



Российский университет
дружбы народов (РУДН)

ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198
ОГРН 1027739189323; ОКПО 02066463; ИНН 7728073720

Телефон: +7495 434 53 00, факс: +7495 433 15 11
www.rudn.ru; rudn@rudn.ru

26 февраль 2018 г.
№ 2018-01-03/94

Председателю диссертационного совета
Д 212.125.12 на базе Московского
Авиационного Института (национального
исследовательского университета),
д.т.н., проф. В.В. МАЛЫШЕВУ

Волоколамское ш., д.4, Москва, А-80,
ГСП-3, 125993

Об отзыве ведущей организации
На вх. № 604-10-309 от 25.12.2017 г.

Уважаемый Вениамин Васильевич!

Направляем Вам отзыв ведущей организации – Российского университета дружбы народов на диссертационную работу Хуана Ичуна «Управление движением космического аппарата, совершающего мягкую посадку на Луну по схеме с зависаниями», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Приложение: отзыв ведущей организации на 6 л. в 2 экз.

Первый проректор -
проректор по научной работе



Н.С. Кирабаев

Исп. Купреев С.А.
т. 8 495 955 09 61

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 26 02 2018

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор – проректор
по научной работе Российского
университета дружбы народов,
д.ф.н., профессор,

Н.С. Кирабаев



ОТЗЫВ

ведущей организации – Российского университета дружбы народов на диссертационную работу Хуана Ичуна «Управление движением космического аппарата, совершающего мягкую посадку на Луну по схеме с зависаниями», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Актуальность темы диссертационной работы

Полеты автоматических космических аппаратов (КА) к Луне с мягкой посадкой на ее поверхность являются одним из актуальных направлений развития современной космонавтики. Для решения научных задач на лунной поверхности планируется совершать посадки КА не только на территориях относительно гладких лунных морей, но также в областях со сложным рельефом поверхности Луны, в том числе расположенных в окрестности лунных полюсов.

В этих условиях становится актуальной проблема оперативного выбора и уточнения конкретного места посадки непосредственно в полете КА с использованием специальной бортовой аппаратуры наблюдения. Для эффективной работы такой аппаратуры необходимо предусмотреть этапы зависания КА в вертикальном положении с нулевой скоростью в нескольких точках траектории посадки аппарата.

Поэтому научное исследование, результаты которого представлены в диссертационной работе аспиранта Хуана Ичуна, посвященной рассмотрению вопросов управления движением КА при мягкой посадке на поверхность Луны по схеме с зависаниями, следует рассматривать как весьма актуальное.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Работа содержит 133 страницы, 97 иллюстраций, 11 таблиц, одно приложение. Список используемой литературы включает 67 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируются цель, задачи, объект и предмет исследования, приводятся сведения о научной новизне, практической значимости, апробации результатов исследования, а также формулируются основные положения, выносимые на защиту.

В главе 1 дается краткий обзор миссий и схем полетов автоматических и пилотируемых КА к Луне с посадкой на ее поверхность. Рассматриваются различные схемы реализации мягкой посадки, анализируются их преимущества и недостатки. Обосновывается целесообразность использования схемы мягкой посадки с зависаниями, являющейся предметом исследования в данной диссертационной работе. Обсуждаются этапы реализации данной схемы, рассматриваемые в работе.

В главе 2 излагается методика решения задачи формирования оптимальной программы управления вектором тяги двигателя торможения (ДТ) на этапе основного торможения при реализации рассматриваемой в работе схемы мягкой посадки. Предлагаемое решение отличается от применявшихся ранее решений следующими двумя основными особенностями: оптимальная программа управления вектором тяги ДТ формируется совместно с выбором относительной массы двигательной установки (ДУ), а в качестве терминального условия в момент окончания этапа основного торможения помимо достижения нулевой скорости КА выдвигается условие вертикальной ориентации продольной оси аппарата.

В главе 3 работы представлена методика приближенного решения задачи формирования программы управления вектором тяги ДТ на этапе управляемого спуска из точки первого зависания в момент окончания этапа основного торможения на высоте около 2400 м в точку второго зависания на высоте около 100 м над выбранной точкой посадки при выполнении заданных граничных условий: нулевая скорость и вертикальная ориентация оси КА в моменты начала и окончания этапа. Точка второго зависания может быть удалена относительно точки первого зависания на расстояние до 2000 м по горизонтали в любом направлении. В качестве минимизируемого критерия оптимальности рассматривается относительная масса топлива, затрачиваемого на реализацию этапа.

Глава 4 работы посвящена задаче навигации КА при управлении его движением по рассматриваемой схеме с учетом состава и погрешностей навигационных приборов и возмущений, действующих на КА в полете. Задача навигации решается при трех вариантах построения навигационной системы (НС), в том числе с помощью стандартной БИНС, БИНС с фильтром Калмана и комплексированной навигационной системы (КНС). В КНС помимо измерений ускорений и угловой скорости КА используются измерения высоты и скорости движения КА над лунной поверхностью, совместно с переменными состояниями КА оцениваются неопределенные параметры, обработка измерений осуществляется с помощью квазилинейного фильтра Калмана.

