

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора Грушлякова В.И. на диссертационную работу Бакри Ибрагима «Синтез законов стабилизации пространственного движения космического аппарата с малой асимметрией в атмосфере Марса», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16.

Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

Актуальность темы диссертации

В настоящее время значительно увеличилось количество миссий по исследованию Марса. В большинстве этих миссий производится доставка различного оборудования на поверхность планеты. Практика освоения Марса показывает, что задача безаварийного спуска космического аппарата на поверхность Марса является одной из наиболее технически сложных и аварийно-опасных задач современной космонавтики. В этой связи следует отметить значительное отличие характеристики атмосфер Марса и Земли. При этом физические характеристики атмосферы Марса изменяются в течение времени года в зависимости от расположения планеты относительно Солнца. Кроме того, на состояние атмосферы Марса существенное влияние оказывают различные возмущающие погодные факторы.

В этой связи, выполнение заданных ограничений на вращательное движение КА при спуске на поверхность Марса является важной практической задачей. При этом требуется сохранить заданные ограничения на величины пространственного угла атаки и угловой скорости, обеспечивающие безопасное функционирование тормозной парашютной системы.

Известно, что присутствие малых асимметрий на борту неуправляемого КА может привести к реализации длительного резонанса. В результате может произойти значительное увеличение пространственного угла атаки или угловой скорости спускаемого КА, что может быть причиной аварийной ситуации при вводе в действие тормозной парашютной системы. По этой причине, с целью обеспечения безаварийного спуска КА в атмосфере Марса следует решить задачу по одновременному управлению угловой скоростью и пространственным углом атаки. Кроме того, важным аспектом обеспечения безаварийного спуска является получение оценки допустимых значений параметров асимметрий, позволяющих избежать реализации резонанса при неуправляемым движением в атмосфере Марса.

Таким образом, увеличение числа миссий КА, осуществляющих спуск в атмосфере Марса, потребность в обеспечении безаварийности атмосферного спуска КА с малой асимметрией на поверхность Марса, необходимость как учёта одновременного управления угловой скоростью и пространственным углом атаки, так и оценки диапазона допустимых значений параметров асимметрии, позволяет сделать вывод об *актуальности* диссертационного исследования Бакри И. на тему «Синтез законов стабилизации пространственного движения космического аппарата с малой асимметрией в атмосфере Марса».

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

В известных работах по получению непрерывных оптимальных законов управления ориентацией КА при спуске в атмосфере Марса, учитывающих возмущающее влияние малой асимметрии на вращательное движение КА, получен только закон для управления угловой скоростью. При этом пространственный угол атаки остался без

Входящий № ¹ 206-8789
Дата 30 ОКТ 2023
Самарский университет

управления, что существенно осложняют реализацию требуемых ограничений по его величине, обеспечивающих безаварийное функционирование парашютной системы.

В диссертационной работе Бакри И. «Синтез законов стабилизации пространственного движения космического аппарата с малой асимметрией в атмосфере Марса» получены следующие новые результаты:

1. Получены непрерывные оптимальные законы одновременного управления угловой скоростью и пространственным углом атаки, обеспечивающие стабилизацию спускаемых КА относительно вектора скорости в атмосфере Марса, которые учитывают возмущающие влияние малой асимметрий на вращательное движение КА.

2. Рассмотрены дискретные аналоги непрерывных оптимальных законов управления, обеспечивающих заданную ориентацию КА в атмосфере Марса, позволяющие учесть влияние дискретного характера работы двигателей на процесс стабилизации КА.

3. Предложена методика и алгоритм оценки (расширенного относительно известных результатов) диапазона допустимых значений параметров асимметрий, позволяющие исключить влияние главного резонанса на вращательное движение неуправляемых КА в атмосфере Марса.

4. Получены результаты численного моделирования управляемого движения КА с различными сочетаниями асимметрий в атмосфере Марса.

Степень обоснованности и достоверности каждого из полученных положений, выводов и заключений

Обоснованность результатов базируется на использовании классического метода теории оптимального управления (метода динамического программирования), обеспечивается корректным применением асимптотического метода анализа возмущённых динамических систем (метода усреднения), а также подтверждается результатами численного моделирования. Сравнение полученных результатов с известными результатами, полученными ранее другими авторами, также подтверждает их достоверность. При этом результаты диссертации Бакри И. не противоречат известным результатам, но являются их обобщением. Причём, это относится, как к результатам по одновременной стабилизации угловой скорости и пространственного угла атаки, так и для оценки допустимых значений параметров асимметрии при неуправляемом спуске КА с малой асимметрией в атмосфере Марса.

Апробация результатов, полученных в диссертационной работе, осуществлялась на 7 международных и всероссийских научных конференциях. Основные положения, выводы и результаты диссертации содержатся в публикациях её автора.

