

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор Федерального  
государственного учреждения  
«Федеральный исследовательский  
центр ИПМ им. М.В.Келдыша РАН»  
чл.-корр. РАН А.И Аптекарев



подпись

«31» марта 2022 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного учреждения  
«Федеральный исследовательский центр  
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша  
Российской академии наук»

Диссертация «Стабилизация заданных режимов углового движения спутников с нежесткими элементами конструкции» выполнена в Новой Лаборатории «Большие данные и интеллектуальные системы» Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

В период подготовки диссертации соискатель Шестопёров Алексей Игоревич обучался в аспирантуре Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» с 1 сентября 2017 года по 31 августа 2021 года и работал в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», Новая Лаборатория «Большие данные и интеллектуальные системы», в должности младшего научного сотрудника.

В 2017 году окончил Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» по специальности 03.04.01 «Прикладные математика и физика».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2022 году Федеральным государственным учреждением «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Овчинников Михаил Юрьевич, Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», отдел №7 «Динамика космических систем», главный научный сотрудник, и.о. заведующего отделом.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Диссертационная работа Шестопёрова А.И. посвящена актуальной задаче стабилизации заданных режимов углового движения космических аппаратов (КА) с крупногабаритными нежесткими элементами (НЭ). В ходе орбитального и углового маневрирования КА, в НЭ их конструкции возникают вибрации, способные ухудшать точность ориентации всего аппарата.

В рамках диссертационной работы были проведены исследования по следующим направлениям. Построена нелинейная математическая модель движения КА с произвольным заранее фиксированным числом НЭ, прикрепленных к его корпусу. Предложен алгоритм инерциальной стабилизации геостационарного КА с НЭ заданной конфигурации. С его помощью осуществляется гашение низкочастотных колебаний в НЭ. В основу замкнутого контура управления положена полученная соискателем модель КА с НЭ. Решена задача построения опорных траекторий углового движения КА, перемещение вдоль которых слабо возбуждает вибрации в НЭ. Предложен закон управления, обеспечивающий стабилизацию указанных опорных движений. Все результаты подтверждены численными расчётами.

Научная новизна работы заключается в следующем. Разработанная А.И.

Шестопёровым нелинейная математическая модель КА с НЭ допускает изменение числа НЭ в его конструкции и основных типов сочленения НЭ с корпусом. Благодаря модульной структуре модели, чтобы получить уравнения движения КА измененной конфигурации достаточно модифицировать ряд параметров. Соискателем предложен закон управления, решающий задачи инерциальной стабилизации геостационарного КА заданной конфигурации и гашения низкочастотных колебаний в НЭ его конструкции. Обратная связь происходит по вектору состояния корпуса КА, а, следовательно, не требует информации об обобщенных координатах, описывающих поведение НЭ. Как проблема обеспечения локальной асимптотической устойчивости заданного положения КА с НЭ в ИСК, так и проблема ограниченности ресурса управления исполнительных органов решены автором с помощью разработанного на основе линейно-квадратичного регулятора алгоритма управления. Предложена методика построения опорных траекторий КА с НЭ по заданному набору кватернионов ориентации, определенных в фиксированные моменты времени. Опорные траектории обладают третьей степенью гладкости и удовлетворяют условию нормировки кватерниона ориентации на всем интервале движения. Движение вдоль траекторий данного класса предотвращает возникновение нежелательных вибраций в НЭ

Полученные А.И. Шестопёровым результаты имеют практическую ценность. Предложенная математическая модель позволяет описать движение широкого класса спутников, содержащих в своей конструкции элементы большой протяженности, такие как антенны и солнечные панели. В частности, это касается геостационарных спутников связи. Предложенные законы управления, обеспечивающие стабилизацию заданных режимов углового движения КА, осуществляют гашение низкочастотных колебаний в НЭ, что улучшает качество его ориентации. Предложенные в работе алгоритмы управления КА с НЭ имеют отдельные преимущества в контексте их практической реализации. Во-первых, алгоритмы не требуют выполнения процедуры идентификации обобщенных координат, описывающих колебания

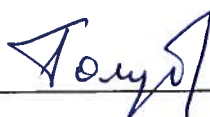
НЭ, что уменьшает их вычислительную сложность. Во-вторых, для реализации управляющего момента не нужна установка исполнительных органов непосредственно на НЭ (например, пьезоактюаторов).

Диссертационная работа Шестопёрова А.И. полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатской диссертации по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика. Все результаты работы получены автором лично. Тема диссертации раскрыта и правильно отражена в шести публикациях в журналах из перечня ВАК РФ. Основные результаты диссертационной работы были представлены на всероссийских и международных конференциях.

Диссертация «Стабилизация заданных режимов углового движения спутников с нежесткими элементами конструкции» Шестопёрова Алексея Игоревича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика в Диссертационном совете Д 002.024.01, созданном на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

Заключение принято на заседании Научного семинара отдела №5 «Механика космического полета и управление движением». Присутствовало на заседании 15 чел. Результаты голосования: «за» – 15 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 58 от 24 февраля 2022 г.

Голубев Юрий Филиппович, д.ф.-м.н.,  
профессор, отдел №5 «Механика  
космического полета и управление  
движением», главный научный сотрудник,  
и.о. заведующего отделом



31 марта 2022 г.