

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
д.т.н., профессор Равикович Юрий Александрович



27.09

2019

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Дорошина Антона Владимировича на тему «Регулярная и хаотическая динамика спутников-гиростатов при действии малых возмущений», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика

Актуальность темы исследования.

Диссертационная работа посвящена исследованию регулярных и хаотических вращений спутников-гиростатов относительного собственного центра масс. Известно, что гироскопические системы, содержащие быстро вращающиеся роторы, получили широкое применение в вопросах пассивной стабилизации стационарных режимов спутников на круговой и эллиптической орбитах. Помимо этого, спутники-гиростаты используются в космических системах телекоммуникаций, метеорологии и дистанционного зондирования, участвуют в реализации таких космических программ, как Intelsat, Comstar, Anik, Marisat, Geostationary Meteorological 10 Satellites (GMS) и др.

С точки зрения фундаментальных исследований, изучение движения гироскопов в сложных силовых полях составляет важное направление исследований в динамике твердого тела. Изучение хаоса в поведении спутников-гиростатов также представляет собой очень важное направление научных исследований в механике.

Таким образом, актуальность темы исследований в диссертационной работе Дорошина А.В. не вызывает сомнений.

Краткий анализ содержания работы

Во введении обоснована актуальность темы исследований, дана постановка задачи, где особое внимание уделяется хаотическим режимам колебаний спутника-гиростата, кратко изложена структура диссертации.

Первая глава посвящена описанию различных типов гиростатов, аспектам их использования, краткому описанию работ предшественников и методам исследования гомо/гетероклинического хаоса.

Вторая глава посвящена описанию моделям движения спутника – гиростата, выводу дифференциальных уравнений вращения, на основе использования теорем физической динамики и методов аналитической механики. Подробно описываются переменные задачи, представленные в виде каноническом переменных Депри-Андуайе, содержащих дополнительную пару сопряженных переменных, задающих независимое вращение телоротора вокруг собственной оси вращения, описываются типы динамической асимметрии и связанные с асимметрией малые параметры. Показано, что система содержит три малых

параметра, которые автор исследований связывает между собой линейным образом, редуцируя задачу к одному малому параметру. Описываются типы возмущений, учитываемые моделью (гравитационные и магнитные). Получено явное представление (в линейном приближении по малому параметру) выражений для потенциальной и кинетической энергии, выписана полная замкнутая система уравнений возмущенных движений спутника.

Третья глава посвящена представлению различных типов вращения спутника-гиростата и аналитическому описанию его невозмущенных много параметрических движений. Исследуются три типа движений. Во-первых, движения типа Эйлера при малых возмущениях магнитной природы, когда совпадают направления кинетического момента и вектора внешней магнитной индукции в начальный момент времени. Во вторых, исследуются движения типа Лагранжа для динамически симметричного спутника – гиростата, когда учитывается внутренний момент трения между соосными телами; исследуется также намагниченный спутник. В третьих, исследуется случай малых возмущений в центральном поле тяготения, что приводит к обобщению случая Стеклова.

Описываются (аналитически) различные типы невозмущенных движений спутника-гиростата. Для эйлерова класса решений получено общее решение невозмущенной задачи, когда учитываются только магнитные моменты, получены уравнения сепаратрис. Для лагранжева класса решений также получено общее решение невозмущенной задачи. Аналогичные результаты получены для движений типа Стеклова, связанные с вращениями осевого гиростата в случае конической прецессии в слабом центральном поле тяготения.

В четвертой главе исследуются хаотические режимы вращений спутника-гиростата под действием внутренних и внешних возмущений. Исследуется, с помощью сечений Пуанкаре и анализа функции Мельникова, хаос при малых полигармонических внутренних возмущениях, когда отсутствует асимметрия конструкции. В этом случае динамическая система сводится к системе с одной степенью свободы. Приводится анализ хаотических вращений при малых внешних возмущениях, обусловленных возмущениями в дипольном моменте спутника. Опять таки динамическая система сводится к системе с одной степенью свободы. Явление хаоса описано также в чисто консервативной гамильтоновой системе, когда спутник – гиростат совершает коническую прецессию в слабом центральном поле сил тяготения. Исследуется хаос при наличии малой асимметрии и магнитных возмущений. Здесь динамическая система не сводится к системе с одной степенью свободы. Анализ корней функции Мельникова приводит к выводу о наличии хаоса, численно построены фрагменты гетероклинической сети. Исследован хаос при диссипативных возмущениях. Здесь был использован формализм Мельникова – Виггинса. Описаны методы подавления хаоса с помощью сил трения, с помощью кратковременных импульсов во внутреннем силовом моменте раскрутки тела-ротора, с помощью изменения структуры фазового пространства путем включения/отключения продольного дипольного магнитного момента.

Пятая глава посвящена прикладным аспектам динамики спутников-гиростатов постоянного и переменного состава. Описывается принципиально новая схема переориентации спутника в пространстве с помощью хаоса. Для этого, используя внутренний момент раскрутки ротора, увеличивается продольная составляющая угловой скорости тела – платформы и динамическая система оказывается в окрестности гетероклинической траектории невозмущенной задачи. Включается режим работы двигателя ротора с гармоническими моментами сил (либо дипольный магнитный момент настраивается на режим, в котором присутствуют гармонические моменты сил). В результате возникает «контролируемый» хаос во вращении спутника, позволяющий отслеживать выход динамической системы в нужную область фазового пространства. Поскольку невозмущенная динамика определяется четырьмя главными зонами колебаний,

фазовая точка может оказаться в любой из этих областей. По достижении нужной области, соответствующей целевой ориентации, хаос «отключается». В этом суть нового метода переориентации.

