

«Утверждаю»

Первый проректор –  
Проректор по научной работе  
Федерального государственного  
Автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Российский университет дружбы народов»  
д. филос. н., профессор



Кирабаев Н.С.  
2019 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации –

**Федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Российский университет дружбы народов»  
на диссертационную работу Гутника Сергея Александровича  
"Динамика движения спутника относительно центра масс с пассивными системами  
ориентации", представленную к защите в диссертационном совете Д 212.125.14 при  
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)»  
на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по  
специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»**

**Актуальность темы диссертации.** Диссертационная работа Гутника С.А. представляет собой важное, научное исследование, посвященное разработке общей теории движения искусственных спутников Земли относительно центра масс с пассивными системами ориентации. Интерес к этой проблеме определяется широким использованием информационных и телекоммуникационных спутниковых систем с продолжительным временем работы. Главным преимуществом пассивных систем ориентации по сравнению с активными системами является возможность работы на орбите с минимальным расходом энергии и топлива. Работа пассивных систем ориентации искусственных спутников Земли основана на использовании физических свойств гравитационного и магнитного полей Земли, эффекта сопротивления атмосферы и давления солнечного излучения, гироскопических свойств вращающихся тел. Исследованию динамики спутников с пассивными системами ориентации посвящена обширная научная литература. Основная масса работ в данной области посвящена исследованию положений равновесия спутника и их устойчивости при существенных ограничениях на конструктивные параметры спутника. Нахождение положений равновесия спутника в общем случае и анализ их устойчивости является очень сложной математической проблемой, решение которой становится возможным при современном интенсивном развитии методов вычислительной математики и систем компьютерной алгебры. На основании этого можно утверждать, что тема диссертационного исследования Гутника С.А. основной задачей и

целью которого является разработка символьных и численных методов исследования положений равновесия спутника и их устойчивости для широкого класса задач, включающего спутник-гиростат, спутник, подверженный действиям аэродинамического момента, постоянный момент, спутник с активным управляющим моментом, аппроксимирующим внешнюю диссипацию, и составная схема спутник-стабилизатор является актуальной.

**Характеристика диссертационной работы по главам.** Диссертационная работа Гутника С.А. состоит из введения с обзором литературы, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы из 186 наименований. Объем диссертации – 280 страниц текста, 106 рисунков, 3 таблицы.

**Во Введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, приведен подробный обзор литературы по различным разделам темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи работы и аргументирована научная новизна исследований, показана теоретическая и практическая значимость полученных результатов, сформулированы основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту. Кратко изложено содержание разделов диссертации.

**В первой главе** приводится решение общего случая задачи о положениях равновесия спутника-гиростата. Решается задача определения направляющих косинусов, задающих равновесную ориентацию спутника через инерционные характеристики и компоненты гиростатического момента. Получена алгебраическая система, определяющая стационарные движения спутника-гиростата, которая с использованием систем компьютерной алгебры сведена к алгебраическому уравнению 12-го порядка относительно одной неизвестной, действительные корни которого определяют положения равновесия. Доказано, что спутник-гиростат на круговой орбите под действием гравитационного момента в общем случае может иметь не более 24 положений равновесия. Для широкого диапазона параметров системы определены области с одинаковым числом положений равновесия спутника-гиростата и исследована эволюция этих областей. Найдены значения бифуркационных параметров, при которых происходит изменение количества областей с одинаковым числом равновесий. Описаны результаты численного исследования достаточных условий устойчивости полученных положений равновесия спутника-гиростата с использованием метода А.М. Ляпунова. Показано, что при достаточно малых значениях гиростатического момента существуют 4 устойчивых положения равновесия спутника, а в остальных случаях имеют место 2 устойчивых положения равновесия. Численные результаты анализа устойчивости положений равновесия спутника-гиростата согласуются с аналитическими результатами исследования устойчивости для частных случаев задачи. Приводятся результаты решения задачи о положениях равновесия спутника-гиростата в случаях, когда вектор гиростатического момента находится в одной из плоскостей, образуемых главными центральными осями инерции спутника и не совпадает ни с одной из этих осей. Решение данной задачи получено с применением методов компьютерной алгебры и алгоритмов построения базисов Гребнера. Получены аналитические выражения для кривых, определяющих границы областей с одинаковым числом равновесий.

Для частных случаев задачи о положениях равновесия спутника-гиростата, 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 результаты аналитического решения задачи о положениях равновесия и их устойчивости для осесимметричного спутника-гиростата. Основным результатом первой главы является разработка эффективного символьно-численного метода построения областей в пространстве параметров с одинаковым количеством равновесий, который позволил провести исследование общего случая задачи о положениях равновесия спутника-гиростата. Ранее эта задача в связи с серьезными

математическими трудностями решена не была. В научной литературе рассматривались только частные случаи. Получить решение общего случая удалось только благодаря широкому использованию современных методов компьютерной алгебры. Проведен сравнительный анализ результатов, полученных в данной главе с известными результатами для частных случаев спутников–гиростатов, и показано, что эти результаты согласуются.