Глава 5 посвящена разработке и анализу функционирования системы управления движением КА при реализации мягкой посадки аппарата по рассматриваемой схеме. Формируется структура системы и выбираются параметры регуляторов в подсистемах наведения, управления угловым движением КА и дросселированием тяги ДУ на активных участках движения аппарата. Методом имитационного моделирования анализируется результирующая точность управляемого движения КА с помощью сформированной системы с учетом ошибок навигационной системы и возмущений, действующих непосредственно на КА в полете.

Теоретическое значение и научная новизна результатов, полученных в работе

В работе получены следующие новые научно-технические результаты:

1. Предложена схема мягкой посадки КА, предусматривающая по крайней мере два зависания в ходе движения КА по траектории мягкой посадки для оперативного уточнения и окончательного выбора места посадки, при которой достижение зависаний реализуется совместно с вертикализацией аппарата.

2. Разработана методика решения задачи совместной оптимизации характеристик ДУ и программы управления движением КА на этапе основного торможения, обеспечивающих минимальный расход массы ДУ при выполнении заданных терминальных требований по обнулению скорости и вертикализации КА.

3. Разработана методика решения задачи оптимизации движения КА на этапе управляемого спуска между первым и вторым зависаниями, обеспечивающей минимум расхода топлива, затрачиваемого на реализацию этапа, при выполнении заданных граничных условий в начале и конце этапа.

4. Предложены и проанализированы структура и алгоритм функционирования комплексированной НС КА, обеспечивающей возможность совместного оценивания состояний КА и идентификацию неконтролируемых возмущающих воздействий, действующих на КА и НС.

5. Разработана структура и выбраны параметры регуляторов замкнутой СУ КА, активно компенсирующей оцениваемые постоянные и медленно меняющиеся возмущающие воздействия совместно с подавлением неконтролируемых возмущений, что обеспечивает реализацию всех этапов мягкой посадки по предложенной схеме с удовлетворительной точностью, в том числе непосредственно прилунения КА.

Достоверность и обоснованность результатов работы. Достоверность результатов, полученных в работе, подтверждается результатами имитационного моделирования отдельных алгоритмов и функционирования замкнутой системы управления движением КА в целом с учетом возмущающих воздействий, в том числе погрешностей ДУ, нецентральности гравитационного поля Луны (масконов), ошибок измерителей НС, а также сравнением результатов, полученных в работе, с результатами, полученными ранее другими авторами.

Практическая ценность работы

Полученные в работе теоретические и технические результаты могут быть использованы при проектировании автоматических КА, совершающих мягкую посадку на лунную поверхность, в том числе при формировании общей схемы реализации мягкой посадки, выборе оптимальных характеристик ДУ, разработке оптимальных схем и программ управления движением на отдельных этапах посадки, формировании облика навигационной системы и системы управления движением КА в целом.

Апробация и публикации по диссертационной работе

Результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на семинарах кафедр «Системный анализ и управление» и «Космические системы и ракетостроение» МАИ, на семинаре «Сектора механики и управления движением КА» Баллистического центра ИПМ им. М.В. Келдыша, на трех научно-технических конференциях международного уровня, опубликованы в трех статьях в изданиях, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Замечания по диссертационной работе Хуана Ичуна

По представленной работе можно сделать следующие замечания:

1. Программы и алгоритмы управления, разработанные в диссертации, сформированы и исследованы применительно к «плоской» модели движения КА в плоскости траектории мягкой посадки. Пространственное управляемое движение КА в работе не рассматривается. Особенно существенным это замечание является по отношению к навигационной системе, поскольку при описании пространственного углового движения КА потребуется переход от уравнений Эйлера к кватернионам.

2. Модель измерений доплеровского измерителя скорости движения КА относительно лунной поверхности, применяемого в комплексированной навигационной системе, рассмотренная в работе, является слишком упрощенной, поскольку не учитывает влияние рельефа лунной поверхности на ошибки измерений данного прибора.

Однако указанные замечания не снижают общий высокий уровень и ценность результатов рассматриваемой диссертационной работы. Эти замечания могут рассматриваться как рекомендации для проведения дальнейших исследований.

Заключение по рассмотренной работе

Диссертация аспиранта Хуана Ичуна «Управление движением космического аппарата, совершающего мягкую посадку на Луну по схеме с зависаниями» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной научной задачи, имеющей важное научное и практическое значение. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики в области управления КА. Выводы и рекомендации обоснованы. Работа соответствует паспорту специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

По актуальности темы, новизне и практической значимости полученных научных результатов, содержанию и оформлению рассматриваемая диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Хуан Ичун заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Автореферат работы в полной мере отражает содержание диссертации.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании департамента механики и мехатроники Инженерной академии Российского университета дружбы народов 15 февраля 2018 (протокол № 02/18).

Профессор департамента

механики и мехатроники, к.ф.-м.н.  Баранов Андрей Анатольевич

Доцент департамента


механики и мехатроники, к.ф.-м.н.  Федяев Константин Сергеевич

Первый заместитель – заместитель

по научной работе директора

Инженерной академии,

профессор департамента

механики и мехатроники, д.т.н. 

Купреев Сергей Алексеевич