

## ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Гутника Сергея Александровича "Динамика движения спутника относительно центра масс с пассивными системами ориентации", представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика

Диссертационная работа Гутника С.А. посвящена проблемам динамики и стабилизации движения спутников относительно центра масс. Данный круг задач является весьма актуальным в связи с интенсивным и использованием телекоммуникационных и информационных спутниковых систем. Первоочередной задачей для функционирования спутниковых систем является обеспечение и поддержание заданной ориентации спутника или его стационарного движения, что необходимо для коррекции траектории, навигации, организации связи, проведения научных исследований и т.п. Из-за ограниченности ресурсов маневрирования методы пассивной стабилизации обладают определенными преимуществами по сравнению с активными методами. Особенную важность решение задач пассивной стабилизации приобретает для долговременных спутников. В практической реализации методов пассивной стабилизации следует учитывать возможность существования различных положений относительного равновесия. Отыскание таких равновесий и анализ их устойчивости является сложной задачей, решение которой, тем не менее, становится возможной при использовании современных символьно-числовых методов исследования. Диссертационная работа направлена на разработку таких методов в применении к задачам динамики движения спутника с пассивными системами ориентации относительно центра масс.

Целью диссертационной работы являются разработка аналитических и символьно-численных методов исследования задач динамики движения относительно центра масс спутника-гиростата, спутника подверженного действиям аэродинамического момента, постоянного момента, активного управляющего момента, зависящего от проекций угловой скорости и составной схемы спутник-стабилизатор. Сформулированы следующие задачи исследования: разработка символьно-численных методов определения положений равновесия спутника и методов анализа их устойчивости; разработка методов решения задачи о положениях равновесия спутника в центральном гравитационном поле на круговой орбите при действии возмущающих моментов; анализ условий устойчивости равновесных ориентаций при действии внешних моментов и асимптотической устойчивости при наличии управляющих моментов; анализ стационарных конфигураций системы двух тел соединенных сферическим шарниром в центральном гравитационном поле.

Отметим, что все поставленные в диссертации задачи успешно решены. Полученные научные результаты являются новыми, их достоверность и обоснованность подтверждается тем, что они обсуждались на научных семинарах, докладывались на российских и международных конференциях и были опубликованы.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. №  
17 09 2019

ликованы в научной печати.

Перейдем к описанию диссертационной работы. Диссертационная работа объемом в 280 страниц, состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 186 наименований. Во введении дается подробный анализ истории и современного состояния рассматриваемой проблемной области.

В первой главе изучается движение спутника-гиростата, представляющего собой твердое тело с расположенными внутри него динамически симметричными, статически уравновешенными роторами, оси которых фиксированы относительно корпуса спутника. Скорости собственного вращения роторов относительно корпуса спутника постоянны. Решается прямая задача определения параметров, задающих ориентацию спутника через инерционные характеристики и компоненты кинетического момента роторов и обратная задача, когда в число определяемых параметров входят и конструктивные характеристики системы. Получена алгебраическая система, определяющая стационарные уравнения движения спутника-гиростата, которая с использованием систем компьютерной алгебры сведена к алгебраическому уравнению 12-го порядка относительно одной неизвестной. Показано, что для круговой орбиты при наличии гравитационного момента спутник-гиростат может иметь не более 24 положений равновесия. Также проведено полное исследование положений равновесия спутника-гиростата на круговой орбите для общего случая. В пространстве параметров численно определены области с одинаковым числом положений равновесия спутника-гиростата и исследовано изменение этих областей. Для осесимметричного спутника-гиростата выведены уравнения, определяющие границы между областями с равным числом положений равновесия. С использованием алгоритмов компьютерной алгебры особо исследован случай, когда вектор гиростатического момента спутника-гиростата находится в одной из плоскостей, образуемых главными центральными осями инерции спутника и не совпадает с осями. Исследованы положения равновесия спутника-гиростата для 9 частных случаев, когда одна из главных осей инерции спутника совпадает с нормалью к плоскости орбиты, радиусом-вектором или касательной к орбите. Показано, что любая такая ориентация является равновесной. Представлены достаточные условия устойчивости равновесий для осесимметричного спутника-гиростата при любых значениях вектора гиростатического момента.

Во второй главе изучены задачи динамики движения спутника относительно центра масс на круговой орбите, при наличии гравитационного и аэродинамического моментов. Проведено полное исследование положений равновесия спутника для общего случая, которые также определяются алгебраическим уравнением 12-го порядка. Показано, что и в этом случае спутник может иметь не более 24 положений равновесия. В пространстве параметров численно определены области с одинаковым числом положений равновесия спутника для широкого диапазона параметров системы и исследовано изменение этих областей. В случае осесимметричного спутника выведены уравнения, за-

дающие границы между областями с равным числом положений равновесия. Также проведено численно-аналитическое исследование достаточных условий устойчивости полученных положений равновесия спутника с использованием обобщенного интеграла энергии в качестве функции Ляпунова. В случаях, когда вектор аэродинамического момента спутника находится в одной из плоскостей, образуемых главными центральными осями инерции спутника, и не совпадает с осями, предложен метод исследования положений равновесия с использованием алгоритмов компьютерной алгебры и приведены аналитические результаты определения границ в плоскости параметров задачи, которые разделяют области с равным числом положений равновесия спутника для всех трех случаев расположения вектора аэродинамического момента в каждой из плоскостей, образуемых осями инерции. Исследованы положения равновесия спутника для 9 частных случаев, в которых одна главная ось инерции спутника совпадает с нормалью к плоскости орбиты, радиусом-вектором или касательной к орбите. Показано, что любая такая ориентация является равновесной. Представлены достаточные условия устойчивости равновесий для осесимметричного спутника, при наличии гравитационного и аэродинамического моментов при любых значениях вектора аэродинамического момента.