**Во второй главе** рассматривается задача о положениях равновесия спутника–твердого тела на круговой орбите под действием гравитационного и аэродинамического моментов в общем случае для произвольных значений инерционных параметров и вектора аэродинамического момента, для осесимметричного спутника под действием гравитационного и аэродинамического момента и случаев, когда вектор аэродинамического момента находится в плоскости, образуемой главными центральными осями инерции спутника. Используя символьно-численные методы, разработанные для исследования положений равновесия спутника-гиростата, приведены результаты исследования положений равновесия спутника на круговой орбите. Доказано, что спутник на круговой орбите под действием гравитационного и аэродинамического моментов в общем случае может иметь не более 24 положений равновесия. Изложены результаты численного анализа эволюции областей с одинаковым числом равновесий. Дается анализ достаточных условий устойчивости положений равновесия спутника. Показано, что при малой величине аэродинамического момента существуют 4 устойчивых положения равновесия спутника, а в остальных случаях имеют место 2 устойчивых положения равновесия. Применение методов компьютерной алгебры и вычислительной математики позволило получить решение общего случая задачи, рассмотренной в данной главе. Ранее эта задача не рассматривалась. Сравнительный анализ результатов второй главы с известными частными решениями, подтверждает правильность полученных решений.

**В третьей главе** приводится решение задачи о положениях равновесия спутника под действием гравитационного и постоянного моментов в связанной со спутником системе координат. Постоянный момент может быть обусловлен, например, истечением воздуха или газа из корпуса спутника. Данная задача была решена различными методами, как с помощью вычисления результата системы полиномов, так и путем построения базиса Гребнера. Здесь удалось построить аналитическое выражение, задающее дискриминантную поверхность, которая определяет границы областей с одинаковым числом положений равновесия спутника. Приведены примеры областей, которые являются двумерными сечениями указанной поверхности. В данной главе получено полное решение общего случая задачи об исследовании влияния постоянного момента на положения равновесия спутника.

**В главе 4** проведено исследование положений равновесия и условий, обеспечивающих их асимптотическую устойчивость для спутника, на который, кроме гравитационного момента, действует активный управляющий момент, зависящий от проекций угловой скорости спутника. Реализация такого управления возможна при использовании датчиков угловой скорости и двигателей ориентации, сообщающих спутнику моменты, пропорциональные сигналам этих датчиков. Данная схема позволяет аппроксимировать диссипацию в малой окрестности положения равновесия. Приводятся результаты анализа необходимых и достаточных условий асимптотической устойчивости положения равновесия на основе критерия Рауса-Гурвица по уравнениям первого приближения. Проведено численное исследование переходных процессов возмущенного движения спутника в положение равновесия при различных значениях управляющего момента. Показано, что условия асимптотической устойчивости положения равновесия выполняются для широкого диапазона инерционных характеристик спутника и параметров управления. Приводится также решение задачи управления вращательным движением осесимметричного спутника на круговой орбите в гравитационном поле.

В главе 5 выполнено исследование равновесных ориентаций системы двух тел, соединенных сферическим шарниром, в центральном гравитационном поле на круговой орбите. Получена система из 12 алгебраических уравнений второго порядка, определяющая стационарные движения связки тел, которая с использованием методов линейной и компьютерной алгебры сводится к биквадратным уравнениям от одного неизвестного. Установлены новые классы пространственных равновесных состояний системы и получены условия их существования в зависимости от безразмерных параметров системы двух тел.

В **Заключении** сформулированы основные результаты и сделаны следующие выводы:

1. Разработанные в диссертации символично-численные методы дают в сочетании с теоремами Ляпунова и Рауса сравнительно простые и эффективные алгоритмы исследования положений равновесия спутника и их устойчивости на круговой орбите при действии гравитационного, гиросtatического, аэродинамического, постоянного и активного управляющего моментов.
2. Использование маховиков, влияние аэродинамических и постоянных моментов в системах пассивной стабилизации дает возможность соответствующим подбором параметров получить более широкий диапазон устойчивых стационарных движений в сравнении со спутником-твердым телом.
3. Применение активного управляющего момента, зависящего от проекций угловой скорости, позволяет обеспечить асимптотическую устойчивость положений равновесия гравитационно-ориентированного спутника на круговой орбите.
4. Использование активных управляющих моментов позволяет обеспечить стационарные вращения осесимметричного спутника. Получены соотношения, определяющие зависимость изменения ориентации оси симметрии спутника в орбитальной системе координат от параметров управляющего момента для широкого диапазона значений.
5. Составная схема спутник-стабилизатор, состоящая из двух соединенных сферическим шарниром тел, позволяет решать задачу ориентации при любых параметрах спутника и обеспечить гравитационно-устойчивые пространственные ориентации системы.

