



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
ПО КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ "РОСКОСМОС"

Федеральное государственное унитарное предприятие
"ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ" (ФГУП ЦНИИмаш)



ул. Пионерская, д.4, городской округ
Королёв, Московская область, 141070

Тел. (495) 513-59-51
Факс (495) 512-21-00

E-mail: corp@tsniimash.ru
http://www.tsniimash.ru

ОКПО 07553682, ОГРН 1025002032791
ИНН/КПП 5018034218/501801001

21.02.2018 исх. № 9001-1109

На исх. № _____ от _____

В Учёный совет Московского
авиационного института
(национального исследовательского
университета)

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

Уважаемые коллеги!

Высылаю вам отзыв официального оппонента, кандидата технических наук, начальника лаборатории ФГУП ЦНИИмаш, Кудрявцева Сергея Ивановича на диссертацию Хуана Ичуна «Управление движением космического аппарата, совершающего мягкую посадку на Луну по схеме с зависаниями» на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление».

Приложение: Отзыв в 2-х экземплярах на 6 листах каждый.

Главный учёный секретарь,
доктор технических наук
профессор

Ю.Н. Смагин

Исп. С.И. Кудрявцев
Тел. 8-495-513-51-69

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № _____
22 02 2018

022340



ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Хуана Ичуна на тему: «**Управление движением космического аппарата, совершающего мягкую посадку на Луну по схеме с зависаниями**», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертации

В настоящее время ведущими космическими державами рассматриваются проекты полётов космических аппаратов (КА), включая пилотируемые, к Луне с осуществлением мягкой посадки на её поверхность. Современные данные о Луне указывают на то, что наибольший интерес для продолжения научных исследований представляют приполярные районы Луны с достаточно сложным рельефом местности.

Выполнение мягкой посадки КА на поверхность Луны является весьма сложной и ответственной операцией, требующей значительных затрат топлива. При посадке в районах со сложным рельефом задача ещё более усложняется. В целях обеспечения безопасности КА требуется наличие заключительного участка спуска, близкого к вертикальному, на котором могут быть выполнены оперативный анализ подстилающей поверхности и приведение КА на пригодную для посадки площадку.

Диссертационная работа Хуана Ичуна посвящена разработке баллистической схемы спуска КА с эллиптической орбиты искусственного спутника Луны (ОИСЛ) и структуры системы управления вектором тяги посадочной двигательной установки (ДУ) КА для выполнения безопасной посадки в районах со сложным рельефом. Основной целью работы являлось обеспечение высокой эффективности управления спуском с точки зрения минимизации затрат топлива при выполнении ряда требований и ограничений.

Учитывая исключительную важность решения данной задачи, определяющей возможность реализации лунных экспедиций, следует считать выбранную соискателем тему диссертационного исследования актуальной.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов диссертации подтверждается:

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ
Вх. № 7
22 02 2018

- использованием для проведения проектно-баллистических исследований по выбору решения поставленной задачи корректных математических моделей движения КА с учётом влияния возмущающих факторов;
- проведением сравнения полученных в работе результатов с результатами других авторов, в том числе - с результатами реализованных лунных миссий.

Полученные автором диссертации основные методические и расчётные результаты прошли апробацию на международных научно-технических конференциях.

Анализ научных положений диссертации, применённых для исследований методов, а также сформулированных выводов позволяет считать полученные результаты диссертационной работы достоверными и обоснованными.

Новизна научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, заключается в следующем:

1. Автором предложена баллистическая схема спуска КА с ОИСЛ, в которой на этапе основного торможения (ЭОТ) совмещены задачи гашения орбитальной скорости КА и вертикализации траектории при выходе в точку первого зависания.
2. Разработана методика совместной оптимизации характеристик ДУ и программы управления вектором тяги ДУ на ЭОТ при одновременном гашении орбитальной скорости и вертикализации КА. Решение получено в безразмерных проектных параметрах без привязки к конкретному значению начальной массы КА на ОИСЛ.
3. Предложена структура и параметры регуляторов системы управления (СУ) КА, обеспечивающей реализацию спуска на всех участках о включения ДУ на ОИСЛ до прилунения с обеспечением минимальных затрат топлива и заданной точности посадки.

Оценивая содержание диссертационной работы, следует отметить, что представленный в ней материал изложен логически верно, последовательно, с доказательством корректности использованных методических подходов и полученных решений сложной актуальной научно-технической задачи.

Во введении обоснована актуальность проведенного исследования, сформулированы цели и задачи работы, описана её структура, перечислены новые научные и практические результаты исследования.

В первой главе проведен анализ материалов по текущему состоянию исследований вопросов обеспечения мягкой посадки КА на поверхность Луны.

Выявлены наиболее актуальные задачи в области исследования и разработки методов управления спуском КА с ОИСЛ.

Вторая глава диссертации посвящена решению задачи оптимального управления движением КА на этапе основного торможения при спуске с ОИСЛ. Приведена постановка задачи, предусматривающая совмещение процессов гашения орбитальной скорости КА и вертикализации траектории перед выходом в точку первого зависания. Описан алгоритм совместной оптимизации программы угла тангажа вектора тяги и безразмерных проектных параметров ДУ. Выполнен анализ полученных результатов решения задачи.

В третьей главе рассмотрены вопросы синтеза алгоритмов управления движением КА на участке спуска из точки первого зависания на высоте около 2,5 км в точку второго зависания на высоте 100 м над выбранным местом безопасной посадки. Автором предложена методика организация оптимального по расходу топлива управления горизонтальным перемещением КА. Приведены результаты анализа динамики движения КА на рассматриваемом участке траектории.

