

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.12

Соискатель: Хуан Ичун

Тема диссертации: Управление движением космического аппарата, совершающего мягкую посадку на Луну по схеме с зависаниями

Специальность: 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:

На заседании 15 марта 2018 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, установленным Положением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Хуану Ичуну ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета В.В. Малышев, заместитель председателя диссертационного совета М.Н. Красильщиков, ученый секретарь диссертационного совета А.В. Старков, члены диссертационного совета: В.Т. Бобронников, В.С. Брусов, В.А. Воронцов, В.Н. Евдокименков, А.В. Ефремов, А.И. Кибзун, М.С. Константинов, С.И. Падалко, В.Г. Петухов, В.Н. Почукаев, Г.Г. Райкунов, К.И. Сыпало, Ю.В. Тюменцев, Г.Ф. Хахулин, А.В. Шаронов.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 212.125.12, к.т.н.

 А.В. Старков

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.12
на базе Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»

Министерства образования и науки Российской Федерации (МАИ)
по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук
аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 15.03.2018 г., протокол № 5

О присуждении **Хуану Ичуну**, гражданину КНР, ученой степени кандидата
технических наук.

Диссертация «Управление движением космического аппарата,
совершающего мягкую посадку на Луну по схеме с зависаниями» по
специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением
летательных аппаратов» принята к защите 11 января 2018 года, протокол № 2,
диссертационным советом Д 212.125.12 на базе Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский
авиационный институт (национальный исследовательский университет)», 125993,
Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета
№ 105/нк. от 11.04.2012 г.

Соискатель Хуан Ичун 1989 года рождения, в 2014 г. окончил Федеральное
государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский авиационный институт (национальный исследовательский
университет)» (МАИ) по специальности «Ракетные комплексы и космонавтика» с
присуждением квалификации «магистр».

В период подготовки диссертации соискатель обучался в очной
аспирантуре кафедры № 604 «Системный анализ и управление» факультета
«Аэрокосмический» МАИ, срок окончания обучения 31.08.2018.

Диссертация выполнена в МАИ на кафедре № 604 «Системный анализ и
управление».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры № 604 «Системный анализ и управление» факультета «Аэрокосмический» МАИ **Бобронников Владимир Тимофеевич**.

Официальные оппоненты:

- 1. Назаров Анатолий Егорович** – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, заместитель начальника отдела АО «НПО Лавочкина».
- 2. Кудрявцев Сергей Иванович** – гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук, начальник лаборатории ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения».

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», г. Москва, дало **положительный отзыв** (отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании департамента механики и мехатроники Инженерной академии Российского университета дружбы народов 15 февраля 2018, протокол № 02/18), подписан профессором департамента механики и мехатроники, к.ф.-м.н. А.А. Барановым, доцентом департамента механики и мехатроники, к.ф.-м.н. К.С. Федяевым, первым заместителем – заместителем по научной работе директора Инженерной академии, профессором департамента механики и мехатроники, д.т.н., С.А. Купреевым. Отзыв утвержден первым проректором - проректором по научной работе Российского университета дружбы народов, д.ф.н., профессором, Н.С. Кирабаевым.

В заключении указано, что диссертация Хуана Ичуна представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной научной задачи, имеющей важное научное и практическое значение. Работа соответствует специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов». Диссертация соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор

заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, компетентностью в области науки по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Департамент механики и мехатроники Инженерной академии Российского университета дружбы народов проводит исследования в области управления космическими аппаратами, в том числе маневрирования КА на различных этапах управляемого движения КА. Сотрудниками и преподавателями Департамента опубликовано значительное число научных работ в изданиях ВАК Минобрнауки РФ по группе специальностей 05.07.00 «Авиационная и космическая техника», Web of Science, Scopus.

Назаров Анатолий Егорович – известный ученый в области баллистико-навигационных исследований орбит и межпланетных траекторий космических аппаратов. За последние пять лет лично и в соавторстве опубликовал 12 научных работ в изданиях «Перечня ВАК».

Кудрявцев Сергей Иванович – автор и соавтор более 70 научных работ. Область научных интересов – проектная баллистика и баллистико-навигационное обеспечение спуска космических аппаратов. За последние три года опубликовал лично и в соавторстве более 12 работ в изданиях «Перечня ВАК».

Основные результаты диссертационной работы Хуана Ичуна изложены в 3-х научных работах, опубликованных в научных журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК. Всего по теме диссертации соискатель имеет 6 опубликованных работ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Бобронников В.Т., Хуан Ичун. Анализ полетов к Луне. – Научно-технический вестник Поволжья, 2015, №4, с. 45 – 50. (№1354 в перечне ВАК, действующем до 30.11.2015 г.)