**Научная новизна полученных результатов, полученных в диссертации** состоит в разработке аналитических и численно-аналитических методов исследования положений равновесия и стационарных движений спутника. Предложены методы разбиения пространства параметров на однородные области, соответствующие равновесным состояниям. Представлены решения следующих задач.

1. Определены области существования положений равновесия спутника-гиростата в случаях, когда вектор гиросtatического момента находится в одной из плоскостей, образуемых главными центральными осями инерции спутника. Для осесимметричного спутника-гиростата аналитически определены границы изменения областей с заданным числом состояний равновесия.
2. Определены области существования положений равновесия спутника на круговой орбите под действием гравитационного и аэродинамического моментов, соответствующих значениям инерционных параметров и вектору аэродинамического момента. Для осесимметричного спутника решение задачи получено аналитически. Проведено исследование достаточных условий устойчивости положений равновесия спутника.
3. Исследованы положения равновесия спутника под действием гравитационного и постоянного моментов. Построена дискриминантная гиперповерхность, которая определяет границы областей с одинаковым числом положений равновесия спутника, проведен анализ изменения областей с одинаковым числом положений равновесия.
4. Исследованы положения равновесия спутника, на который действуют гравитационный и активный управляющий момент, зависящий от проекций угловой скорости спутника.

Определены области изменения параметров управления, соответствующих условиям асимптотической устойчивости положений равновесия спутника.

5. Определены области пространства параметров управления, при которых существуют стационарные движения осесимметричного спутника на круговой орбите при действии гравитационного момента.

6. Исследованы новые классы пространственных равновесных состояний системы двух тел, соединенных сферическим шарниром, в центральном гравитационном поле на круговой орбите. Определены значения параметров, при которых изменяется число положений равновесия системы спутник-стабилизатор.

В целом результаты, полученные автором в диссертации, можно рассматривать, как существенный вклад в развитие аналитических и численно-аналитических методов исследования задач механики космического полета.

**Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.**

Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. В совместных работах по исследованию положений равновесия спутника и их устойчивости при действии внешних моментов вклад автора в постановку решенных задач и в интерпретацию полученных результатов был равным вкладом с научным консультантом – доктором физико-математических наук, профессором Сарычевым Василием Андреевичем, а само решение задач и соответствующие вычисления были выполнены диссертантом лично в процессе научной деятельности. Вклад автора в разработку методов определения положений равновесия и методов анализа их устойчивости был основным. Все представленные в диссертации результаты получены автором лично.

**Обоснованность и достоверность научных результатов диссертации** достигнута применением апробированных математических методов, корректностью постановок задач, наличием полных и строгих доказательств утверждений, символьными вычислениями, численными экспериментами на моделях, допускающих точное решения, сравнением с частными случаями, имеющими аналитическое решение, а также сравнением с известными результатами, опубликованными отечественными и зарубежными авторами. Достоверность и обоснованность научных результатов также подтверждается тем, что они обсуждались на научных семинарах, докладывались на российских и международных конференциях и были опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

**Результаты проверки диссертации в системе «Антиплагиат».** Результаты проверки диссертации в системе «Антиплагиат» показали, что итоговая оценка оригинальности текста составляет 86,81%; из имеющихся 13,19% текстуальных совпадений с другими источниками 10,3% являются совпадениями с опубликованными работами Гутника С.А., так что текст, принадлежащий автору, составляет 97,11%; оставшиеся 2,89% текстуальных совпадений с источниками других авторов не являются существенными и представляют собой общенаучные выражения и высказывания в рамках научного направления, соответствующего тематике диссертации.

**Теоретическая значимость.** Разработанные в диссертации методы дают сравнительно простые и эффективные способы исследования положений равновесия спутника и их устойчивости на круговой орбите при влиянии внешних сил. В диссертации получены новые результаты решения общего случая задач о положениях равновесия спутника и их устойчивости на круговой орбите при влиянии гравитационного, гиросtatического, аэродинамического, постоянного и управляющего моментов. Данные результаты имеют важное значение для решения фундаментальных проблем механики космического полета. Развитые в диссертационной работе методы исследования динамики движения спутника могут также найти применение в задачах, связанных с анализом динамики спутников при влиянии других внешних воздействий.

**Практическая значимость.** Полученные в работе результаты могут быть использованы при проектировании пассивных гравитационных и аэродинамических систем управления ориентацией искусственных спутников Земли и космических станций. Разработан конструктивный метод, позволяющий по заданным параметрам спутника проводить исследования пассивного неуправляемого движения спутника и при проектировании новых миссий прогнозировать при каких условиях осуществимы его равновесные ориентации.

