



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»  
(АО «НПО Лавочкина»)



Ленинградская ул., д. 24, г. Химки,  
Московская область, 141402  
ОГРН 1175029009363, ИНН 5047196566

Тел. +7 (495) 573-56-75, факс +7 (495) 573-35-95  
e-mail: npol@laspace.ru  
www.laspace.ru

от 21.02.18 № 517/3534

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
диссертационного совета Д 212.125.12  
Московского авиационного института

А.В.Старкову

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

### ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Хуана Ичуна  
«Управление движением космического аппарата, совершающего мягкую посадку  
на Луну по схеме с зависаниями», представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика,  
управление движением летательных аппаратов».

Решение задачи полета и посадки на Луне является важным фактором развития  
космической техники. Лунные программы включены в программы космической  
деятельности разных государств на ближайшие десятилетия и идет интенсивная работа  
над их реализацией. Заметное место для решения рассматриваемой задачи отведено  
использованию автоматических космических аппаратов (КА), предназначенных для  
исследования конкретных мест лунной поверхности.

Особенностями таких исследований является требование к осуществлению  
безопасной посадки КА в заданном месте с учетом конкретных особенностей лунного  
ландшафта, что может быть реализовано только при оперативном уточнении параметров  
управления непосредственно в процессе его мягкой посадки (МП). Таким образом,  
актуальной задачей является совершенствование известных схем МП с учетом  
применения современных систем навигации и высокоинтеллектуального бортового  
программного обеспечения. Именно такой цели посвящена диссертационная работа  
Хуана Ичуна, в которой рассматривается повышение эффективности применения  
автоматически управляемых КА для осуществления их МП в заданное место лунной  
поверхности.

В качестве совершенствуемой схемы МП автором выбрана так называемая  
«схема с зависаниями», а в качестве предмета исследования - используемые для ее  
реализации алгоритмы управления и навигации.

Структура диссертационной работы отражает состав поставленных и решаемых  
автором задач в рамках достижения общей научной задачи совершенствования схемы  
МП с зависаниями. Диссертация содержит введение, пять глав и заключение по работе в  
целом. Диссертация написана грамотно, хорошо оформлена и снабжена достаточным

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. № \_\_\_\_\_  
«22 02 2018»

количеством графических иллюстраций.

**В первой главе** приводится обзор миссий и схем полетов автоматических и пилотируемых КА к Луне с посадкой на ее поверхность и рассмотрены различные схемы реализации МП. Проводится анализ различных схем и обосновывается целесообразность использования предлагаемой автором схемы МП с зависаниями и проведение ее совершенствования. Рассматриваются этапы реализации предлагаемой схемы МП.

**Во второй главе** излагается методика решения задачи управления вектором тяги двигателя торможения (ДТ) на этапе основного торможения (ЭОТ) при реализации рассматриваемой схемы МП. Особенностью предлагаемого решения является формирование оптимальной программы управления вектором тяги ДТ совместно с выбором относительной массы двигательной установки (ДУ), являющейся одной из основных характеристики ДУ КА, а также учет в качестве терминального условия окончания ЭОТ кроме достижения нулевой скорости КА и условия обеспечения вертикальной ориентации его продольной оси. Совмещение процессов торможения с вертикализацией КА позволяет исключить отдельное проведение этапов его вертикализации и обнуления скорости и тем самым повысить энергетическую эффективность полета.

**В третьей главе** изложена методика формирования энергетически оптимальной программы управления величиной и ориентацией вектора тяги ДТ на этапе управляемого спуска КА из точки первого зависания (2400 м) в точку второго зависания (100 м) с возможным отклонением по горизонтали на требуемое расстояние. При этом траектория движения КА на данном участке начинается и заканчивается при обеспечении вертикализации КА, что позволяет исключить специально выполняемые этапы вертикализации и обнуления скорости КА.

В последующих главах работы рассматриваются вопросы реализации системой управления (СУ) КА основных программ управления движением КА на всех этапах, начиная с момента схода КА с селеноцентрической околокруговой орбиты на высоте около 100 км на переходную эллиптическую орбиту с высотой периселения 14 км и заканчивая непосредственно посадкой КА на лунную поверхность.

