выводятся условия для существования трехмерных формаций из четырех спутников, удовлетворяющие естественным условиям качества. Проведенное исследование основано на методах теоретической и прикладной небесной механики и управления.

Автор продемонстрировал прекрасное владение математическим аппаратом, применяемым по теме диссертации. Упомянутые замечания не снижают общую положительную оценку научного уровня выполненной диссертационной работы. Результаты диссертации в достаточной степени опубликованы в специализированных журналах по теме работы и достаточно полно апробированы.

Диссертация Сергея Алексеевича Шестакова «Методы построения и поддержания тетраэдральных спутниковых формаций» **удовлетворяет** всем требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика, а ее автор, Шестаков Сергей Алексеевич, **заслуживает** присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

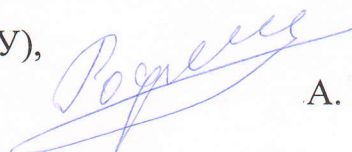
Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры мехатроники и теоретической механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» 31 августа 2020 г., протокол № 1.

Заведующий кафедрой мехатроники  
и теоретической механики  
Московского авиационного института (НИУ),  
доцент, д. ф.-м. н.



Б. С. Бардин

Профессор кафедры мехатроники  
и теоретической механики  
Московского авиационного института (НИУ),  
доцент, д. ф.-м. н.



А. В. Родников

31.08.2020