**Рекомендации по использованию результатов диссертации.** Результаты диссертационной работы С.А. Гутника могут быть использованы в научных исследованиях Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Института механики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургского государственного университета, Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева, Московского авиационного института (национального исследовательского университета). Эти результаты могут быть также рекомендованы для практического использования в организациях ракетно-космической промышленности таких как РКК "Энергия" им. С.П. Королёва, АО «ЦНИИмаш», НПО прикладной механики им. М.Ф. Решетнева.

**Полнота опубликованных научных результатов и апробация.** Результаты диссертации опубликованы в 22 статьях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий и рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве образования и науки Российской Федерации для опубликования основных научных результатов диссертации, среди которых 20 публикаций в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science. Все материалы диссертационного исследования полностью отражены в опубликованных работах. Результаты диссертации прошли апробацию на международных и всероссийских научных конференциях.

**Замечания по диссертационной работе.**


- 1) В работе приводятся результаты исследования динамики движения спутника относительно центра масс на круговой орбите, при этом динамика спутника на слабо эллиптических орбитах, которые близки к круговым не исследована.
- 2) В главах 1 и 2 области с одинаковым числом положений равновесий спутника в общей постановке определяются численно в узлах равномерной сетки, при этом не указано на возможное отсутствие равновесий в областях между узлами сетки.
- 3) В главе 4 достаточные условия асимптотической устойчивости получены по уравнениям первого приближения. Уравнения динамики спутника, представленные в этой главе, позволяют получить достаточные условия асимптотической устойчивости положения равновесия.
- 4) В диссертации представлен большой набор численных и численно-аналитических расчетов и графического материала, который трудно поддается общему анализу. В работе не видно попыток установления способов определенной классификации и выработки единого подхода к анализу множества положений равновесия и стационарных движений.
- 5) В разделах 1.5 стр. 53 и 2.5 стр. 131 указано, что бифуркационные значения параметров, полученные численно, изменяются в соответствии с точными аналитическим соотношениями, тогда как следует сказать, что эти зависимости выполняются приближенно.
- 6) В тексте диссертации имеются опечатки. Так на стр. 172 в последнем уравнении системы, которая следует за системой (2.10.3) должна стоять точка, вместо запятой. На стр. 182 вместо указания на формулу (22.11.7) должно быть (2.11.7). На графиках 3.1 – 3.8 не указаны значения осей.


Данные замечания не снижают общую положительную оценку результатов диссертационной работы.

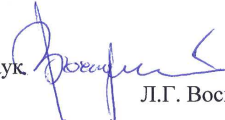
**Общее заключение.** Диссертационная работа Гутника С.А. представляет собой законченное научное исследование, посвященное актуальной научной проблеме, отличающееся научной новизной и практической значимостью полученных результатов. Достоверность результатов работы не вызывает сомнений, сами результаты достаточно полно опубликованы и апробированы. Материал диссертации изложен достаточно ясно и подробно. Полученные результаты полностью соответствуют поставленным в диссертации целям и задачам. Обоснованы все выносимые на защиту научные положения, выводы и рекомендации. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации. По своему содержанию диссертация полностью соответствует специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Диссертация Гутника Сергея Александровича "Динамика движения спутника относительно центра масс с пассивными системами ориентации" полностью удовлетворяет всем требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 01 октября 2018 г. № 1168), а её автор, Гутник Сергей Александрович, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Отзыв составлен профессором Института физических исследований и технологий РУДН доктором физико-математических наук Р.Г. Мухарлямовым, обсуждён и одобрен на собрании Института физических исследований и технологий (протокол №2 от 24.09.2019 г.).

Доктор физико-математических наук,  
Профессор  
Института физических исследований и технологий  
Российского университета дружбы народов  
(специальность 01.02.01 – «Теоретическая механика»)  Р.Г. Мухарлямов

Доктор физико-математических наук,  
профессор,  
Директор Института физических исследований и технологий  
Российского университета дружбы народов  В.И. Ильгисонис

Доктор химических наук, профессор,  
Декан  
факультета физико-математических и естественных наук  Л.Г. Воскресенский  
Российского университета дружбы народов

Российский университет дружбы народов (РУДН):  
117198, Центральный Федеральный округ, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6.  
Телефон: +7 (495) 434-70-27,  
<http://www.rudn.ru/>  
E-mail: [rector@rudn.ru](mailto:rector@rudn.ru)  
Институт физических исследований и технологий РУДН:  
тел/факс: +7 (495) 955-08-13, e-mail: [applphys@yandex.ru](mailto:applphys@yandex.ru).