

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Юна Сон Ука на тему «Оптимизация траекторий космического аппарата с электроракетной двигательной установкой при наличии возмущающих ускорений», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Диссертационная работа Юна Сон Ука посвящена задаче расчета и оптимизации межорбитальных и межпланетных траекторий космических аппаратов (КА), оснащенных электроракетными двигательными установками (ЭРДУ).

Актуальность данной работы не вызывает сомнений и обусловлена наличием в настоящее время большого числа проектов космических миссий, находящихся в различных стадиях готовности, требующих чрезвычайно больших энергетических затрат для их реализации. Данная работа посвящена, главным образом, разработке эффективной методики решения задач оптимизации как траекторий межорбитального перехода, так и межпланетных траекторий КА с ЭРДУ.

Научная новизна работы заключается, прежде всего, в использовании различных имеющихся подходов при нахождении оптимальных траекторий движения с малой тягой с учетом точных моделей возмущающих ускорений, отвечающим различным критериям эффективности.

Для нахождения управления вектором тяги ЭРДУ в работе используется принцип максимума Л.С. Понтрягина, позволяющий свести задачу поиска оптимального управления к краевой задаче для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Полученная краевая задача с помощью метода продолжения по параметру, основанного на ньютоновской гомотопии, сводится к численному решению задачи Коши.

При ее решении диссертанту необходимо было учитывать высокую чувствительность траекторий анализируемого класса к выбираемым параметрам управления, сложностью аналитической записи правых частей системы уравнений оптимального движения КА, бифуркации решений в процессе работы метода продолжения, а также с тем, что для ряда рассматриваемых траекторий (в частности траекторий перелета к Луне, межпланетных траекторий) порядок величин возмущающих ускорений вдоль траектории сильно различается, что затрудняет сквозную оптимизацию всей траектории КА.

В качестве примеров, иллюстрирующих работоспособность и вычислительную устойчивость предлагаемых алгоритмов, в работе

Ученый отдел документационного  
обеспечения МАИ

25 10 2023



проанализировано большое число траекторий с малой тягой: межорбитальных перелетов между орбитами искусственных спутников Земли (ОИСЗ), траекторий с ограниченной тягой между околоземной и окололунной орбитами, а также задач оптимизации гелиоцентрического участка траектории межпланетного перелета при использовании схемы полета со стыковкой планетоцентрических и гелиоцентрических участков траектории в коллинеарных точках либрации.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Разработан ряд алгоритмизированных методик, предлагаемых автором работы к практическому применению для проектно-баллистического анализа траекторий КА с ЭРДУ.
2. Разработано программно-математическое обеспечение для расчета и оптимизации рассматриваемых классов траекторий с малой тягой.
3. Получены численные результаты, позволяющие судить о достоверности полученных решений, а также о величине временных и энергетических затрат (характеристической скорости, массы рабочего тела, суммарного импульса тяги ЭРДУ) при реализации рассмотренных перелетов.

В качестве замечаний необходимо отметить следующее:

1. судя по автореферату, в шестой главе диссертационной работы траектория КА анализируется в рамках ограниченной задачи четырех тел (с учетом притяжения Солнца, Земли и планеты назначения), при этом в работе не учитываются возмущающие ускорения и от иных планет Солнечной системы. С учетом более полной картины возмущений для практической значимости могут быть найдены дополнительные траектории, использующие гравитационные маневры в рамках решения задачи сквозной оптимизации траектории межпланетного перелета с помощью принципа максимума.

2. В тексте автореферата не рассмотрено, каким образом обеспечивается уход КА из точки либрации L2 системы Земля-Солнце при анализе гелиоцентрической траектории в шестой главе. По-видимому, траектории КА, находящегося в начальный момент в точке либрации, могут в процессе продолжения решения «скатываться» внутрь сферы Хилла Земли, формируя ОИСЗ, что, видимо, должно приводить к отказу предлагаемого метода решения краевой задачи.

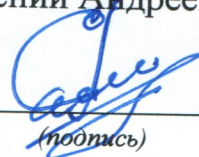
Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы на тему «Оптимизация траекторий космического аппарата с электроракетной двигательной установкой при наличии возмущающих ускорений» и не влияют на ее главные теоретические и практические результаты. Считаю, что она удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением



Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, и соответствует паспорту специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов». Автор работы Юн Сон Ук заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Кандидат технических наук, заместитель  
главного конструктора космических  
систем и комплексов акционерного  
общества «Научно-производственная  
корпорация «Космические системы  
мониторинга, информационно-  
управляющие и электромеханические  
комплексы» имени А.Г. Иосифьяна»  
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

Лоторевич  
Евгений Андреевич



(подпись)

10 2023 г.  
(дата)



Заместитель начальника  
отдела управления персоналом  
Телефон: 8 (495) 623 59 81

Адрес: 107078, г. Москва, Хоромный тупик, д. 4, стр. 1.  
Тел.: +7 495 623 59 81.  
E-mail: ealotorevich@gmail.com/