В третьей главе решается задача о стационарных движениях спутника на круговой орбите, на которой, кроме гравитационного момента, действует момент, постоянный в системе координат связанной со спутником. Система уравнений, задающей положения равновесия спутника, приводится к одному алгебраическому уравнению, определяющему все положения равновесия спутника. Доказано, что в данной задаче спутник в общем случае может иметь не более 24-х положений равновесия. Проведено вычисление полинома, задающего дискриминантную гиперповерхность для уравнения 6-го порядка, который определяет разбиение пространства параметров на области с одинаковым числом вещественных корней и, соответственно, положений равновесия спутника. Представлены графические результаты исследования изменения областей с равным числом положений равновесия в пространстве безразмерных параметров задачи.

В четвертой главе исследуются положения равновесия спутника, на который, кроме гравитационного момента, действует активный управляющий момент, зависящий от проекций угловой скорости спутника на оси связанной со спутником системы координат. Соответствующий выбор управляющего момента позволяет получить новые положения равновесия и обеспечить асимптотическую устойчивость положений равновесия гравитационно-ориентированного спутника на круговой орбите. В этой задаче с использованием критерия Рауса-Гурвица получены необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости т.н. нулевого положения равновесия спутника, в котором оси связанной со спутником системы координат совпадают с осями орбитальной системы координат. Проанализированы изменения областей выполнения необходимых и достаточных условий асимптотической

устойчивости нулевого положения равновесия на плоскости безразмерных инерционных характеристик в зависимости от параметров управления. С использованием методов численного интегрирования системы дифференциальных уравнений движения исследован характер переходных процессов выхода системы на нулевое положение равновесия. Также рассмотрена задача о вращательном движении осесимметричного спутника на круговой орбите при действии гравитационных моментов и активного управляющего момента, проекции которого пропорциональны проекциям угловой скорости спутника на оси связанной со спутником системы координат. Описаны методы компьютерной алгебры, позволяющие получить из исходной системы уравнений алгебраического уравнение 4-го порядка, определяющее стационарные движения осесимметричного спутника в орбитальной системе координат. Кроме того, изложен метод разбиения пространства параметров на области с одинаковым числом стационарных решений с использованием построения дискриминантной гиперповерхности.

В пятой главе исследуется динамика движения системы двух тел, соединенных сферическим шарниром (спутник-стабилизатор), движущихся по круговой орбите. С использованием комбинированного применения методов линейной и компьютерной алгебры решается задача определения пространственных положений равновесия в случае гравитационной системы ориентации спутника с демпфирующим устройством. Описаны методы, позволяющие определить новые классы пространственных равновесных решений задачи. Показано, что на круговой орбите могут существовать как плоские, так и пространственные конфигурации системы двух тел, находящихся в положении равновесия.

Обратимся теперь к описанию недостатков работы. Существенных недостатков в работе нет. Работа написана ясным, понятным языком. Естественно, в работе присутствуют небольшое количество текстовых погрешностей. Например, на странице 54 и далее используется не очень удачный термин эволюция изменения областей – подразумевается изменение формы и состава областей. На странице 53 говорится о точных соотношениях параметров, которые базируются на приведенной на странице 56 численной таблице, тут следовало бы говорить о приближенных зависимостях. Еще пример – на странице 90 из анализа рисунков делается вывод об асимптотической сходимости численных результатов к аналитическим. Тут вернее было бы сказать, что рисунки не противоречат или же свидетельствуют о таком характере численных результатов. Подобные замечания можно сделать и относительно аналогичных высказываний в других разделах. Следует также отметить некоторый лаконизм формулировок, связанный, по-видимому с ограничениями в размере текста. Например, в четвертой главе говорится просто о проекциях угловой скорости спутника. Под подразумевается же более длинная конструкция – проекции угловой скорости на оси связанной со спутником системы координат.

Указанные недостатки не являются существенными и не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертация является законченным научным исследованием. Основные результаты работы обсуждались на научных семинарах, докладывались на российских и международных конференциях и были опубликованы в научной печати. Результаты диссертации С.А. Гутника полно представлены в ее публикациях и правильно отражены в автореферате. Считаю, что работа "Динамика движения спутника относительно центра масс с пассивными системами ориентации" удовлетворяет требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика, а ее автор Сергей Александрович Гутник заслуживает присуждения ему искомой степени.

Официальный оппонент  
профессор кафедры Теоретической механики и мехатроники  
механико-математического факультета  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени  
М.В.Ломоносова»,  
доктор физико-математических наук

Е.И. Кугушев

119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, дом 1, МГУ, механико-математический факультет  
+7(495)9393681  
email: [kugushev@keldysh.ru](mailto:kugushev@keldysh.ru)

3 сентября 2019 г.

Подпись профессора кафедры Теоретической механики и мехатроники  
доктора физико-математических наук Е.И. Кугушева заверяю

И.о. декана механико-математического  
факультета МГУ им. М.В. Ломоносова  
профессор



В.Ф. Чубариков