

## ОТЗЫВ

официального оппонента, д.т.н., доцента,  
заведующего кафедрой динамики полёта и систем управления Самарского  
университета Стариновой Ольги Леонардовны  
на диссертацию Аунг Мьо Тант  
«Проектирование низкоэнергетических перелётов к Луне с  
использованием точек либрации системы Земля-Луна»  
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

### Актуальность темы диссертации

Низкоэнергетические перелёты по сравнению с прямыми традиционными перелётами уменьшают требуемый запас топлива при переходе на селеноцентрическую орбиту. Кроме того, низкоэнергетические перелёты могут использоваться для достижения полярных орбит с любым положением линии узлов в любую дату прибытия. Низкоэнергетические перелёты имеют менее напряжённый график работы служб сопровождения и управления движением КА, так как длительные пассивные участки дают возможность тщательного выполнения навигационных измерений и выработки плана дальнейшего перелёта.

В настоящее время отсутствует общая методология, необходимая для построения подобных схем перелёта. В публикациях предлагаются схемы расчёта, базирующиеся на ряде эмпирических соображений, полученных посредством анализа численных результатов. При этом проблема, как правило, сводится к использованию некоторого частного критерия выделяющего оптимальную траекторию движения среди значительного числа рассмотренных траекторий движения КА. Имеющиеся результаты не дают чёткого и однозначного представления об общей методологии расчёта низкоэнергетических перелётов Земля-Луна.

Отдел документационного  
обеспечения МАИ

«3» 10 2023

Актуальность избранной темы диссертационной работы Аунг Мью Танг обусловлена необходимостью разработки новых методов для оптимизации схем низкоэнергетических перелётов к Луне. В настоящей работе предложена относительно простая в реализации методика нахождения параметров схемы низкоэнергетического лунного перелёта.

### **Степень обоснованности, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается

- использованием математической модели задачи четырёх тел при описании траектории перелёта к Луне, которая учитывает воздействие на КА Земли, Луны и Солнца на всех этапах перелёта;

- корректным использованием апробированных методов численного интегрирования при решении задачи Коши и краевой задачи для системы дифференциальных уравнений;

- корректным использованием апробированных методов решения задач на условный экстремум;

- сравнительным анализом численных результатов с результатами, опубликованными в литературе.

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

Таким образом, проведённое исследование, анализ научных положений и сформулированных выводов позволяют считать полученные результаты диссертации достоверными и обоснованными.

Новизна научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, заключается в следующем.

- В разработке метода проектирования низкоэнергетических лунных перелётов, предполагающего использование в качестве начального

приближения траекторию, которая проходит через окрестность коллинеарных точек либрации L1 или L2 системы Земля-Луна.

- Во введении условий, обеспечивающих близость формы, размера и расположения оскулирующих геоцентрических орбит точки либрации и космического аппарата в момент прохождения космическим аппаратом окрестности точки либрации.

- В использовании характеристик промежуточной орбиты, на которую КА переводится при старте с низкой околоземной орбиты, как оптимизируемых характеристик схемы перелёта.

- В использовании положения восходящего узла лунной орбиты по отношению к плоскости земного экватора, при нахождении начального приближения оптимизируемой траектории.

- В использовании прямого перебора (при нахождении начального приближения оптимизируемой траектории) двух важнейших выбираемых параметров схемы перелёта (даты старта и радиуса апогея промежуточной орбиты) с достаточно малым шагом перебора, что способствует преодолению проблемы «застывания» в областях локального экстремума при использовании итерационных процедур.

- В использовании промежуточного импульса скорости как методического приёма, обеспечивающего большую эффективность разработанного метода.

Оценивая содержание диссертации, следует отметить, диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается непротиворечивой методологической платформой и взаимосвязанностью выводов. Структура диссертации соответствует заявленной теме, цели и задачам исследования, раскрывает его основные проблемы и выводы. Каждая из частей диссертации составляет органическое единство с другими частями. Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные

результаты и положения, выдвигаемые автором для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе автора в науку. Предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

### **Значимость полученных результатов для развития технических наук**

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанный метод может позволить обеспечить более эффективное исследование и освоение Луны при развитии лунных программ. Может позволить реализовывать лунные грузовые перевозки, используя располагаемые и проектируемые транспортные космические средства, доставлять на окололунные орбиты полезную нагрузку большой массы.

