

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Аунг Мьо Танга на тему «Проектирование низкоэнергетических перелетов к Луне с использованием точек либрации системы Земля-Луна», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Диссертационное исследование Аунг Мьо Танга посвящено актуальной в настоящее время задаче – оптимизации траекторий перелёта к Луне. В настоящее время известно уже большое число методов её решения как для прямых перелётов, так и для перелётов, использующих гравитационные возмущения в системе Земля-Луна-Солнце. Подобные задачи решались в теории и на практике с середины XX века, однако для каждого конкретного проекта приходится разрабатывать новую методологию или модифицировать имеющуюся. Наглядным примером этого служит реализованный в прошлом году полёт в рамках миссии «Artemis-1». Многообразие постановки задач оптимального управления в механике космического полёта определяется возможностью выбора отличающихся друг от друга схем перелёта, для каждой из которых существует свой алгоритм для нахождения оптимальной траектории.

Аунг Мьо Танг предлагает методику определения параметров оптимальной низкоэнергетической лунной траектории, предполагающую сужение класса исследуемых перелётов до тех, которые проходят в окрестностях точек либрации  $L_1$  и  $L_2$  системы Земля-Луна. Низкоэнергетические траектории хорошо вписываются в современные тенденции к исследованию и освоению Луны в связи с активизацией лунных программ в США, Китае, Индии и РФ в последнее десятилетие.

Научная новизна работы заключается в использовании физических свойств точек либрации  $L_1$  и  $L_2$  для снижения энергетических затрат на перелёт. Автором вводятся условия, обеспечивающие близость формы, размера и расположения оскулирующей геоцентрической орбиты точки либрации и орбиты космического аппарата в момент его подлёта к этой точке. Применение данной методики, включающей оптимизацию промежуточной орбиты с большим апогеем (более 1 млн. км) и ввод промежуточного импульса скорости, позволило уменьшить энергетические затраты более, чем на 200 м/с по сравнению с траекторией прямого перелёта. Автор справедливо отмечает, что увеличение продолжительности перелёта не является критичным при перевозке длительно хранимых грузов. Кроме того, предлагаемая методика позволяет обеспечить гравитационный захват космического аппарата Луной ещё на геоцентрическом участке траектории, до подлёта к точке либрации, что и способствует такому заметному уменьшению энергетики перелёта.

В качестве недостатков можно отметить следующие.

Во-первых, постановка задачи не даёт зафиксировать наклонение конечной окололунной орбиты – на практике не проектируются орбиты со «свободным» наклонением.

Во-вторых, автором не обосновано, что ограничение класса исследуемых траекторий до проходящих через окрестность точек  $L_1$  и  $L_2$  является методически правильным.

В-третьих, два последних пункта в разделе «Новизна» – использование прямого перебора и использование промежуточного импульса скорости – не могут рассматриваться как корректные, так как давно применяются при проектировании миссий. Вполне возможно, что новизна состоит в обосновании выбора перебираемых параметров и в способе задания промежуточного импульса скорости, однако в тексте это не раскрыто. Например, не объяснено, почему дополнительный импульс скорости прикладывается именно на границе геоцентрического участка.

В-четвёртых, в автореферате присутствует странная терминология. Например, непонятно, что понимается под «чисто разгонным импульсом скорости» и под «антиколлинеарностью»? Кроме того, рисунок 4(а) почти полностью повторяет рисунок 6(а).

В-пятых, в автореферате показано, что апробация работы в основном была локализована в МАИ, есть также одно выступление на Академических чтениях по космонавтике. Опубликованы две статьи в журналах из Перечня ВАК. Специфика темы и полученные результаты могли бы обеспечить более обширную представленность работы.

Указанные замечания не снижают общей научной ценности проведённого автором исследования. На основании автореферата можно сделать вывод, что диссертация Аунг Мью Танта «Проектирование низкоэнергетических перелетов к Луне с использованием точек либрации системы Земля-Луна» является полноценным законченным исследованием, включает решение актуальной с теоретической и практической точек зрения научной задачи. Работа соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней (п.9-14), а её автор, Аунг Мью Танта, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Отзыв составил

**Гришко Дмитрий Александрович**

кандидат физико-математических наук, доцент,

доцент кафедры ФНЗ «Теоретическая механика» им. профессора Н.Е. Жуковского

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»  
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, <https://bmstu.ru/>  
тел. (499)263-63-75 , E-mail: [dim.gr@bmstu.ru](mailto:dim.gr@bmstu.ru)

27 сентября 2023 г.

Д.А. Гришко

Подпись Д.А. Гришко удостоверяю

