

РАКЕТНО - КОСМИЧЕСКАЯ КОРПОРАЦИЯ

141070

г. Королев

Московской области,

ул. Ленина, 4-а

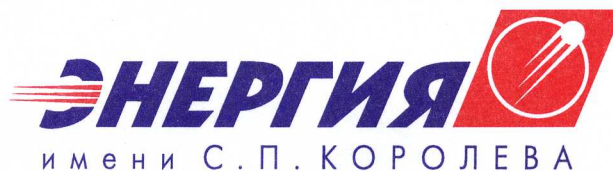
Телеграфный "ГРАНИТ"

Телефон: (495) 513-86-55

Факс: (495) 513-88-70, 513-86-20, 513-80-20

E-mail: post@rsce.ru

http://www.energia.ru



10.10.2018 № 2021-8/143

На № \_\_\_\_\_

Г \_\_\_\_\_

Учёному секретарю  
диссертационного совета  
Д212.125.12, кандидату  
технических наук, доценту  
Старкову А.В.

125993, Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д.4,  
Учёный совет МАИ

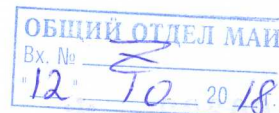
Уважаемый Александр Владимирович!

Высылаю Вам отзыв официального оппонента на диссертацию Орлова А.А. «Оптимизация сложных схем перелёта КА с электроракетными двигателями при граничных условиях смешанного типа».

Приложение: упомянутое, на 4 листах, 2 экз.

Руководитель научно-технического центра  
ПАО РКК «Энергия»,  
доктор технический наук

Ю.П. Улыбышев



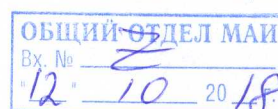
## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Орлова Александра Александровича «Оптимизация сложных схем перелёта КА с электроракетными двигателями при граничных условиях смешанного типа», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности – 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

В последнее десятилетие значительно усилился интерес к анализу и проектированию космических миссий за пределами околоземных орбит – межпланетных полётов. В ближайшей перспективе подобные миссии рассматриваются для космических аппаратов (КА) с высокоэффективными электрореактивными двигательными установками (ЭРДУ). В методическом плане астродинамические задачи межпланетных полётов, включая гравитационные маневры (ГМ), как правило, существенно сложнее и многообразнее задач околоземной астродинамики. С этих точек зрения тема диссертации является актуальной.

Диссертационная работа Орлова А.А. включает введение и три главы.

Во введении приводится краткий обзор реализованных межпланетных миссий с использованием ЭРДУ. Указаны в том числе миссии с использованием гравитационных маневров (ГМ). Перечислены современные работы посвящённые анализу и проектированию ГМ. Изложен краткий обзор работ по оптимизации траекторий КА с малой тягой. Всё это логически связано с обоснованием актуальности работы. Описаны цель



диссертационной работы, научная новизна, практическая значимость, апробация результатов и основные научные положения, выносимые на защиту.

Первая глава связана с оптимизацией прямых межпланетных перелётов КА с ЭРДУ. Изложена известная математическая модель и использование для неё принципа максимума Понтрягина. Описаны методы продолжения по параметру, в т.ч. метод продолжения по гравитационному параметру (ППП). Новым здесь является модификация метода ППП, в которой используется оптимизация траектории для двигателя ограниченной тяги на первом этапе, в отличие известного метода, где на этом этапе использовалась модель двигателя ограниченной мощности. Приводится пример, подтверждающий эффективность подобной оптимизации. В заключительном параграфе главы приводятся примеры прямых межпланетных перелётов.

Вторая глава посвящена оптимизации схем межпланетных перелётов КА с ЭРДУ, использующих один или несколько ГМ, что приводит к многоточечным краевым задачам. Описаны две известные методики, которые требуют решения вспомогательных задач. Разработана модификация методики фиксации угловой дальности, которая даёт возможность использовать метод ППП для решения многоточечных краевых задач. Она реализована на основе модифицированного метода ППП, разработанного в первой главе (п.1.4.). Детально рассмотрены необходимые условия оптимальности для базис-вектора, которые являются наиболее чувствительными и трудноопределимыми в многоточечных краевых задачах. Детально описываются численные примеры межпланетных траекторий от Земли к Юпитеру с ГМ у Земли и от Земли к Меркурию с ГМ у Венеры.

Заключительная третья глава носит прикладной характер. Рассматривается транспортная система с ЭРДУ для различных вариантов мощности энергоустановки при полётах к Юпитеру. Выполнены анализ таких миссий для различных схем полёта (прямой, с одним ГМ у Земли и с двумя ГМ у Земли) и их сравнение. Особенностью выполненного анализа является использование ступенчатой зависимости величины тяги от гелиоцентрического расстояния КА.

В целом представленные результаты обладают научной новизной. По нашему мнению наиболее существенными результатами, полученными в диссертации, являются:

- модифицированный метод продолжения по гравитационному параметру для оптимизации межпланетных траекторий с малой тягой;
- развитие этого метода для межпланетных траекторий, которые требуют решения сложных многоточечных краевых задач;
- методика оптимизации перелётов с гравитационными манёврами, в которой эти манёвры не требуют существенного увеличения размерности краевых задач.

Материалы диссертации достаточно полно отражены в научных публикациях.

Научные положения, выводы и результаты, сформированные в диссертации, получены и обоснованы с использованием апробированных математических подходов и верифицированы большим объёмом расчётов.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Материалы диссертации соответствуют специальности научных работников 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» (технические науки).

Результаты работы представляют интерес для НПО им Лавочкина, ЦНИИМАШ, ИПМ им. Келдыша РАН и ИКИ РАН.

В работе имеется ряд недостатков:

- все публикации по диссертации (кроме одной - тезисы доклада на чтениях К.Э Циолковского) написаны в соавторстве, что затрудняет оценку личного вклада диссертанта;
- имеются опечатки в формулах и ряд замечаний стилистико оформительского характера (например: уравнение 2.3.10, стр.71; использование гистограммного графика для сравнения всего двух чисел – рис. 1.5.2, стр. 39 совсем излишне; в автореферате угол  $\beta$  упоминается раньше, чем дано его определение – стр. 11; и т.п.).

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертации Орлова А.А.

Диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой решены важные проектно-баллистические задачи, имеющие существенное значение для реализации межпланетных миссий КА с малой тягой. Следует отметить как положительный момент, что тематика диссертации является достаточно сложной для кандидатской диссертации.

Считаю, что работа «Оптимизация сложных схем перелёта КА с электроракетными двигателями при граничных условиях смешанного типа» удовлетворяет требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», а её автор Орлов Александр Александрович – заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Руководитель научно-технического центра

Ракетно-космической корпорации «Энергия»,

доктор технических наук

Ю.П. Улыбышев

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва.  
Московская область, г. Королев, 141070, ул. Ленина, д. 4а. Тел. 495-513-6406,  
E-mail: Yuri.Ulybyshev@rscce.ru

Подпись официального оппонента Улыбышева Ю.П. заверяю

Ученый секретарь Совета,

кандидат физико-математических наук



О.Н. Хатунцева