

Отзыв официального оппонента

о диссертации Дорошина Антона Владимировича «Регулярная и хаотическая динамика спутников-гиростатов при действии малых возмущений», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика

В последнее время развитие космической техники привело к большому разнообразию используемых космических аппаратов, в том числе состоящих из нескольких тел. Одним из типов таких аппаратов являются спутники-гиростаты (СГ), получившие широкое распространение в практике космических исследований. Именно исследованию движений (регулярных и хаотических) этих аппаратов под действием сил различной природы и посвящена диссертация А.В. Дорошина. Так что актуальность темы диссертации с практической точки зрения не вызывает сомнений. С теоретической точки зрения актуальность работы определяется развитием классических случаев движения твердого тела, в которых помимо сил тяжести действуют силы другой физической природы.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, содержащего триста сорок восемь наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы и указаны пути её достижения. Описана структура работы и представлены полученные в ней новые результаты.

В первой главе представлено состояние обсуждаемой в работе проблемы и методы её исследования. В связи с тем, что работа посвящена динамике СГ приведены определения и типы гиростатов. Гиростаты с постоянными относительными движениями роторов и гиростаты с роторами, имеющими независимые степени свободы, что необходимо для реализации возможностей управляемого движения. Гиростаты второго типа и исследуются в работе. Далее в первой главе дан обзор использования спутников-гиростатов в космических исследованиях и результатов изучения динамики, устойчивости и стабилизации стационарных движений в различных силовых полях. Также в первой главе дается обзор результатов и методов исследования хаотической динамики СГ. Указан формализм Мельникова, который используется автором в последующих главах работы.

Вторая глава посвящена математическим моделям возмущенного движения СГ. Изучаемый СГ представляет собой систему двух соосных тел при наличии определенного типа малой асимметрии в конструкции. Уравнения движения системы относительно центра масс представлены в виде динамических и кинематических уравнений Эйлера и уравнения относительного движения ротора. В качестве моментов внешних сил рассматривается магнитный момент, возникающий от взаимодействия собственного дипольного момента аппарата с внешним магнитным полем с постоянным в инерциальном пространстве вектором магнитной индукции. Вводятся также внутренние возмущающие моменты и модельный малый полигармонический возмущающий момент. Далее в работе предполагается, что в невозмущенном движении космический аппарат представляет собой свободный гиростат, вектор кинетического момента которого является постоянным и направлен по вектору магнитной индукции. Уравнения возмущенного движения представляются в переменных Андуайе-Депри, ограничиваясь

членами не выше первого порядка малости. Отмечается, что в уравнениях движения отделяется система с двумя степенями свободы, которая дольше исследуется отдельно.

Третья глава посвящена аналитическим решениям для различных движений СГ. Рассматривается три класса движений. Класс движений Эйлера для СГ, при указанном выше предположении постоянстве вектора кинетического момента и действий малых магнитных моментов, состоящих из двух частей: момента, пропорционального компонентам угловой скорости гиростата и момента, соответствующего наличию внутри спутника постоянного продольного магнита. Получены точные аналитические выражения для компонента угловой скорости гиростата в виде эллиптических функций Якоби. Из полученных решений следуют известные решения для задачи о движении свободного гиростата, при отсутствии ротора – для классического случая Эйлера движения твердого тела. Рассмотрен случай, когда эллиптические функции вырождаются в гиперболические. В этом случае решения соответствуют движению вдоль сепаратрис в фазовом пространстве и определяют динамику образования гетероклинических расщеплений при действии возмущений. Эти решения обобщают соответствующие гетероклинические решения, имеющие место для случая свободного гиростата и свободного твердого тела.

В классе движений Лагранжа для тяжелого симметричного гиростата при действии внутреннего момента между соосными телами показано, что тяжелый гиростат с произвольным внутренним моментом совершает движение, подобное движению тяжелого твердого тела. Отличие состоит в том, что продольная угловая скорость является функцией времени, определяемой видом внутреннего момента взаимодействия соосных тел, задавая который можно получать различные режимы движения. Приводится общее решение для динамически симметричного гиростата с собственным магнитным диполем, пропорциональным компонентам угловой скорости, в магнитном поле с постоянным вектором магнитной индукции. Далее в третьей главе рассматривается движение гиростата около центра масс в центральном ньютоновском поле сил в предположении о сохранении величины вектора кинетического момента гиростата. Отмечена связь полученных результатов со случаем Стеклова движения твердого тела в центральном поле.

