

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Паинг Сое Ту У
«Оптимизация межорбитальных перелетов с конечной тягой»,
представленной для получения степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.16 –
«Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

В диссертации Паинг Сое Ту У рассмотрен ряд вопросов, касающихся разработки методов численной оптимизации многовитковых траекторий межорбитальных перелетов космических аппаратов (КА) с двигателями конечной тяги. Работа проводилась в рамках единого подхода, продвигаемого в МАИ и НИИ ПМЭ МАИ (в работах Петухова В.Г., Константинова М.С. и др.), по последовательному решению краевых задач, начиная с относительно простой модели идеально-регулируемого двигателя, и перехода от полученного решения с помощью метода продолжения по параметру к решению краевой задачи для более сложной модели с двигателем ограниченной тяги.

В диссертации такой переход реализован для получения решений краевой задачи для модели с двигателем ограниченного ускорения. Хотя эта модель вспомогательная, она полезна «при проведении проектно-баллистического анализа перспективных космических миссий в условиях, когда основные проектные параметры КА и двигательной установки еще не определены». Если масса КА на траекториях меняется слабо, она также полезна при проведении модельных расчетов, поскольку величина ускорения более наглядно связана с характером траекторий (например, с продолжительностью пауз в работе двигательной установки), чем величина тяги.

Еще один важный вопрос, рассмотренный в диссертации – возможность использования угловой дальности в качестве независимой переменной при интегрировании уравнений оптимального движения в равноденственных переменных. Эти переменные удобны тем, что позволяют убрать особенности в уравнениях при нулевых значениях наклона и эксцентриситета (например, при перелетах на геостационарную орбиту). При решении (некоторых) краевых задач удобно сравнивать траектории с одинаковой угловой дальностью, т.е. фиксировать дальность, а время считать свободным. А чтобы обеспечить нужную угловую дальность, желательно рассматривать ее в качестве независимой переменной (вместо времени). К сожалению, истинная долгота L , которая в равноденственных переменных является угловой переменной, не может служить полноценной заменой

Отделу международного
обеспечения МАИ

23» 01 2024г.

времени в качестве независимой переменной, ибо не исключены ситуации, когда L может изменяться немонотонно. Поэтому в диссертации предлагается использовать т.н. «вспомогательную дальность», которая лишена указанного недостатка (если ограничиться эллиптическими орбитами).

Предложенные методы далее использовались для проведения полноценного анализа различных комбинированных маневров – с использованием большой тяги для выведения КА на промежуточную орбиту, и последующего многовиткового перелета на целевую орбиту с использованием малой тяги электроракетной двигательной установки. Их эффективность показана также на многочисленных модельных расчетах.

Все это потребовало от диссертанта освоения непрямых методов оптимизации, основанных на использовании принципа максимума Понтрягина. И современных методов вычислительной математики, таких, как метод продолжения по параметру (в т.ч. по гравитационному параметру), метод интегрирования Дормана-Принса 7(8) -го порядка с адаптивным выбором длины шага, метод комплексного шага для численного вычисления некоторых производных, интерполяция результатов расчетов трехмерными B-сплайнами.

Основные результаты исследований были доложены на 10 российских и международных конференциях и опубликованы в 5 статьях (4 – в изданиях из списка ВАК Минобрнауки России, 1 – в журнале, входящем в систему Scopus).

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Полученные результаты наглядно представлены в рисунках, графиках и таблицах. Хотя в тексте имеются и некоторые огрехи (помимо грамматических ошибок). Так, в конце стр. 14 написано «В этих формулировках фиксируется угловая дальность перелета, а длительность перелета считается фиксированной». По-видимому, имелось в виду, что «длительность перелета считается свободной». В конце диссертации (стр. 118-121) приведен список сокращений и условных обозначений, но некоторые сокращения, например КЗ (краевая задача) и ЗОУ (задача оптимального управления), которые много раз используются в тексте, почему-то в список не попали. На стр. 26 при обосновании введения «вспомогательной дальности K » отмечается, что «производная от K по времени всегда положительна и определена, если фокальный параметр положителен». Однако, чтобы траекторию можно было проинтегрировать на

нужном количестве витков и получить требуемую угловую дальность, дополнительно необходимо, чтобы оскулирующая орбита не вырождалась в параболу.

Но в целом работа производит впечатление добротного выполненного законченного научного исследования, которое вносит заметный вклад в развитие методов численного решения задач оптимизации межорбитальных перелетов. Она соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Считаю, что её соискатель Паинг Сое Ту У заслуживает присвоения степени кандидата технических наук.

Научный сотрудник
кандидат физ.-мат. наук



Р.З. Ахметшин

17.01.2024г.

Подпись Р.З. Ахметшина заверяю

Ученый секретарь Института прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН
кандидат физ.-мат. наук



А.А. Давыдов

Контактная информация:

Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН).

125047, город Москва, Миусская пл., д. 4.

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <https://www.keldysh.ru> .

Адрес электронной почты: office@keldysh.ru .

Тел. +7 499 978-13-14, факс: +7 499 972-07-37.