



Акционерное общество  
«Информационные спутниковые системы»  
имени академика М.Ф. Решетнёва»

ул. Ленина, зд. 52, г. Железногорск,  
г.о. ЗАТО Железногорск,  
Красноярский край,  
Российская Федерация, 662972  
ОКПО 10163039; ОГРН 1082452000290  
ИНН/КПП 2452034898/785050001

тел. (3919) 76-40-02, 72-24-39  
факс (3919) 72-26-35, 75-61-46  
office@iss-reshetnev.ru  
http://www.iss-reshetnev.ru



Заместитель председателя  
Президиума НТС, Генеральный  
конструктор Акционерного  
общества «Информационные  
спутниковые системы» имени  
академика М.Ф. Решетнёва»,  
кандидат технических наук, доцент

А.В. Кузовников  
2024

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы  
Монаховой Ульяны Владимировны

На тему: «Исследование динамики управляемого  
относительного движения группы малых космических аппаратов на  
низкой околоземной орбите», представленной на соискание учёной  
степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.1.7 «Теоретическая механика, динамика  
машин»

### Актуальность исследований

Развитие технологий в области миниатюризации приборов и систем космического назначения привело к увеличению численности орбитальных группировок (ОГ), а сами космические аппараты (КА) значительно уменьшились по массе и габаритам, что существенно облегчило решение задач по созданию и выведению нескольких десятков КА различного назначения за один запуск (например, формата 3U кубсат). Вследствие ограничений по массе, стоимости и объёму платформы, установка двигателя коррекции на борту КА может быть затруднена. Поэтому в настоящее время развиваются и исследуются бестопливные (бездвигательные) подходы к управлению относительным орбитальным движением КА на низкой околоземной орбите, которые позволят решать задачи построения и поддержания структуры ОГ, коррекции параметров движения КА на всем сроке его функционирования для выполнения целевых задач.

При использовании бестопливного подхода для коррекции орбиты КА большое значение имеет точность определения положения КА на орбите, влияния плотности атмосферы и солнечной активности на параметры орбиты. Также в данном подходе особое значение имеет точность ориентации требуемой площади КА относительно набегающего потока для управления движением КА.

Существующие подходы повышения точности маневрирования КА для бестопливного способа требуют новых методик по управлению относительным движением КА, определение требований к системе ориентации КА, уточнение и уменьшение погрешностей режимов работы системы ориентации и обеспечение требуемого углового движения КА с использованием магнитной системы ориентации и стабилизации в процессе движения и реализации корректирующего воздействия.

Таким образом, в рамках создания перспективных систем управления КА разработка бестопливного подхода для коррекции орбиты, которая основывается на изучении характера орбитального движения под воздействием аэродинамических сил и определении режимов работы системы ориентации КА для создания необходимого корректирующего воздействия на параметры орбиты, а также анализом результатов коррекции орбиты для проверки принятых технических решений, является важной и актуальной научной задачей.

В этой связи **актуальность** диссертационной работы Монаховой Ульяны Владимировны не вызывает сомнений.

**Цель** диссертационной работы заключается в разработке методов построения управления относительным движением малых КА в групповом полете с использованием аэродинамических сил на низкой околоземной орбите.

В соответствии с поставленной целью определены основные научные задачи, решаемые автором в диссертационной работе:

1. Разработка алгоритмов управления относительным движением КА с использованием аэродинамических сил.
2. Исследование управляемого движения группы малых КА с учетом коммуникационных ограничений.
3. Построение и реализация опорного углового движения для обеспечения действия требуемой аэродинамической силы.

4. Оценка точности ориентации, которую обеспечивает магнитная система управления, в зависимости от внешних неучтенных возмущений и параметров малых КА.

**Научная новизна** выполненных У.В. Монаховой диссертационных исследований состоит в том, что:

1. Предложены новые алгоритмы управления относительным движением группы малых КА с учетом коммуникационных ограничений.

2. Получены новые результаты аналитического исследования управляемого движения с использованием теории графов, которые подтверждены численно методом Монте-Карло.

3. Предложен новый подход к управлению движением группы, состоящей из трех КА, для достижения относительного положения в зоне интереса над экватором.