В конце каждой главы диссертации перечислены основные результаты исследований, представленные в этой главе.

Новизна исследований и полученных результатов

1. Описаны общие и гетероклинические решения в невозмущенной динамике одноосных спутников – гиростатов, обобщающие некоторые классические исследования в динамике свободного гиростата, в динамике твердого тела, движущегося под действием восстанавливающих моментов.

А именно,

- получено общее решение для намагниченного одноосного спутника-гиростата с малым переменным дипольным моментом,

- описаны его гетероклинические решения в переменных действие – угол (в ω -режиме) для случая цилиндрических прецессий

- общее решение для тяжелого осевого гиростата с произвольным внутренним моментом сил, приведенное к случаю Лагранжа

- общее решение в случае намагниченного одноосного динамически симметричного спутника-гиростата с переменным дипольным моментом (в ω -режиме) произвольной величины

- общее решение для конической прецессии спутника-гиростата в слабом центральном гравитационном поле

2. Условия возникновения хаоса во вращательных движениях спутника-гиростата и способы его подавления

Найдены условия расщепления многообразий сепаратрис и рождения гомо-/гетероклинических сетей и хаоса на основе формализма Мельникова-Виггинса, описаны три способа подавления хаоса: с помощью диссипативных сил, с помощью генерации импульса, с помощью включения/отключения продольного дипольного магнитного момента

3. Новые методы пространственной переориентации спутника

Описаны принципиально новые методы изменения пространственной ориентации спутника-гиростата, использующие свойства хаотических и регулярных движений: метод хаотической переориентации спутника-гиростата, метод магнитной переориентации спутника-гиростата путем выполнения серий ω -режимов, метод синтеза прецессионного движения с уменьшающимся конусом нутации для спутника-гиростата переменного состава

Полученные результаты и выводы являются обоснованными вследствие корректности использованных моделей, достоверности численных расчетов, а также сопоставления результатов моделирования с результатами других авторов.

Значимость полученных результатов для науки и практики

Построены аналитические модели вращений спутника-гиростата, описывающие вращения космического аппарата при разных видах внешних и внутренних возмущений, описаны аналитические и численные методы решения задачи, что является результатом очень большой и кропотливой работы. Безусловно, эти результаты представляют интерес как в области классической динамики гиростатов, так и в прикладной области разработки космических платформ с системами управления вращательным движением космических

аппаратов. Отметим также, что использование хаотических режимов вращения для переориентации спутника – гиростата является новым словом в практической космодинамике.

Автором диссертации получены два патента на изобретение новых способов переориентации космических аппаратов.

Результаты исследований могут быть использованы в организациях аэрокосмической отрасли (ЦНИИМаш, НПО Машиностроения и др.), в институтах РАН и учебных университетах (МГУ, МАИ, МГТУ им. Баумана и др.)

Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Диссертация Дорошина А.В. представляет собой законченный труд, выполненный на высоком научном уровне. Текст написан достаточно ясно с подробным изложением результатов, читается легко, аккуратно оформлен, со множеством иллюстрирующих рисунков и таблиц, подробно изложены математические выкладки. Список литературы содержит 348 источников, достаточно полон, хотя ряд публикаций, посвященных теме исследований, отсутствует.

Соответствие автореферата диссертации

Основные результаты и выводы представлены в автореферате. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Замечания

1. В диссертации используется линейная редукция между тремя малыми параметрами асимметрии, приводящая уравнения движений к одному малому параметру. Однако редуцированные уравнения не эквивалентны исходным, поэтому возможна потеря информации.

2. В диссертации используются приближенно-аналитические методы анализа. Нет оценок точности приближения.

3. Случай Лагранжа для гироскопа в однородном поле силы тяжести не имеет прямого отношения к динамике спутников. Его следовало бы вынести в приложение.

4. На рис. 2.3 нет поперечной составляющей m_{\perp} момента m , о которой говорится на стр. 43.

Общее впечатление от диссертации весьма высокое, поэтому указанные замечания не снижают значимости работы автора.

Заключение

Диссертация Дорошина А.В. на тему «Регулярная и хаотическая динамика спутников-гиростатов при действии малых возмущений» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является законченной научно-квалификационной работой. Автором получены новые теоретические результаты, которые, без сомнения, можно квалифицировать как новое научное достижение. Диссертационная работа соответствует критериям п. 9-11, 13, 14 постановления «Положение о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), поэтому ее

ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), поэтому ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.02.01 «Теоретическая механика».

Результаты диссертации были доложены соискателем 20 июня 2019 г. на заседании объединенного научного семинара кафедр 802, 811 факультета «Информационные технологии и прикладная математика» МАИ и получили положительные отзывы специалистов. Отзыв на диссертацию Дорошина А.В. рассмотрен и одобрен на заседании кафедры моделирования динамических систем МАИ (протокол № 1 от 31.08.2019).

Зав. каф. «Моделирование динамических систем» МАИ,

д.ф.-м.н., проф.



П.С. Красильников