



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина»
(АО «НПО Лавочкина»)



Ленинградская ул., д. 24, г. Химки,
Московская область, 141402
ОГРН 1175029009363, ИНН 5047196566

Тел. +7 (495) 573-56-75, факс +7 (495) 573-35-95
e-mail: npol@laspace.ru
www.laspace.ru

от _____ № _____
на № _____ от _____

Ученому секретарю
диссертационного совета Д 002.024.01
Федерального исследовательского центра
«Институт прикладной математики
им. М. В. Келдыша Российской академии наук»
кандидату физико-математических наук
А.Е. Бондареву

125047, г. Москва, Миусская пл., 4.

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу 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

Диссертационная работа Баранова Андрея Анатольевича посвящена проблеме разработке теории маневрирования космических аппаратов (КА) в окрестности круговых орбит.

В настоящее время ускоренными темпами растет число космических систем (КС) с разнообразными орбитальными структурами (ОС), предназначенными для решения широкого круга целевых задач. Значительное место в баллистическом обеспечении управления, как отдельными КА, так и орбитальными группировками (ОГ), занимает решение различного рода задач орбитального маневрирования. Разнообразие целевого назначения КС определяет и многообразие типов маневрирования КА. Среди них можно выделить маневры приведения КА на целевую орбиту, маневры сближения с другим КА, маневры формирования и поддержания заданной ОС КС, маневры поддержания тандемной конфигурации полета КА, маневры уклонения от космического мусора, маневры увода КА на орбиту захоронения и другие. При этом следует заметить, что подавляющее число КА предназначены для функционирования на орбитах близких к круговым. Как правило, практическая реализация многих маневров сопряжена с необходимостью учета различных ограничений, поэтому положительный результат может быть получен только при соответствующем выборе схемы проведения маневра и оптимизации его параметров. Особую сложность представляет расчет программ проведения многоимпульсных маневров, необходимость использования которых обусловлена как геометрией относительного расположения начальной и целевой орбиты, так и ограниченностью величины тяги двигательной установки (ДУ).

Существует целый ряд работ, посвященных решению задач маневрирования на круговых орбитах, в которых рассматриваются методы решения для определенного

класса задач. При разработке новых КС появляется потребность в решении и новых задач маневрирования для формирования ОС КС, в том числе и задач с большими интервалами планирования многоимпульсных программ коррекции орбит. Важным аспектом разрабатываемых методов является не только обеспечение оптимальности, но и их пригодность для практической реализации в условиях различного рода ограничений.

Таким образом, разработка теоретической базы решения задач маневрирования на околокруговых орбитах и разработка на ее основе эффективных методов решения для широкого круга целевых задач орбитального маневрирования является **актуальной научно-технической задачей**

Рассматриваемая диссертация состоит из 304 страниц, 26 таблиц и 87 рисунков, содержит введение, восемь глав, заключение и список литературы из 184 наименований.

Во введении определяется цель исследования, обосновывается актуальность темы и рассматриваемых научных задач, приведен краткий обзор содержания диссертации, проведена оценка научной новизны и практической значимости полученных результатов, приведены сведения об их реализации, сведения о публикациях по теме диссертации и апробации работы.

В первой главе на базе решения линеаризованной системы уравнений движения КА, формулируется постановка задачи расчета параметров маневров КА в окрестности круговой орбиты. Приведены необходимые условия оптимальности. Дается геометрическая интерпретация импульсов скорости, которая используется при решении поставленной задачи. Дана классификация маневров, на основе которой излагается материал в следующих трех главах. Приведена традиционная итерационная процедура, с помощью которой заданная орбита формируется с необходимой точностью.

Во второй главе рассмотрена задача перехода между орбитами. Приведены формулы для определения параметров маневров перехода между компланарными и некомпланарными орбитами для всех возможных типов оптимальных решений, в том числе для разработанного автором универсального аналитического решения.

В третьей главе приведены аналитические и численно-аналитические методы решения задачи встречи на компланарных орбитах. Описан геометрический метод определения параметров двух-, трех- и четырёхимпульсных маневров встречи на непересекающихся орбитах для случая, когда годограф базис-вектора вырождается в точку. Для перелета между пересекающимися орбитами, приведены формулы для определения параметров трех- и четырёхимпульсных решений. Для невырожденных решений (годограф базис-вектора – циклоида) приведены формулы для определения углов приложения и ориентации импульсов скорости. Рассмотрены преимущества и недостатки задачи Ламберта. Решена задача встречи с ограничением на минимальную и максимальную высоту переходной орбиты.