2. Бобронников В.Т., Хуан Ичун. Оптимальное управление движением лунного аппарата на этапе основного торможения с выбором параметров двигательной установки. – Космонавтика и ракетостроение, 2016, № 6, с. 27 – 35. (№763 в перечне ВАК от 22.02.2018 г.)
3. Хуан Ичун. Оптимальное управление маневром лунного аппарата на выбранную точку мягкой посадки между зависаниями. – Труды МАИ, 2016, № 4: <http://trudymai.ru/published.php?ID=74747> (№1846 в перечне ВАК от 22.02.2018 г.)

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:

1. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» (ведущая организация). **Отзыв положительный.**

К диссертационной работе имеются 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 пере ход 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 учитывается влияние рельефа лунной поверхности на ошибки измерений данного прибора.

2. Назаров Анатолий Егорович (официальный оппонент), доктор технических наук. **Отзыв положительный**, заверен заместителем генерального директора по персоналу М.В. Данильченко.

К работе имеются следующие замечания:

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 мягкой посадки.

3. Кудрявцев Сергей Иванович (официальный оппонент), кандидат технических наук. **Отзыв положительный**, заверен главным ученым секретарем ФГУП «ЦНИИмаш», доктором технических наук, профессором Ю.Н. Смагиным.

По диссертационной работе имеются следующие 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 «Чаньэ-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».

4. Институт прикладной математики имени М.В. Келдыша российской академии наук. Отзыв положительный, подписан заведующим сектором, доктор физико-математических наук А.Г. Тучиным, главным научным сотрудником, доктором технических наук, профессором Ю.Г. Сихарулидзе, и утвержден ученым секретарем, кандидатом физико-математических наук А.И. Масловым.

По реферату возникают некоторые вопросы.

1. Как в рамках задачи движения центра масс (что следует из текста) можно полноценно моделировать навигационные измерения БИНС?

2. Как с высоты 2.4 км можно «разглядеть» поверхность Луны для выбора точки прилунения?

3. Состав возмущающих факторов достаточно ограничен (нет ошибок массы, величины тяги, удельной тяги и др.).

5. ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения». Отзыв положительный, подписан зам. начальника отдела, доктором технических наук В.Г. Лаврентьевым, заверен главным ученым секретарем ФГУП «ЦНИИмаш», доктором технических наук, профессором Ю.Н. Смагиным.

К работе имеются следующие замечания.

1. Задача управления мягкой посадкой исследуется в работе применительно к «плоской» модели движения КА.

2. Модель доплеровских измерений скорости движения КА относительно лунной поверхности, применяемая в комплексированной навигационной системе, является весьма упрощенной, поскольку не учитывает влияние рельефа лунной поверхности на ошибки измерений данного прибора.

6. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Отзыв положительный, подписан первым заместителем заведующего кафедрой «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов», к.т.н., доцентом Коряновым В.В., заверен руководителем НУК СМ, д.т.н., профессором Калугиным В.Т..

На основании рассмотрения автореферата по представленной работе можно отметить следующие недостатки:

1. При формировании программы управления движением КА на этапе основного торможения следовало бы добавить терминальное условие нулевой угловой скорости КА в канале тангажа вместо эвристической коррекции оптимального решения, полученного без учета этого условия.

2. Следовало бы обосновать принятое количество реализаций (пятьдесят) при моделировании работы КНС методом статистических испытаний, на первый взгляд представляющееся недостаточным.

3. Объем автореферата значительно превышает установленные Положением ВАК РФ нормы.

7. Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем. Отзыв положительный, подписан заместителем начальника подразделения, д.т.н., профессором, заслуженным деятелем науки РФ В.В. Инсаровым, заверен учебным секретарем С.М. Мужичеком.

На основании изучения автореферата по представленной работе можно указать на следующие ее недостатки:

1 Задача построения СУ КА решается в работе применительно только к продольному движению.

2 Рассмотренная в работе модель доплеровских измерений скорости движения КА относительно лунной поверхности является чрезмерно упрощенной.

8. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова». Отзыв положительный, подписан заведующим кафедрой процессов управления, д.т.н, профессором О.А. Толпегиным, заверен проректором по научной работе и инновационно-коммуникационным технологиям, к.т.н. С.А. Матвеевым.

В качестве замечаний можно отметить следующие:

1. Задача управления мягкой посадкой решается в работе на основе рассмотрения плоской модели движения КА.

2. Из автореферата не понятно, как сформулирована структура оптимального управления на основе принципа максимума в задаче управления вектором тяги двигателя торможения в третьей главе диссертации.

3. Используемая в работе модель доплеровских измерений скорости движения КА относительно лунной поверхности, применяемая в навигационной системе, является чрезмерно упрощенной, поскольку не учитывает влияние рельефа лунной поверхности на ошибки измерений данного прибора.

4. Из автореферата не ясно, как было организовано адаптивное управление движением по отношению к возмущениям, оцениваемым с помощью навигационной системы.

9. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева". Отзыв положительный, подписан директором НИИ космического машиностроения, д.т.н., профессором, заслуженным деятелем науки РФ В.В. Салминым, доцентом

кафедры космического машиностроения, к.т.н. В.В. Волоцуевым, заверен ученым секретарем, д.т.н., профессором Кузьмичевым В.С..

На основании изучения автореферата диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Задача управления мягкой посадкой на Луну решается в работе применительно только к продольному движению спускаемого аппарата.

2. В модели доплеровского измерения скорости навигационной системы КА не учитывается влияние рельефа лунной поверхности вдоль траектории полета на ошибки измерений.

В дискуссии приняли участие:

Фамилия, имя, отчество	Ученая степень, шифр специальности в совете
Бобронников Владимир Тимофеевич	д.т.н., 05.13.01
Кудрявцев Сергей Иванович	к.т.н.
Петухов Вячеслав Георгиевич	Член-корреспондент РАН, д.т.н., 05.07.09
Воронцов Виктор Александрович	д.т.н., 05.07.09
Константинов Михаил Сергеевич	д.т.н., 05.07.09
Тюменцев Юрий Владимирович	д.т.н., 05.13.01

Диссертационный совет отмечает, что **наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем**, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Вариант схемы мягкой посадки, предусматривающий зависания КА в ходе посадки для оперативного уточнения и окончательного выбора места посадки, в котором достижение зависаний реализуется совместно с вертикализацией аппарата.

2. Методика решения задачи совместной оптимизации характеристик ДУ и программы управления движением КА на этапе основного торможения,

обеспечивающих минимальный расход массы ДУ КА 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 (нулевая скорость и вертикальная ориентация продольной оси).

4. Результаты исследования трех вариантов навигационной системы КА, в которых показано, что при реалистичных характеристиках возмущений комплексированная навигационная система, вариант построения которой рассмотрен в работе, обеспечивает необходимую точность навигации КА.

5. Структура и предварительные значения параметров регуляторов замкнутой системы управления КА, обеспечивающей компенсацию постоянных и медленно меняющихся возмущения совместно с подавлением неконтролируемых возмущений. Результаты имитационного моделирования системы управления, демонстрирующие реализуемость мягкой посадки по предложенной схеме с удовлетворительной точностью.

Новизна полученных результатов заключается в разработке математической модели системы управления движением и навигации космического аппарата; разработанных алгоритмах решения оптимальных задачи; определении набора математических моделей, описывающих массу двигательной установки, измерителей и возмущений; разработке номинальной программы управления дросселированием и углом тангажа, используемого для управления КА; новой схемы мягкой посадки на Луну.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность результатов, полученных в работе, подтверждается имитационным моделированием алгоритмов функционирования системы управления КА с учетом возмущающих воздействий, в том числе погрешностей двигательной установки, нецентральности гравитационного поля Луны, ошибок измерителей навигационной системы, а также сравнением результатов с результатами, полученными ранее другими авторами.

Диссертация целостно охватывает основные вопросы рассматриваемой научно-технической задачи. Изложение полученных результатов логически связано. В работе использованы фундаментальные научно-технические подходы и современные методы моделирования и обработки информации.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

1. Предложен вариант схемы мягкой посадки, предусматривающий зависания КА в ходе посадки для оперативного уточнения и окончательного выбора места посадки, в котором 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 двигательной установки при выполнении заданных терминальных требований по обнулению скорости и вертикализации КА.

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

4. Сформирована структура и разработан алгоритм функционирования комплексированной навигационной системы КА, обеспечивающей возможность совместного оценивания состояний КА и идентификацию возмущений, являющихся случайными величинами.

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

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию при проектировании полетов автоматических КА с мягкой посадкой на лунную поверхность.

Результаты диссертационной работы были использованы для постановки лабораторных и курсовых работ «Системный анализ», «Моделирование в задачах баллистики, гидроаэродинамики и управления АКС» и «Статистическая динамика».

Все результаты использования диссертационной работы подтверждаются соответствующими актами о внедрении, которые имеются в деле.

Диссертационная работа решает актуальную научно-техническую задачу динамического проектирования КА и системы управления движением для мягкой посадки на Луну.

Изложенные в диссертационной работе **результаты являются новыми научно обоснованными техническими решениями**, имеющими существенное значение для развития методов планирования, проектирования и оптимизации программ управления КА, совершающих мягкую посадку на Луну.

В диссертационной работе все заимствованные материалы представлены со ссылкой на автора или источник. Тем самым работа удовлетворяет п.14 Положения о присуждении ученых степеней.

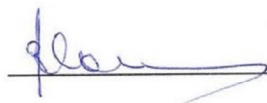
В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, представленные в диссертации.

На заседании 15.03.2018 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, и принял решение присудить Хуану Ичуну ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета

Д 212.125.12, д.т.н., профессор



Малышев В.В.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 212.125.12, к.т.н.



Старков А.В.