**В четвертой главе** рассмотрены результаты анализа возможных вариантов построения навигационной системы КА, которые представляют особый научный и практический интерес. Автором показано, что применение комплексированной навигационной системы, в которой дополнительно к традиционным измерителям ускорений и угловой скорости КА используются измерения высоты и скорости движения КА относительно лунной поверхности, позволяет не только достаточно эффективно оценивать компоненты вектора состояния КА, но также идентифицировать постоянные и медленно меняющиеся возмущения, действующие на сам КА и его навигационную систему. Это обеспечивается за счет проведения обработки расширенного вектора измерений с помощью квазилинейного фильтра Калмана.

**В пятой главе** для анализа эффективности функционирования замкнутой системы управления (СУ) КА автор сформировал структуру и выбрал параметры регуляторов систем наведения, стабилизации углового движения и регулирования тяги ДТ, входящих в состав замкнутой СУ. В этих регуляторах он ввел обратные связи и выбрал коэффициенты обратных связей, позволяющих компенсировать постоянные и медленно

меняющиеся возмущения, идентифицируемые с помощью навигационной системы. Приведены результаты имитационного моделирования, которые подтверждают, что сформированная система обеспечивает реализацию всех этапов мягкой посадки с удовлетворительной точностью, в том числе непосредственно прилунения КА.

К новым научным результатам диссертационных исследований можно отнести следующие:

1. Вариант схемы МП с зависаниями КА в ходе посадки для оперативного уточнения и окончательного выбора места посадки, в котором зависания КА реализуются совместно с его вертикализацией.

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

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

4. Структура и алгоритм функционирования комплексированной навигационной системы КА, обеспечивающей возможность совместного оценивания состояний КА и идентификацию действующих случайных возмущений.

5. Структура и параметры регуляторов замкнутой СУ КА, активно компенсирующей оцениваемые постоянные и медленно меняющиеся возмущения совместно с подавлением неконтролируемых возмущений, что обеспечивает реализацию всех этапов МП по предложенной схеме с удовлетворительной точностью, в том числе непосредственно прилунения КА.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных в работе теоретических результатов при проектировании полетов автоматических КА с МП на лунную поверхность, в том числе для определения оптимальных характеристик ДУ на этапе проектирования конструкции КА, разработке оптимальных схем и программ управления движением на отдельных этапах посадки, при формировании облика навигационной системы и СУ движением КА в целом.

Достоверность результатов, полученных в работе, подтверждается имитационным моделированием разработанных алгоритмов и функционирования СУ КА в целом с учетом возмущающих воздействий.

Результаты работы докладывались на научно-технических конференциях, три статьи опубликованы в изданиях, входящих в перечень ВАК.

По диссертационной работе можно отметить следующие недостатки:

1. Решение рассматриваемых в работе задач проводится с использованием приближенной «плоской» модели движения КА.
2. Модель доплеровских измерений скорости движения КА относительно лунной поверхности, применяемая в комплексированной навигационной системе, не учитывает влияние рельефа лунной поверхности на ошибки измерений.
3. Не проведена оценка возможности и эффективности использования бокового маневра для управления движением КА на участке между зависаниями при выборе безопасного места МП.

Указанные недостатки не снижают значение полученных автором новых научных и практических результатов.

Диссертация является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, внедрение которых может быть использовано при осуществлении проектов освоения Луны, занимающие важное место в современном развитии ракетно-космической техники.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа Хуана Ичуна по форме и содержанию, актуальности, полноте поставленных задач и полученным новым научным результатам отвечает требованиям ВАК при Минобрнауки РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор диссертации заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Официальный оппонент  
доктор технических наук



21.02.18

А. Е. Назаров

Подпись официального оппонента  
доктора технических наук Назарова Анатолия Егоровича заверяю

Заместитель генерального  
директора по персоналу



М.В. Данильченко