

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель Федерального государственного учреждения  
«Федеральный исследовательский центр ИПМ им. М.В. Келдыша РАН»  
чл.-корр. РАН А.И. Аптекарев



подпись

« 10 » 07 20 18 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное учреждение  
Федеральный исследовательский центр  
«Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН»

Диссертация "Разработка методов расчета параметров маневров космических аппаратов в окрестности круговой орбиты" выполнена в отделе №5 «Механика космического полёта и управление движением», сектор №2 «Механика и управление движением космических аппаратов», Федеральное государственное учреждение "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук" (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Баранов Андрей Анатольевич работал в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», отдел №5, сектор №2, ведущий научный сотрудник.

В 1974 году окончил Московский физико-технический институт по специальности «Динамика полёта и управление движением летательных аппаратов». В 1984 году защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – "Теоретическая механика" на тему: "Многовитковая встреча космических аппаратов на близких околокруговых орбитах".

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертационная работа А.А. Баранова посвящена актуальной проблеме прикладной небесной механики – выбору схем маневрирования космических аппаратов (КА) на околокруговых орбитах и разработке численно-аналитических методов расчёта параметров манёвров, обеспечивающих решение задач перехода и встречи различной продолжительности. Рассмотрена задача встречи при значительном первоначальном отклонении долготы восходящего узла (ДВУ).

Кроме того, в диссертации А.А. Баранова рассмотрена проблема формирования и поддержания (в том числе "гибкое" поддержание) спутниковых систем и спутниковых групп.

Соискателем выполнены расчеты маневров реальных космических аппаратов, маневров КА в перспективных проектах, в проектах по восполнению существующих спутниковых систем и созданию новых систем, в проектах связанных с возвращением космического мусора и уклонением от столкновения с космическим мусором.

В диссертации рассмотрены следующие основные задачи и предложены методы их решения:

1. Переход между компланарными (три типа решений) и некомпланарными околокруговыми орбитами (четыре типа решений). Приведены формулы для расчета параметров маневров. Проведено сравнение решения задачи в линеаризованной постановке с точным решением.
2. Встреча на компланарных орбитах. Проанализированы три типа возможных решений, установлены области их существования. Приведены алгоритмы для определения параметров двух-, трех- и четырёхимпульсных решений для каждого из возможных типов годографа базис-вектора: в виде точки, эллипса и циклоиды. Рассмотрена задача встречи при ограничениях на высоту переходной орбиты.
3. Универсальный метод расчёта параметров манёвров четырёхимпульсной многовитковой встречи на некомпланарных

околокруговых орбитах и численно-аналитический метод расчета параметров маневров дальнего наведения КК типа «Союз», «Прогресс». Исследованы 6-импульсные решения, соответствующие годографу базис-вектора в форме спирали, получены формулы для вычисления оптимальных углов приложения импульсов скорости и ориентации импульсов.

4. Численный метод расчета параметров маневров дальнего наведения, в котором эффективно решена проблема поиска минимума в пространстве углов приложения импульсов скорости.

5. Универсальный метод расчета параметров маневров встречи большой продолжительности, когда между начальной и конечной орбитами имеется существенное отличие в долготе восходящего узла, данная задача возникает при формировании спутниковых систем, обслуживании на низких орбитах, возвращении космического мусора.

6. Численно-аналитический метод расчета параметров маневров относительного поддержания заданной конфигурации спутниковой системы.

Практическая ценность полученных результатов подтверждается тем, что представленные в диссертации методы и алгоритмы были использованы при создании нескольких программных комплексов, предназначенных для расчёта параметров маневров КА в реальных проектах. Данные программные комплексы были использованы для расчета параметров маневров дальнего наведения КА типа «Союз», «Прогресс», орбитальных модулей «Квант», «Спектр» и т.д., для расчёта маневров, обеспечивающих встречу при значительном первоначальном отклонении ДВУ (Mars Sample Return Mission и создание спутниковых систем), для расчета маневров поддержания орбит отдельных спутников на солнечно-синхронных орбитах и для расчета маневров относительного поддержания конфигурации спутниковой системы, для решения различных задач маневрирования, связанных с проблемой космического мусора.

Материалы диссертации полно представлены в 28 статьях, опубликованных в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, из них 19 статей опубликовано в журналах, входящих в базы данных Web of Science и Scopus. Результаты работ были представлены на российских и международных конференциях. Выпущена монография.

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях из Перечня ВАК:

1. Баранов А.А. Алгоритм расчета параметров четырехимпульсных переходов между близкими околокруговыми орбитами // Космические исследования. 1986. Т.24. № 3. С. 400-403.
2. Баранов А.А. О геометрическом решении задачи встречи на близких почти круговых компланарных орбитах // Космические исследования. 1989. Т.27. № 6. С. 808-816.
3. Баранов А.А. Алгоритм расчета параметров многовитковых маневров дальнего наведения // Космические исследования. 1990. Т.28. № 1. С. 69-76.
4. Баранов А.А., Терехова Е.О. Оптимальная четырехимпульсная встреча на компланарных почти круговых орбитах // Космические исследования. Т. 33. № 4. С. 420-425.
5. Boutonnet A., Martinot V., Baranov A., Escudier B. Optimal Invariant Spacecraft Formation Deployment with Collision Risk Management // Journal of Spacecraft and Rockets. V.42. №5. September-October 2005. P. 913-920.
6. Баранов А.А. Численно-аналитическое определение параметров маневров многовитковой встречи КА на близких околокруговых некомпланарных орбитах // Космические исследования. 2008. Т.46. № 5. С. 430-439.
7. Баранов А.А., Баранов А.А. Алгоритм расчета параметров маневров формирования спутниковых систем // Космические исследования. 2009. Т.47. № 3. С. 256-262.
8. Баранов А.А., Баранов А.А. Поддержание заданной конфигурации спутниковой системы // Космические исследования. 2009. т.47 № 1. С. 48-54.