Полученные в третьей главе решения используются далее при исследовании хаотизации движений под действием возмущений различной природы.

Четвертая глава посвящена исследованию хаотических процессов, которые могут возникать в движении СГ при действии малых внутренних и внешних возмущений различной природы. Показано, что внутренних возмущений полигармонического вида возникают хаотические режимы, для обнаружения которых применяется метод Мельникова с использованием гетероклинических решений, полученных в третьей главе. Далее в четвертой главе рассматривается возникновение хаотических движений СГ при наличии малых полигармонических возмущений собственного дипольного момента, а также при наличии малых сил центрального поля тяготения. Помимо внутренних и внешних силовых возмущений к хаотическому поведению могут приводить и конструкционные несовершенства (асимметрии). Показано, что при определенном наборе асимметрий функция Мельникова-Виггенса имеет бесконечное множество простых корней, что доказывает принципиальное присутствие динамического хаоса в возмущенном движении асимметричного СГ. Далее в четвертой главе рассматриваются методы подавления обнаруженного хаоса в динамике СГ. Отмечается, что в случае гамильтоновых возмущений невозможно устранение хаоса без устранения самих

возмущений. В случае негамильтоновых возмущений можно обеспечить выполнение условий подавления хаоса и обсуждаются конкретные способы такого подавления.

Все полученные в четвертой главе результаты хорошо иллюстрируются представленным графическим материалом.

В пятой главе представлены методы пространственной переориентации СГ, разработанные на основе полученных в третьей главе аналитических решений и изученных в четвертой главе свойств динамического хаоса. Хаотическое поведение системы может рассматриваться и как возможный инструмент изменения качественных свойств движения СГ, в том числе и возможную переориентацию аппарата. Суть предлагаемого метода состоит в переходе из начального регулярного режима движения в хаотический режим движения, а затем из хаоса в новый требуемый регулярный. Хаотизирующие воздействия формируются за счёт гармонического собственного дипольного момента и гармонического внутреннего момента сил раскрутки ротора. Далее в пятой главе рассматривается метод переориентации СГ при помощи магнитных моментов, который состоит в чередовании интервалов свободного движения и интервалов с включенным магнитным актуатором. В последнем параграфе пятой главы рассматривается движение динамически симметричного СГ, одно из соосных тел которого обладает переменной массой. В качестве примера рассматривается случай постоянного внутреннего момента и постоянного реактивного момента при линейных законах изменения массы и моментов инерции ротора.

В заключении кратко сформулированы основные результаты диссертации.

Теоретическая значимость и практическая ценность исследования

Полученные в диссертации результаты имеют теоретическое значение, поскольку представляют собой существенный вклад в развитии классических проблем динамики твердого тела. Практическая ценность определяется разработанными методами подавления хаоса, который может возникнуть в процессе движения спутника-гиростата, а также в методах переориентации космических аппаратов при помощи инициации хаотического движения.

Обоснованность и достоверность результатов

Достоверность полученных результатов обосновывается применением строгих методов математики и механики, доказанностью сформулированных утверждений, а также эффективностью предложенных алгоритмов, подтвержденных численным моделированием. Все представленные в диссертации научные результаты являются новыми и получены лично автором.

Замечания по диссертационной работе

В работе рассматривается движение спутника гиростата около центра масс, но гравитационный момент и орбитальное движение не учитываются.

В тех случаях, когда гравитационный момент принимается во внимание, момент центробежных сил не рассматривается.

Вектор индукции магнитного поля моделируется вектором, постоянным по величине и направлению, что, конечно, является сильным упрощением.

При рассмотрении аналитических решений для случая типа Лагранжа говорится о тяжелом спутнике гиростате (пункт 3.3)

Нумерация пятой главы продолжает нумерацию четвертой

Общая оценка диссертационной работы

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертация А.В. Дорошина представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком научном уровне. Результаты работы неоднократно докладывались на международных и российских конференциях. Работа в должной мере опубликована в изданиях, входящих в перечень, рекомендованных ВАК РФ. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Таким образом, работа «Регулярная и хаотическая динамика спутников гиростатов при действии малых возмущений» удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Дорошин Антон Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика.

Главный научный сотрудник НИИ механики
МГУ имени М.В. Ломоносова
Доктор физико-математических наук
Профессор

Подпись В.М. Морозова заверяю
директор НИИ механики МГУ
академик РАН



В.М. Морозов

Ю.М. Окунев