Апробация и внедрение результатов исследования осуществлялись на международных и российских научных и научно-практических конференциях. Основные научные результаты диссертационного исследования отражены в научных трудах автора.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации**

Разработанные методы, алгоритмы и программно-моделирующие комплексы могут найти применение при проектировании перспективных миссий к Луне и на селеноцентрические орбиты. Целесообразно применять программно-моделирующий комплекс в баллистических центрах при выполнении проектно-баллистических работ.

### **Соответствие работы паспорту специальности**

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов, а именно:

п.1: Разработка и совершенствование математических моделей, используемых для описания движения и управления летательным аппаратом на различных режимах полёта;

п.5: Создание методов анализа и проектирования траекторий одиночных летательных аппаратов, а также группы ЛА.

Соответствие содержания диссертационной работы специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов подтверждается методами исследования, апробацией работы, её научной новизной и практической полезностью.

#### **Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

В автореферате представлены разделы, отражающие содержание и структуру диссертационной работы: актуальность, цель, задачи, методы, основные положения, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, выводы. Приводится краткое содержание глав диссертации, описание разработанных методов, основные результаты расчётов. Таким образом, автореферат соответствует основным положениям диссертации, дает целостное и полное представление о содержании и результатах работы.

#### **Замечания к работе**

Диссертация и автореферат написаны на высоком научном и методическом уровне. Стиль изложения построен логично, грамотен и понятен.

Вместе с тем, необходимо отметить следующее:

1. Математическая модель движения учитывает нецентральность поля тяготения Земли, но не учитывает нецентральность поля тяготения Луны, даже при расчёте селеноцентрического движения. При длительности селеноцентрического движения 3-10 суток это возмущение будет оказывать влияние на движение КА.

2. Рассматривается задача об оптимизации перелёта к круговой селеноцентрической орбите с не фиксированным наклоном. Большинство современных окололунных миссий предусматривают орбиты с заданным наклоном.

3. В диссертации присутствуют отдельные опечатки и неточности в обозначениях величин. Например, на рисунках 4.4, 4.11 не приведены обозначения осей, а в подписях к рисункам 4.6, 4.8 неверно отформатирована размерность константы. Величина характеристической скорости в селеноцентрической системе координат обозначена по-разному в разных местах диссертации и автореферата ( $\Delta V_{br}$  и  $\Delta V_r$ ).

4. Некоторые результаты приведены с излишней точностью. Например, радиус апоцентра орбиты с точностью до 1 см, длительность перелёта с точностью до  $10^{-7}$  часа.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости работы и высокой положительной оценки диссертационного исследования. Замечания сформулированы в развитие темы и свидетельствуют не об ошибках автора, а о профессиональном интересе к его работе, комплексном и многогранном характере исследованных вопросов, перспективах научных изысканий, основу которых сформировал диссертант, что делает диссертацию ценной в научном и практическом отношении.

### **Заключение**

Диссертационная работа Аунг Мью Тант на тему: «Проектирование низкоэнергетических перелётов к Луне с использованием точек либрации системы Земля-Луна» представляет собой цельную завершённую научно-квалификационную работу на актуальную тему, имеет практическую значимость. Новые результаты, полученные диссертантом, позволяют получать адекватные результаты по поиску оптимального управления и расчёту оптимальных траекторий спуска КА в атмосферах Марса и Юпитера с учётом возмущающих факторов для широкого диапазона граничных

условий, проектно-баллистических характеристик, исходных данных и критериев оптимальности.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Аунг Мью Тант, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Доктор технических наук (специальность 05.07.09), доцент,  
заведующий кафедрой динамики полёта и систем управления  
федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования "Самарский национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королева" (Самарский университет)  
Тел: (846) 267-45-04, email: [starinova.ol@ssau.ru](mailto:starinova.ol@ssau.ru)

*Starinova*  
4.09.2023

Старинова Ольга Леонардовна

Адрес организации:  
443086 Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования "Самарский национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королева" (Самарский университет)  
Тел.: (846) 335-18-26, e-mail: [ssau@ssau.ru](mailto:ssau@ssau.ru)



Подпись <u>Starinova O.L.</u> удостоверяю
Начальник отдела сопровождения деятельности
ученых советов Самарского университета
<u>Бояркина</u> Бояркина У.В.
« 7 » 09 2023 г.

*с отзвон  
ознакомлен*

*оф. 10.2023*

*Б.*