

## ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н. Корянова Всеволода Владимировича  
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**

Спуск космического аппарата (КА) в разрежённой атмосфере Марса является одной из наиболее технически сложных и аварийно-опасных задач современной космонавтики. Одной из ключевых задач марсианских миссий является безаварийный спуск космического аппарата в атмосфере. Для обеспечения успешного спуска чрезвычайно важным является обеспечение заданной ориентации КА. Известно, что физические характеристики атмосферы Марса изменяются в течение времени года в зависимости от расположения планеты относительно Солнца. Кроме того, они зависят от различных возмущающих погодных факторов.

Следует отметить, 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, необходимо решить задачу управления угловой скоростью и пространственным углом атаки при управляемом спуске в атмосфере Марса.

Отдельная важная задача – это определение допустимых значений параметров асимметрий, способствующих нерезонансному неуправляемому движению КА в атмосфере Марса. При этом ограничение величины асимметрии КА, выбранной из найденного интервала допустимых значений асимметрии позволяет ограничить угловое ускорение, что может обеспечить нерезонансный режим движения на протяжении всего времени спуска.

*Актуальность* темы диссертации определяется требованием обеспечения безаварийности спуска КА на поверхность Марса, что достигается разработкой законов одновременной стабилизации по угловой скорости и пространственному углу атаки, а также обеспечивается нахождением допустимых значений параметров асимметрий с целью их учёта при проектировании КА.

### **Новизна проведенных исследований и полученных результатов**

Новизна проведенных исследований и полученных результатов определяется тем, что в диссертационной работе Бакри И. «Синтез законов стабилизации пространственного движения космического аппарата с малой асимметрией в атмосфере Марса» получены непрерывные оптимальные законы одновременного управления по угловой скорости и пространственному углу атаки, обеспечивающие заданную стабилизацию КА относительно вектора скорости в атмосфере Марса, учитывающие возмущающие влияние малой аэродинамической и малой массово-инерционной асимметрии на вращательное движение КА. В работе также рассмотрены дискретные аналоги новых непрерывных

Входящий № 206-908  
Дата 23 НОЯ 2023  
Самарский университет

оптимальных законов управления, обеспечивающие заданную стабилизацию КА относительно вектора скорости в атмосфере Марса, позволяющие учесть влияние дискретного характера работы двигателей при моделировании движения с помощью новых законов оптимального управления. Кроме того, в диссертации Бакри И. предложены методика и алгоритм определения диапазона допустимых значения малой асимметрии спускаемого КА, позволяющие исключить влияние главного резонанса при неуправляемом движении данного КА в атмосфере Марса.

#### **Степень обоснованности и достоверности 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, являясь их обобщением. Апробация результатов, полученных в диссертационной работе, осуществлялась на нескольких международных и всероссийских научных конференциях. Основные положения, выводы и результаты диссертации содержатся в публикациях автора данной диссертации.

#### **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. Следует также отметить значимость для науки и практики численных результатов по применению дискретных аналогов непрерывных оптимальных законов управления, демонстрирующих достижение требуемой стабилизации КА в атмосфере Марса и учитывающих влияние дискретного характера работы управляющих двигателей на процесс стабилизации КА. Методика и алгоритм оценки расширенного диапазона допустимых значения параметров малых аэродинамической и инерционной асимметрий спускаемых КА также имеют практическую значимость, так они позволяют исключить негативное влияние главного резонанса на обеспечение заданной ориентации КА при неуправляемом спуске в атмосфере Марса. При этом данная методика может быть использована при проектировании и эксплуатации спускаемых КА.

#### **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.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

#### **Общие замечания по содержанию и оформлению диссертации**

Структура диссертации существенных замечаний не вызывает. Изложение диссертации логично и содержит подробное описание всех основных вопросов по выбранной тематике работы. Рукопись диссертации состоит из введения, трёх глав, заключения и списка использованных источников. Объем диссертации составляет 113 страниц. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором либо лично, либо при его определяющем личном участии. Структура диссертации соответствует заявленной теме, цели работы и задачам исследования, а также раскрывает основные вопросы и выводы. Диссертация содержит новые научные результаты и положения, представленные автором для защиты, что свидетельствует о значительном личном вкладе её автора в динамику и управление движением КА.

Вместе с тем по работе имеется ряд замечаний:

1. Верификация полученных решений и оценка их точности проведена только на основании сравнения аналитических и численных решений. Проведение экспериментального исследования или сравнить с настоящими результатами стабилизаций рассмотренных КА позволили бы повысить надежность получаемых оценок.

2. В диссертационном исследовании было бы возможно использовать более сложную модель атмосферы Марса, учитывающую, к примеру, степень ее турбулентности или изменения характеристики атмосферы от времени в зависимости времени года.

3. В цели работы сказано про «момент ввода парашютной системы». Однако далее в тексте диссертации чаще используется термин «до момента ввода парашютной системы». В тексте диссертации лучше было бы более подробно описать работу парашютной системы.

4. В работе не приведена конструкторская проработка предложенных решений, связанных с реализацией ограничений, накладываемых на массовую и аэродинамическую асимметрию КА.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости работы и положительной оценки диссертационного исследования.

#### **Заключение**

Кандидатская диссертация Бакри Ибрагима «Синтез законов стабилизации пространственного движения космического аппарата с малой асимметрией в атмосфере Марса» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи анализа и синтеза динамики и управления спускаемых в атмосфере Марса космических аппаратов с малой асимметрией с учётом резонансных возмущений, имеющей существенное значение в аэрокосмической отрасли.

Диссертационная работа содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора в науку. Диссертация соответствует областям исследования, указанным в пунктах 1, 8 и 10 паспорта специальности 02.05.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Диссертационная работа оформлена в соответствии с Положением о присуждении учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842 (редакция от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020), 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 полностью представлены в публикациях автора, известны научной общественности и достаточно апробированы. Содержание диссертации отражено в 10 печатных работах, в том числе: в четырёх статьях в журналах из списка ВАК и двух статьях в журналах, включённых в Scopus.

Автореферат диссертации полностью соответствует её содержанию и включает: оценку актуальности и новизны исследования, основные результаты работы, оценку вклада соискателя в решение поставленной задачи, и подробное описание структуры диссертации.

В целом, 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, управление движением летательных аппаратов, удовлетворяет требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор, Бакри Ибрагим заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,  
доцент, кандидат технических наук  
по специальности 05.07.09 Динамика,  
баллистика, управление движением  
летательных аппаратов, доцент кафедры  
«Динамика и управление полетом ракет и  
космических аппаратов» федерального  
государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана»



Корянов Всеволод Владимирович

10.11.2023

Служебный адрес:

105005, Российская Федерация, г. Москва, Госпитальный переулок, дом 10

сайт организации <https://www.bmstu.ru>

тел. +7(499) 261-45-90

e-mail: [vkoryanov@bmstu.ru](mailto:vkoryanov@bmstu.ru)



ЗАБЕРЯЮ

УПРАВЛЕНИЕ НАУКИ И ТЕХНИКИ

293-80-49