В четвертой главе приведены аналитические и численно-аналитические методы решения задачи встречи на некомпланарных орбитах. Описан численно-аналитический алгоритм, в котором два импульса скорости решения задачи перехода делятся между двумя интервалами маневрирования таким образом, чтобы обеспечить решение задачи встречи. Также описан численно-аналитический алгоритм решения задачи дальнего наведения, который позволяет определить параметры маневров КА «Союз», «Прогресс» и дает объяснение получению именно такого решения. Для невырожденных решений, соответствующих годографу базис-вектора в форме спирали, приведены формулы для определения углов приложения шести импульсов скорости.

В пятой главе рассматривается разработанный автором численный метод определения параметров маневров дальнего наведения. Минимум в пространстве составляющих импульсов скорости ищется с помощью метода сопряженных направлений. Перебор точек в пространстве углов приложения импульсов скорости

осуществляется с помощью L_{pl} последовательности. Данный метод, использовался в ИПМ им. М.В. Келдыша для расчета маневров КА «Союз» и «Прогресс», орбитальных модулей.

Метод включает графический диалог с задачей, позволяющий, учитывать дополнительные ограничения. Данный диалог наиболее эффективен при выборе новой схемы маневрирования при возникновении нештатной ситуации, при расчете маневров уклонения от столкновения с космическим мусором на фазирующей орбите.

В шестой главе рассматривается особый вид задачи встречи, в которой имеется значительное отклонение долготы восходящего узла. Другой особенностью данной задачи является большая продолжительность перелета, которая может составлять более тысячи витков. Данный тип задач встречается при расчете маневров, позволяющих сформировать заданную конфигурацию спутниковой системы (СС), в задачах обслуживания на орбите, при облете объектов космического мусора. Предложен оригинальный метод решения данной задачи, в котором используются три вложенные итерационные процедуры. Внутри «приближенной» задачи используются несколько методов определения параметров маневров.

Данный метод использовался для расчета маневров переформирования СС «Globalstar» и для создания спутниковой группы «Aqua Train».

В седьмой главе рассмотрен второй тип задачи маневрирования необходимый для СС – задача расчета маневров поддержания заданной конфигурации СС. Задача решается в наиболее сложной постановке - рассчитываются маневры «гибкого» поддержания, при котором согласуется движение всех спутников системы. Контролируется угловое расположение спутников системы. Отличительными особенностями предлагаемого метода решения задачи являются высокая скорость расчета и геометрическая интерпретация полученного решения.

Высокая скорость решения достигается использованием численно-аналитического прогноза движения «THEONA» и численно-аналитическим вычислением параметров маневров. Рассмотрена также задача поддержания угла между плоскостями разноуровневых СС.

В восьмой главе приведены примеры решения нескольких практических задач с помощью разработанных в работе методов.

Приведены результаты последовательного решения четырех-, трех- и двухимпульсных задач маневрирования, которые обеспечивают перелет КА «Союз» в заданную окрестность орбитальной станции. Универсальность метода, разработанного для расчета маневров формирования СС, позволила применить его для решения двух задач встречи в проекте “Mars sample return mission”. Показано, что полученные решения имеют существенно меньшую суммарную характеристическую скорость, по сравнению с решениями этих задач полученными в NASA.

В этой главе также сделан обзор результатов использования разработанных методов в задачах расчета маневров облета объектов крупногабаритного космического мусора и оценки маневров активных космических объектов.

Завершается глава примером расчета маневров, исполняемых двигательной установкой малой тяги.

В заключении перечислены основные результаты диссертационной работы и сформулированы выводы.

