

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Баранова Андрея Анатольевича

**"Разработка методов расчета параметров маневров космических аппаратов в окрестности круговой орбиты"**, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 - "Теоретическая механика".

Диссертация Баранова А.А. посвящена безусловно актуальной теме и связана с решением целого комплекса вопросов по проблеме расчета многоимпульсных траекторных маневров космических аппаратов (КА) различного назначения, находящихся на орбитах близких к круговым. К ним относятся и перерасчет параметров орбитальных маневров при ограничениях на запас суммарной характеристической скорости для парирования нештатных ситуаций, возникающих в режимах выведения и стыковки, и проблемы космического мусора, и задачи инспектирования КА, находящихся на орбитах с существенно различными параметрами, и, наконец, вопросы создания и поддержания спутниковых группировок.

Для решения перечисленных вопросов автор применяет разработанные им аналитические и численно-аналитические методы. Эти методы применяются к классической задаче встречи, при наличии различных ограничений; к задаче встречи большой продолжительности, когда имеется значительное отличие в долготе восходящего узла у начальной и конечной орбит; к расчету маневров относительного поддержания конфигурации спутниковых систем; к расчетам параметров маневров, исполняемых ДУ малой тяги, к задачам маневрирования, связанных с проблемой КМ, как в режимах увода от осколков, так и в задачах перевода космического мусора на орбиты захоронения. Важной особенностью разработанных методов расчета от существующих методов, основанных на численном интегрировании уравнений в оскулирующих параметрах орбиты, является быстродействие, надежность и относительная простота, позволяющая наглядно вскрыть внутренние закономерности теории орбитального маневрирования космических объектов и реализовать бортовые итерационные процедуры расчета траекторий и орбитальных маневров с целью обеспечения автономности функционирования КА.

За основу автор берет линеаризованную систему уравнений движения КА в центральном гравитационном поле. Однако далее он приводит итерационную процедуру, которая во всех описанных далее методах используется для формирования с заданной точностью конечной орбиты с учетом нецентральности гравитационного поля, влияния атмосферы, работы двигательной установки и т.д.

Подробно рассмотрены задачи перехода между компланарными пересекающимися и непересекающимися орбитами и три типа решений задачи перехода между некомпланарными орбитами. Описано универсальное аналитическое решение, разработанное автором для задачи перехода между некомпланарными орбитами.

Исследована задача встречи на компланарных и некомпланарных орбитах. Разработан универсальный алгоритм определения маневров четырехимпульсной многовитковой встречи. Описан численно-аналитический алгоритм определения параметров четырехимпульсных маневров дальнего наведения, основанный на геометрической интерпретации импульсов скорости. Для шестиимпульсных невырожденных решений приведены формулы для определения углов приложения и ориентации импульсов скорости. Приводится описание разработанного им численного метода. Данный метод использовался в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН для определения параметров маневров КА различного типа. В данном методе используется также разработанный автором графический диалог с задачей. Диалог особенно эффективен при возникновении нештатной ситуации, т.к. позволяет анализировать различные схемы маневрирования.

Рассмотрена имеющая важное практическое значение задача встречи, при значительном (нескольких десятков градусов) отклонении долготы восходящего узла. Эту задачу можно считать наиболее сложной задачей встречи, из-за большого времени решения и плохой сходимости итерационной процедуры. Для ускорения получения решения применялись численно-аналитический прогноз и численно-аналитическое определение параметров маневров. Разработанный метод её решения с успехом использовался для расчета маневров создания различных спутниковых систем и Formation Flying, при решении задачи возвращения крупногабаритного космического мусора и задачи обслуживания, требующих ремонта КА.

Рассмотрена также задача определения параметров маневров, обеспечивающих поддержание заданной угловой конфигурации спутниковой системы, так называемое «гибкое поддержание» конфигурации. Используются численно-аналитический прогноз движения КА и аналитическое определение параметров маневров, что обеспечивает высокую скорость решения задачи. Разработанный подход к решению задачи, был использован также для решения задачи поддержания угла между плоскостями орбит разноуровневых спутниковых систем.

В конце работы продемонстрирована возможность решения с помощью разработанных методов разнообразных практических задач. Приведены примеры определения четырех-, трех- и двухимпульсных маневров встречи КА «Союз» с ДОС, решения двух задач встречи на орбите Марса в проекте Mars Sample Return Mission. Каждая из двух последних задач имеет два типа решений: «раздельное», когда четыре импульса скорости имеют только трансверсальную составляющую, а два — только боковую, и «комбинированное», когда используются четыре импульса скорости, которые имеют и трансверсальную, и боковую составляющую. Найденные решения имеют существенно меньшую суммарную характеристическую скорость, чем решения этих задач, полученные в NASA. Разработанные в диссертации методы были использованы для оценки маневров активных космических объектов, для расчета маневров облета объектов крупногабаритного космического мусора.

Достоверность и новизна результатов исследований автора подтверждаются его многочисленными публикациями, в которых представлены основные результаты диссертационной работы А.А. Баранова. Полученные в диссертационной работе результаты использовались в баллистическом центре ИПМ им. М.В. Келдыша РАН для расчета маневров КА типа «Союз», «Прогресс» и орбитальных модулей, стыкуемых с ДОС, а также использовались в CNES для расчета параметров маневров европейского ATV, маневров элементов formation flying «Aqua Train» и «Prizm», в проекте “Mars sample return mission”.

В качестве замечаний к автореферату можно отметить следующее:

1. Излишне большой объем информации, представленной в работе.
2. Отсутствует анализ сходимости в пространстве параметров конкретных задач, решаемых с использованием численно-аналитической процедуры.
3. В универсальном численно-аналитическом методе расчета параметров оптимальных маневров встречи большой продолжительности на компланарных и некомпланарных орбитах не учтены возмущения от сил светового давления.

Приведенные замечания не снижают ценности полученных автором результатов.

В целом диссертация Баранова Андрея Анатольевича является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как решение крупной научной проблемы в области механики космического полета, которое имеет важное практическое значение, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Баранов Андрей Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 - Теоретическая механика.

Мальшев Вениамин Васильевич, доктор технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», заведующий кафедрой Системного анализа и управления МАИ

01 февраля 2019 г.

В.В. Мальшев

Подпись В.В. Мальшева удостоверяю

Директор Аэрокосмического института №6 МАИ



О.В. Тушавина