

Отзыв официального оппонента Игнатова Александра Ивановича
на работу Монаховой Ульяны Владимировны
«Исследование динамики управляемого относительного движения группы малых
космических аппаратов на низкой околоземной орбите»,
представленную в качестве диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин

Актуальность темы диссертации заключается в том, что в настоящее время активно развивается использование групповых полетов для решения различных научных и коммерческих задач. Управление относительным движением в таких миссиях является важным аспектом для обеспечения эффективной работы. В данной диссертационной работе исследуется управление относительным движением малых космических аппаратов с использованием аэродинамических сил на низкой околоземной орбите.

Структура и содержание работы. Диссертация изложена на 103 страницах и состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 99 наименований. Результаты диссертационной работы в полной мере отражены в 10 научных работах в изданиях, рекомендованных ВАК.

Во введении приведен обзор существующих подходов к управлению относительным движением в групповом полете. Представлены цели и задачи работы, обоснована новизна, указана научная и практическая значимость работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе автор рассматривает задачу управления движением группового полета аппаратов после кластерного запуска на низкую околоземную орбиту. Проводится анализ линейных уравнений, описывающих относительное движение аппаратов в группе, и предлагается алгоритм управления на основе средних значений параметра дрейфа. Далее показана сходимость параметра дрейфа каждого отдельного аппарата к требуемому значению под действием предложенного алгоритма управления. С использованием линейной модели движения и с учётом ошибок по скорости отделения в начальный момент времени была получена аналитическая оценка размера зоны видимости аппаратов, необходимого для поддержания связности группового полета. Также в этой главе предложен закон управления, который дополнительно учитывает средние значения параметра сдвига. Сравнение предложенных алгоритмов проведено с помощью метода Монте-Карло, а в качестве возмущения рассматривается влияние второй зональной гармоники.

Вторая глава посвящена задаче построения треугольной формации для изучения транзиентных эффектов в атмосфере Земли. Сначала диссертант проводит анализ влияния второй зональной гармоники геопотенциала и атмосферного сопротивления на орбитальные элементы. В результате этого анализа проводится выбор опорных орбит, получена связь между наклонениями этих орбит. Для управления относительным движением аппаратов вдоль выбранных орбит рассматривается закон управления, относящийся к классу ПД-регуляторов и учитывающий разницу средних движений и фаз аппаратов. Далее этот закон упрощается до релейного закона с тремя значениями площади поперечного сечения аппаратов, соответствующими максимальной, минимальной и средней силе атмосферного сопротивления. В конце главы диссертант представляет результаты численного моделирования движения аппаратов с учётом второй зональной гармоники геопотенциала и с использованием динамической модели плотности атмосферы.

В третьей главе рассматривается обеспечение требуемой ориентации аппаратов для использования атмосферного сопротивления при управлении движением аппаратов вдоль орбиты, где в качестве исполнительных органов используются магнитные катушки. Для решения этой задачи диссертант рассматривает в качестве опорного углового движения гравитационные положения равновесия. Для выбранного опорного углового движения закон управления строится на основе прямого метода Ляпунова. Далее, для выбора коэффициентов закона управления линеаризуются уравнения движения в окрестности опорного и применяется теория Флоке. В ходе численного исследования диссертант демонстрирует сначала работу предложенного алгоритма для одного аппарата, а в дальнейшем и для задачи группового полета, рассмотренной во второй главе.

В заключении сформулированы основные выводы диссертационной работы.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Научная новизна результатов работы. В диссертационной работе предложены новые алгоритмы управления относительным движением группы малых космических аппаратов с учетом коммуникационных ограничений. Эти алгоритмы позволяют обеспечить ограниченность относительных траекторий движения аппаратов в группе. Также была предложена методика построения и бестопливного поддержания трех аппаратов в конфигурации правильного треугольника. Таким образом, данная работа представляет новые подходы к управлению относительным движением космических аппаратов в групповом полете, что является важным вкладом в развитие данного направления исследований.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и заключений диссертации обеспечивается применением классических методов теоретической и небесной механики, и подтверждается апробацией на российских и международных конференциях, а также публикациями в рецензируемых изданиях.

Результаты, представленные в диссертационном исследовании, имеют практическую значимость и могут быть использованы при разработке миссий по групповому полету: в частности, они могут быть применены при проектировании миссий по исследованию молниевых эффектов в атмосфере Земли. Стоит отметить и важность подходов по построению алгоритма управления ориентацией при помощи магнитных катушек: использование расширенного набора коэффициентов управления позволяет обеспечить стабилизацию даже вытянутого космического аппарата (например, довольно распространенного форм-фактора 3U CubeSat) вдоль скорости или местной вертикали.

Замечания. По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Некоторые графики, приведенные в тексте, требуют дополнительного пояснения. К примеру, график, приведенный на рис. 2.7. По легенде, приведенной на самом рисунке, непонятно, какой график к какому аппарату относится. Сказано, что аппарата три, а складывается впечатление, что графика всего 2 (красный и черный цвета).
2. Смысл обозначений некоторых параметров можно понять только интуитивно. К примеру, на странице 80 приведены матрицы Y_ω , Y_α , Y_β элементами которых служат соотношения

моментов инерции A, B, C космического аппарата, хотя до этого, на стр. 70 было сказано, что рассматривается аппарат с тензором инерции $J = \text{diag}(A, A, C)$.

3. На стр. 81 при описании численного моделирования движения космического аппарата не указано каким образом рассчитывалась и какое значение имеет величина коэффициента c_x аэродинамической силы.

Вместе с тем, указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключительные выводы. Считаю, что диссертационная работа «Исследование динамики управляемого относительного движения группы малых космических аппаратов на низкой околоземной орбите» является законченной научно-квалификационной работой, по содержанию и представленным результатам соответствует паспорту специальности 1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин» и удовлетворяет требованиям Положения ВАК (в текущей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Таким образом, соискатель – Монахова Ульяна Владимировна – заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин».

Официальный оппонент
кандидат физ.-мат. наук,
доцент кафедры ФНЗ «Теоретическая механика» имени профессора Н.Е. Жуковского
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»

Игнатов Александр Иванович

Почтовый адрес: 105082, г. Москва, Рубцовская наб., д. 2/18

E-mail: ignatov@bmstu.ru

Тел: +7 903 713-81-52

«08» 05 2024 г.

А.И. Игнатов

Подпись Игнатова Александра Ивановича заверяю

СПЕЦИАЛИСТ ПО ПЕРСОНАЛУ
ОТДЕЛ КАДРОВОГО
АДМИНИСТРИРОВАНИЯ

(Ф.И.О.)

РУДАКОВА Н.В.

(должность)



(подпись)