9. Баранов А.А., Прадо А.Ф.Б., Разумный В.Ю., Баранов А.А. Оптимальные переходы с малой тягой между близкими околокруговыми компланарными орбитами // *Космические исследования*. 2011. Т. 49. № 3. С. 278-288.
10. Баранов А.А., Ролдугин Д.С. Шестиимпульсные маневры встречи КА на околокруговых некомпланарных орбитах // *Космические исследования*. 2012. Т. 50. № 6. С. 472-479.
11. Баранов А.А., Гришко Д.А., Майорова В.И. Исследование затрат характеристической скорости, необходимой для обслуживания и восполнения спутниковых систем на круговых орбитах // *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2013. № 3 (15). С. 26.
12. Баранов А.А., Гришко Д.А. Вопросы минимизации затрат суммарной характеристической скорости, необходимой для обслуживания и восполнения спутниковых систем на некомпланарных круговых орбитах // *Наука и образование*. №9. 2013. С. 289-312.
13. Баранов А.А., Гришко Д.А. Способы уменьшения энергетических затрат при облете элементов спутниковой группировки // *Полёт*. 2014. № 8 (8). С. 39-48.
14. Баранов А.А., Гришко Д.А. Баллистические аспекты облета крупногабаритного космического мусора на низких околокруговых орбитах // *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 2015. № 4. С. 160-171.
15. Baranov A.A., Grishko D.A., Mayorova V.I. The features of constellations' formation and replenishment at near circular orbits in non-central gravity fields // *Acta Astronautica*. 2015. V. 116. P. 307-317.
16. А. А. Баранов, А. А. Будянский, Н. В. Чернов, Поддержание угла между плоскостями орбит разноуровневых спутниковых систем // *Космические исследования*. 2015. Т. 53. № 5. С. 409–413
17. Баранов А.А., Каратунов М.О. Оценка маневров, выполненных активным космическим объектом // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия "Машиностроение"*. 2015. № 5. С. 24–35.

18. Ван Лицзе, Баранов А.А. Оптимальное удержание космического аппарата с двигателями малой тяги на солнечно-синхронной орбите // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия машиностроение. 2015. №2. С. 68-83.
19. Голиков А.Р., Баранов А.А., Будянский А.А., Чернов Н.В., Выбор низковысотных орбит захоронения и перевод на них выработавших свой ресурс космических аппаратов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия "Машиностроение". 2015. № 4(103). С. 4-19.
20. Баранов А.А., Каратунов М.О. Оценка параметров двух связанных маневров, выполненных активным космическим объектом // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2016. № 2. С. 142-153.
21. Лянко П.С., Олейников И.И., Баранов А.А. Баллистические аспекты задачи инспекции объектов низкоорбитальной области околоземного космического пространства с использованием прецессии плоскостей орбит. // Космонавтика и ракетостроение. В. 2(87). ЦНИИмаш 2016. С.120-126.
22. Баранов А.А., Гришко Д. А., Чернов Н.В. Облет низкоорбитальных объектов крупногабаритного космического мусора с их последовательным уводом на орбиту захоронения // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. 2016. №4. С. 48-64.
23. Баранов А.А., Гришко Д.А., Медведевских В.В., Лапшин В.В. Решение задачи облёта объектов крупногабаритного космического мусора на солнечно-синхронных орбитах // Космические исследования. 2016. Т.54. №3. С. 242-250.
24. Baranov A.A., Grishko D.A., Razoumny Y.N., Jun L. Flyby of large-size space debris objects and their transition to the disposal orbits in LEO // Advances in Space Research. 2017. V. 59. № 12. P. 3011-3022.
25. Баранов А.А., Каратунов М.О., Разумный Ю.Н., Вихрачев В.О. Геометрический метод оценки околокруговой орбиты после однократной коррекции // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2017. № 1. С. 141-149.

26. Баранов А.А., Будянский А.А., Разумный Ю.Н. Управление движением космического аппарата при подлете к крупногабаритному объекту космического мусора // Космические исследования. 2017. № 4. С. 285-289.
27. Baranov A.A., Grishko D.A., Razoumny Y.N. Large-Size Space Debris Flyby at Low Earth Orbits // Cosmic Research. 2017. V. 55. №5. P. 361-370
28. Баранов А.А., Каратунов М.О. Методика обеспечения безопасности динамической операции встречи на околокруговых орбитах // Инженерный журнал: наука и инновации. 2017. №7. С. 67

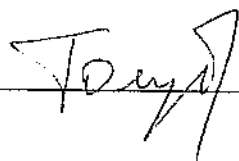
### Монография

Баранов А.А. Маневрирование в окрестности круговой орбиты. М.: «Спутник+», 2016. 512с.

Диссертационная работа А.А. Баранова соответствует требованиям докторской диссертации по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

Диссертация "Разработка методов расчета параметров маневров космических аппаратов в окрестности круговой орбиты" Баранова Андрея Анатольевича рекомендуется к защите на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.01 – Теоретическая механика.

Заключение принято на заседании семинара отдела №5 «Механика космического полета и управление движением». Присутствовало на заседании 31 чел. Результаты голосования: «за» - 31 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 43 от «14» июня 2018 г.



Голубев Юрий Филиппович, д.ф.-м.н., профессор, отдел №5 «Механика космического полета и управление движением», заведующий отделом