4. Предложен новый алгоритм активного магнитного управления ориентацией КА с матрицей параметров управления, выбор которых осуществляется с использованием теории Флоке.

**Практическая значимость** диссертационных исследований состоит в том, что они позволяют:

1. Предложенный подход к управлению движением группы трёх КА планируется реализовать в миссии по исследованию гамма-вспышек в атмосфере совместно с НИИЯФ МГУ.

2. Результаты исследования управляемого движения группы малых КА с учетом коммуникационных ограничений могут быть использованы при проектировании реальной миссии, в которых участвуют КА с оптической системой относительной навигации.

3. Предложенный алгоритм активного магнитного управления применим для малых КА формата 3U кубсат или ТНС-0.

**Достоверность научных результатов** подтверждается результатами использования корректных математических моделей, применением известных численных методов (Монте-Карло) при проведении математического моделирования, частичной верификацией результатов, полученных численными методами, данными, полученными экспериментальным путем, и их согласованностью с аналитическими решениями.

**К недостаткам автореферата следует отнести:**

1. При построении ОГ из трёх КА в двух плоскостях с использованием бестопливного способа управления не приведены данные о периоде времени, за который формируется требуемое построение КА в ОГ, включающий в себя процесс перехода одного из трёх КА во вторую плоскость из первой за счет изменения наклона орбиты, а также о фазировании КА в плоскостях для формирования правильного треугольника.

2. При описании способа определения относительного движения КА с использованием бортовой системы определения не приведена информация о случае, когда бортовая система станет неисправна, и каким образом необходимо поддерживать актуальность данных о параметрах движения КА, на основе которых происходит расчет требуемой ориентации КА для корректирования орбиты. Не приведены данные о возможности использования в предлагаемом бестопливном способе управления траекторных измерений положения КА на орбите, полученных от наземной станции наблюдения.

3. В результатах практического применения разработанного бестопливного способа управления говорится об ограничениях его применения. Предложенный алгоритм управления применим для малых КА формата 3U кубсат или ТНС-0.

4. В работе для реализации бестопливного способа управления и задания требуемой трехосной стабилизации КА предлагается магнитная система ориентации, которая характеризуется невысокой конечной точностью ориентации и стабилизации КА по сравнению с системой ориентации на основе маховиков.

Приведенные недостатки не являются принципиальными, они носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

### **Заключение**

Анализ материалов представленного на отзыв автореферата диссертационной работы У.В. Монаховой позволяет считать, что:

1. Диссертация выполнена на актуальную тему, изложена грамотно, на высоком техническом уровне и содержит научное обоснование решения задачи повышения точности маневрирования КА без двигательной установки.

2. В диссертационных исследованиях, обладающих научной новизной, выполненных лично автором, получены результаты, которые свидетельствуют о существенном вкладе автора диссертационной работы в разработку алгоритма управления относительным движением КА с использованием аэродинамических сил. Работа автора позволяет определить требования к допустимым ошибкам начального положения КА с учетом высокой и низкой солнечной активности для реализации алгоритма управления относительным движением КА.

3. Разработанный автором алгоритм бестопливного способа управления относительным движением КА, показанный в работе, позволяет применить его для малых КА формата 3U кубсат.

4. В целом диссертационная работа «Исследование динамики управляемого относительного движения группы малых космических аппаратов на низкой околоземной орбите» по своей актуальности, научной новизне, практической значимости полученных результатов является законченной научной квалификационной работой, соответствующей требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Монахова Ульяна Владимировна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 «Теоретическая механика, динамика машин».

Главный специалист службы научно-технического совета, кандидат физико-математических наук

А.А. Хвалько

Начальник отдела разработки баллистического и навигационного обеспечения космических аппаратов и космических систем, кандидат технических наук

Е.В. Ислентьев

Начальник группы отдела разработки баллистического и навигационного обеспечения космических аппаратов и космических систем

И.К. Коловский

**Почтовый адрес:** ул. Ленина, зд. 52, г. Железногорск, г.о. ЗАТО Железногорск, Красноярский край, Российская Федерация, 662972

**Телефон:** (3919) 76-40-02, 72-24-39

**e-mail:** office@iss-reshetnev.ru