Значимость результатов, полученных в диссертации для науки и практики

Среди результатов диссертации, имеющих научную значимость, следует отметить: непрерывные оптимальные законы управления угловой скоростью и пространственным углом атаки, обеспечивающие стабилизацию КА относительно вектора скорости в атмосфере Марса, учитывающие возмущающее влияние малых асимметрий спускаемых КА и обеспечивающие достижение требуемой стабилизации КА в течение интервала времени, начинающегося с момента входа в атмосферу до момента раскрытия тормозного парашюта. Кроме того, практическую значимость имеют рассмотренные в работе численные результаты по применению дискретных аналогов непрерывных оптимальных законов управления, обеспечивающих требуемую стабилизацию КА в атмосфере Марса, учитывающие влияние дискретного характера работы управляющих двигателей на

процесс стабилизации КА. Более того, практический интерес также представляют методика и алгоритм оценки расширенного диапазона допустимых значения параметров малых аэродинамической и инерционной асимметрий спускаемых КА, позволяющие исключить влияние главного резонанса при неуправляемом спуске КА с указанными видами асимметрий в атмосфере Марса. Построенная методика также может быть использована при проектировании спускаемых КА. Разработанное программное обеспечение может быть использовано при проектировании системы управления ориентацией асимметричных КА, производящих спуск в атмосфере Марса.

Соответствие автореферата и диссертации паспорту специальности

Область исследования диссертации соответствует п.1 «Разработка и совершенствование математических моделей, используемых для описания движения и управления летательным аппаратом на различных режимах полёта», п. 8 «Синтез терминального управления движением ЛА», п. 10 «Исследование и разработка методов синтеза законов управления движением ЛА в условиях разнообразных неопределённостей...» паспорта специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов, отрасль наук – технические науки.

Общие замечания по содержанию и оформлению диссертации

Структура диссертации существенных замечаний не вызывает. Диссертационная работа выстроена логически чётко и содержит подробное описание решаемых в ней задач. Рукопись работы состоит из введения, трёх глав, заключения и списка использованных источников. Объем диссертации составляет 113 страниц. Тематика и содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором либо лично, либо при его определяющем личном участии. Материалы диссертации изложены в 10 печатных работах, в том числе 4 статьях, опубликованных в журналах, входящих в список ВАК, а также в 2 статьях, опубликованных в изданиях, индексируемых в Scopus.

Структура диссертации соответствует заявленной теме, цели работы и задачам исследования, а также раскрывает основные вопросы и выводы. Диссертация содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые автором для защиты, что свидетельствует о личном вкладе её автора в динамику и управление движением КА. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями.

Однако, диссертационная работа не свободна от некоторых замечаний:

1. В работе рассматривается исключительно управление движением КА относительно центра масс в атмосфере Марса, а управление траекторией спуска не производится.

2. Основные результаты работы относятся к управляемому движению. Третья глава несколько выходит за рамки этой тематики, так как в ней рассматривается неуправляемый спуск.

3. В диссертации, сочетание разных видов асимметрий осуществляется случайным образом, а не на основе выбора наиболее важных по их значению сочетаний асимметрий.

4. Из текста работы не совсем ясно, начиная с какого момента времени при неуправляемом спуске начинается процесс управляемой стабилизации угловой скорости КА посредством включения бортовых реактивных двигателей.

Представленные замечания не снижают научную и практическую значимость диссертационной работы Бакри И., но свидетельствуют не столько об ошибках автора, сколько характеризуют многогранный характер исследуемых вопросов и указывают на наличие перспективы в данных научных исследованиях, научная основа которых была заложена соискателем в рассматриваемой работе, что, несомненно, подтверждает ценность диссертации для науки и техники.

Заключение

Кандидатская диссертация Бакри Ибрагима «Синтез законов стабилизации пространственного движения космического аппарата с малой асимметрией в атмосфере Марса» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных автором исследований были получены непрерывные оптимальные законы одновременного управления по угловой скорости и пространственному углу атаки, обеспечивающие заданную стабилизацию КА относительно вектора скорости в атмосфере Марса. Рассмотрены численные результаты применения дискретных аналогов новых непрерывных оптимальных законов управления, обеспечивающих заданную стабилизацию КА относительно вектора скорости в атмосфере Марса и позволяющих учесть влияние дискретного характера работы двигателей при моделировании движения КА с помощью новых законов оптимального управления. Предложены методика и алгоритм построения диапазона допустимых значения параметров малых асимметрий спускаемого КА, позволяющие исключить влияние главного резонанса при его неуправляемом вращательном движении в атмосфере Марса, представляющие научную и практическую значимость.

Диссертационная работа содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе её автора в науку. Диссертация соответствует областям исследования, указанным в пунктах 1, 8 и 10 паспорта специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов. В работе содержатся практические рекомендации по использованию полученных результатов. Предложенные автором решения аргументированы и произведено их сравнение с известными решениями.

Диссертационная работа оформлена в соответствии с Положением о присуждении учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842 (ред. от 28.08.2017), а также соответствует требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук, утверждённого Приказом МинОбрНауки России от 10.11.2017 №1093 к оформлению диссертаций.

Материалы диссертации в полном объёме представлены в публикациях автора, известны научной общественности и достаточно апробированы. Основное содержание, результаты, выводы и рекомендации диссертации отражены в 10 печатных работах, в том числе: в четырёх статья в журналах из списка ВАК и в двух статьях в журналах, входящих в Scopus.

В автореферате диссертации сформулированы идеи, изложены основные результаты и приведены выводы по данному диссертационному исследованию, показан вклад соискателя в решение поставленных задач, отражена актуальность, показана степень новизны, отмечена значимость результатов исследования и обоснована структура диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Бакри И. на тему «Синтез законов стабилизации пространственного движения космического аппарата с малой асимметрией в атмосфере Марса» соответствует специальности 2.5.16. Динамика, баллистика,