Четвёртая глава диссертации посвящена исследованию вариантов построения навигационной системы (НС) КА, предназначенной для обеспечения процесса управления спуском. Рассмотрены условия работы НС. Проведен анализ влияния возмущающих факторов, включая угловой эксцентриситет тяги ДУ, масконы, инструментальные погрешности НС. В результате исследований сделан вывод о целесообразности применения бесплатформенной инерциальной НС, комплексированной с высотомером и доплеровским измерителем скорости.

В пятой главе рассмотрены вопросы построения структуры системы управления (СУ) движением КА при спуске с ОИСЛ. Проведено численное моделирование работы замкнутой СУ с предложенной структурой. Полученные результаты решения задачи для принятой её постановки подтверждают возможность обеспечения требуемой точности управления спуском КА.

В заключении формулируются основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Результаты баллистических исследований организации оптимального управления на этапе основного торможения могут быть применены для проектирования схем спуска перспективных КА с ОИСЛ.

2. Разработанная методика совместной оптимизации программы управления вектором тяги ДУ и характеристик ДУ может быть использована для оценки общей массы системы мягкой посадки перспективных лунных КА.

3. Предложенные алгоритмы навигации и управления движением КА на различных участках траектории спуска с ОИСЛ могут быть использованы в качестве задела при баллистическом проектировании алгоритмов бортовой СУ перспективных КА.

4. Результаты анализа динамики функционирования СУ применимы для формирования структуры замкнутой СУ движением перспективных лунных КА при спуске с ОИСЛ для посадки в районах со сложным рельефом местности.

Диссертационная работа соответствует комплексному исследованию, охватывающему ряд областей знаний согласно «Паспорту специальности 05.07.09 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Замечания:

1. Целью работы является «повышение эффективности применения автоматически управляемых КА». Определение количественного критерия для оценки повышения эффективности предлагаемых решений по сравнению с известными (например, с идентичной реализованной схемой спуска КА «Чанъэ-3») в работе отсутствует.

2. В Разделе 2.4.4. отсутствует обоснование выбора постоянной величины удельной массы двигателя, используемой для решения задачи совместной оптимизации. Полученное решение для безразмерных параметров ДУ в данном случае не является общим для возможного широкого диапазона величины максимальной тяги ДУ, устанавливаемых на КА с различной массой.

3. На приведенной на Рисунке 2.16 зависимости вертикальной скорости КА имеется участок в конце этапа основного торможения перед переходом в режим зависания, на котором вертикальная скорость КА положительна (до 10 м/с). Это указывает на перерасход топлива.

4. В Разделе 2.7 для оценки эффективности полученного оптимального решения задачи оптимизации проводится сравнение расхода топлива на этапе основного торможения КА с результатами, полученными другими авторами. В одном из рассмотренных случаев для сравнения используется полная масса заправки топливом посадочной ступени лунного корабля программы «Аполлон». В другом

случае для сравнения используется решение для спуска с круговой ОИСЛ. В обоих названных случаях сравнение является некорректным.

5. В Разделе 3.8 отсутствуют результаты сравнения эффективности предлагаемых алгоритмов управления движением на участке спуска в диапазоне высот $\sim 2,5 \text{ км} \div 100 \text{ м}$ (этап управляемого спуска) с известными решениями.

6. Одна из статей, содержащих результаты диссертационного исследования, опубликована в журнале «Научно-технический вестник Поволжья», который не входит в перечень рецензируемых изданий ВАК Минобрнауки РФ по группе специальностей 05.07.00 «Авиационная и космическая техника».

Приведенные замечания не снижают общего высокого научного уровня и практической значимости рассматриваемой диссертационной работы Хуана Ичуна.

Заключение о соответствии диссертационной работы установленным требованиям

В соответствии с требованиями «Положения о присуждении учёных степеней»:

- полученные результаты диссертационного исследования соответствуют поставленной цели и задачам;
- автореферат диссертации полностью соответствует содержанию диссертационной работы;
- основные результаты диссертации отражены в трёх статьях, опубликованных в рецензируемых изданиях из перечня ВАК Минобрнауки РФ;
- диссертационная работа тематически и по содержанию соответствует паспорту специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Диссертационная работа Хуана Ичуна «Управление движением космического аппарата, совершающего мягкую посадку на Луну по схеме с зависаниями» является завершённым научно-квалификационным исследованием на актуальную тему и имеет практическую значимость. Новые результаты, полученные диссертантом, позволяют решать задачу баллистического проектирования перспективных лунных миссий.

По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, содержанию и оформлению диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к

диссертациям, представленным на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Автор диссертационной работы Хуан Ичун заслуживает присуждения учёной степени кандидат технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук,
начальник лаборатории
ФГУП «Центральный научно-
исследовательский институт
машиностроения»

ул. Пионерская, д. 4, городской
округ Королёв, Московская
область, 141070

тел.: +7 (495) 513-51-69

e-mail: s.i.kudriavtsev@yandex.ru

С.И. Кудрявцев
21.02.18

С.И. Кудрявцев

Подпись официального оппонента Кудрявцева Сергея Ивановича заверяю:

Главный учёный секретарь
ФГУП ЦНИИмаш,
доктор технических наук,
профессор



Ю.Н. Смагин