К новым научным результатам диссертационных исследований можно отнести следующие:

- аналитический метод расчета параметров оптимальных импульсных маневров перехода между некомпланарными орбитами без радиальных составляющих импульсов скорости;

- численно-аналитический метод расчета параметров оптимальных маневров встречи на компланарных орбитах с 2-4 импульсами скорости;
- аналитический метод расчета параметров оптимальных трех- и четырехимпульсных маневров встречи на компланарных орбитах;
- определение областей существования различных типов оптимальных решений задачи встречи на компланарных орбитах;
- численно-аналитический метод расчета параметров оптимальных маневров встречи на компланарных орбитах при наличии ограничений на высоту орбиты ожидания;
- универсальный численно-аналитический метод расчета параметров оптимальных маневров встречи на некомпланарных орбитах;
- аналитический метод расчета параметров оптимальных пяти- и шестиимпульсных маневров встречи на некомпланарных орбитах;
- численно-аналитический и численный методы расчета параметров оптимальных маневров дальнего наведения;
- разработка графических диалоговых средств, позволяющих находить компромиссные решения при наличии противоречивых ограничений;
- универсальный численно-аналитический метод расчета параметров оптимальных маневров встречи на некомпланарных орбитах при наличии значительного первоначального отклонения долготы восходящего узла;
- численно-аналитический метод расчета параметров оптимальных маневров «гибкого» поддержания заданной конфигурации СС;
- численно-аналитический метод расчета параметров оптимальных маневров поддержания угла между плоскостями орбит разноуровневой СС.

Практическая значимость работы заключается в разработке методов решения задач коррекции орбиты, используемых для оценки требуемых характеристик ДУ при проектировании перспективных КА и при разработке баллистического обеспечения для управления полетом КА в части коррекции орбит. Эффективность используемых методов расчета параметров коррекций орбит подтверждена при эксплуатации конкретных КА. Они были использованы при расчете маневров сближения КА с орбитальными станциями «Салют 6», «МИР» и МКС.

Достоверность полученных результатов подтверждается сравнением с результатами, опубликованными другими отечественными и зарубежными авторами, представленными в работе примерами решения нескольких практических задач и опытом использования разработанных методов расчета параметров коррекций в баллистическом обеспечении управления полетом конкретных КА.

Результаты работы докладывались на многочисленных Всероссийских и Международных научных конференциях, опубликованы в 28 статьях в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, из них 19 статей опубликовано в журналах, входящих в базы данных Web of Science и Scopus, опубликована монография, содержащая основные результаты диссертационных исследований.

По диссертационной работе можно отметить следующие недостатки:

1. Не приведены диапазоны допустимых значений орбит, используемых для решения каждой из рассматриваемых типов задач.
2. Нет подтверждения программной реализации графического диалога с задачей, приведенного в п. 5.4. Не приведено описание используемого интерфейса работы с программой, по которому можно было бы оценить удобство работы исследователя.

3. Не понятно, почему на основании таблицы 6.1 можно сделать вывод о компромиссной продолжительности перелета 2400 витков, а требуемое изменение элементов орбиты для уменьшения ошибок в п 8.4 поделено в отношении 08:02.
4. В тексте диссертации имеют место опечатки.

Указанные недостатки не снижают значение полученных автором новых научных и практических результатов.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Заключение

Диссертационная работа «Разработка методов расчета параметров маневров космических аппаратов в окрестности круговой орбиты» Баранова Андрея Анатольевича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу на актуальную тему. В диссертации разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое научное достижение. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.02.01 «Теоретическая механика».

Результаты диссертации имеют большую научную и практическую значимость, были использованы в отечественных и международных космических проектах.

Баранов А. А. является известным специалистом по решению широкого круга задач орбитального маневрирования, участвовал в ряде проектов с известными отечественными и международными космическими центрами.

Диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор – Баранов Андрей Анатольевич – заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 «Теоретическая механика».

Официальный оппонент

доктор технических наук,
заместитель начальника отдела


30.01.19

А. Е. Назаров

Подпись официального оппонента
доктора технических наук Назарова Анатолия Егоровича заверяю

Заместитель Генерального директора
АО «НПО Лавочкина»
по научной работе



С.Н. Шевченко

Полное название организации: Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» (АО "НПО Лавочкина")

Почтовый адрес: 141402, РФ, г. Химки, Московская область, Ленинградская ул., д. 24.

Телефон: +7 (495) 573-56-75

Официальный сайт: <http://www.laspace.ru/>

Электронная почта: npol@laspace.ru