



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.Э. БАУМАНА»  
(национальный исследовательский университет)

**НАУЧНО-УЧЕБНЫЙ КОМПЛЕКС  
«СПЕЦИАЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
(НУК СМ)**

105005, Москва, Госпитальный пер., д.10  
Телефон: (499)-263-65-12. Телефакс (499)-267-74-15. Электронная почта: dekanat@sm.bmstu.ru

02.03.18 № 030601/43

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель НУК СМ  
МГТУ им. Н.Э.Баумана

д.т.н. профессор

Калугин В.Т.



**ОТЗЫВ**

кафедры Динамики и управления полётом ракет и космических аппаратов МГТУ им. Н.Э.Баумана на автореферат диссертации 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»

**Целью** диссертационной работы гражданина КНР аспиранта Хуана Ичуна, является разработка алгоритмов управления движением и навигации космических аппаратов (КА), совершающих мягкую посадку на лунную поверхность по схеме с зависаниями, обеспечивающих повышение надежности посадки за счёт выбора приемлемого места посадки непосредственно в ходе движения КА.

**Актуальность** исследования соответствующей научно-технической задачи обусловлена тем, что успех лунной миссии с посадкой на ее поверхность существенно зависит не только от эффективности функционирования бортовой аппаратуры управления движением КА, но также от характеристик лунной поверхности, определяемых её рельефом, как в районе посадки, так и вдоль траектории движения КА. Особенно существенной проблема надежности

посадки оказывается в гористой местности, в частности, в окрестности лунных полюсов.

Основной идеей диссертации является применение на борту КА системы оперативного выбора условий посадки, состоящей из аппаратуры наблюдения и вычислительного алгоритма, совместно решающих задачу определения места посадки. Для работы аппаратуры наблюдения должны поддерживаться в течение определенного периода времени нулевая скорость и вертикальная ориентация продольной оси КА. Такие состояния КА в работе названы «зависаниями с вертикализацией».

Для более надежного выбора места посадки в работе предлагается осуществлять два зависания: первое в момент окончания этапа основного торможения (на высоте около 2500 м) для предварительного выбора места посадки и второе (на высоте около 100 м) для уточнения предварительно выбранного места. Точка второго зависания может оказаться на значительном удалении по горизонтали относительно точки первого зависания. Поэтому между зависаниями в циклограмме движения КА предусматривается этап управляемого движения КА, называемый в работе этапом «управляемого спуска».

Таким образом, рассматриваемая в работе общая схема мягкой посадки КА, названная в работе «схемой посадки с зависаниями», заметно отличается от применявшихся ранее схем. Данная схема является модифицированным вариантом схемы, которая была применена на китайском КА «Чаньэ 3», совершившем мягкую посадку на Луну в 2013 году.

Основными **результатами**, полученными автором и представляющими наибольший **научный и практический** интерес, являются:

1. Схема мягкой посадки КА, предусматривающая зависания КА в ходе движения КА по траектории мягкой посадки. Дополнительным отличием данной схемы от применявшихся ранее заключается в том, что необходимое для зависания приведение КА в вертикальное положение («вертикализация» КА) достигается непосредственно при реализации этапов основного торможения и управляемого спуска КА. Это позволяет исключить обычно применяемые отдельные этапы вертикализации, сопровождаемые последующим повторным обнулением скорости КА, возникшей в результате действия силы тяжести на этапе вертикализации, что способствует повышению энергетической эффективности и надежности миссии.

2. Методика решения задачи совместной оптимизации характеристик двигательной установки (ДУ) и программ управления дросселированием тяги двигателя торможения и углом тангажа КА на этапе основного торможения. В

результате решения данной задачи достигается минимальная относительная масса ДУ (т.е. масса «сухой» ДУ плюс масса топлива, необходимого для реализации этапа), при выполнении терминальных требований по обнулению скорости и вертикализации КА.

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

4. Алгоритм функционирования комплексированной навигационной системы, в которой совместно с измерениями угловой скорости и ускорений КА измеряются высота и скорость движения КА относительно лунной поверхности. Алгоритм, реализующий квазилинейный фильтр Калмана, позволяет решать совместно задачи оценивания состояний КА и идентификации возмущений, являющихся случайными величинами, действующих на КА и его систему управления (СУ) в полете.

5. Методика синтеза структуры и выбора параметров регуляторов замкнутой СУ КА, обеспечивающих выполнение программ управления движением КА на активных участках совместно с компенсацией оцениваемых постоянных и медленно меняющихся возмущений, а также подавление неконтролируемых возмущений, что обеспечивает реализацию всех этапов мягкой посадки по предложенной схеме с удовлетворительной точностью.

**Достоверность** и обоснованность новых научных и практических результатов, полученных в работе, подтверждается результатами имитационного моделирования замкнутой СУ КА с учетом обширного состава возмущающих воздействий, а также сравнением результатов, полученных в работе, с результатами, полученными ранее другими авторами.

**Практическая ценность** работы заключается в возможности использования полученных в ней теоретических результатов при проектировании КА рассматриваемого класса, разработке оптимальных схем и программ управления движением на отдельных этапах посадки, формировании облика навигационной системы и СУ в целом.

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. Объём автореферата значительно превышает установленные Положением ВАК РФ нормы.

В целом указанные недостатки не снижают значимость полученных автором новых научных и практических результатов. Диссертационная работа Хуана Ичун заслуживает положительной оценки.

Вывод: диссертационная работа Хуана Ичуна **соответствует** требованиям ВАК Минобрнауки РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Первый зам. заведующего кафедрой  
Динамика и управления полётом ракет  
и космических аппаратов  
МГТУ им. Н.Э.Баумана  
к.т.н., доцент



Корянов В.В.

Сведения об исполнителе:

Ф.И.О.: Корянов Всеволод Владимирович

Должность: доцент

Ученая степень, ученое звание: кандидат техн. наук, доцент

Место работы: МГТУ им. Н.Э.Баумана

(национальный исследовательский университет)

Адрес: Москва, 105005, 2-ая Бауманская, 5, стр.1

E-mail: kafsm3@bmstu.ru

Телефон: 8(499)261-45-90