

Дополнительные сведения*
**о приеме к защите, поступивших отзывах,
результатах публичной защиты диссертации**

Широбоков Максим Геннадьевич
**«Баллистико-навигационные аспекты
миссий малых космических аппаратов к
Луне и точкам либрации»**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук
по специальности 01.02.01 — теоретическая механика в отрасли физико-
математических наук

Дата принятия к защите: 21.03.2017
Дата защиты: 23.05.2017

* Состав дополнительных сведений определяется приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 16 апреля 2014 г. «Об утверждении Порядка размещения в информационно-телекоммуникационной сети Интернет информации, необходимой для обеспечения порядка присуждения ученых степеней» (зарегистрировано в Минюсте РФ 27.05.2014, опубликовано: 11.06.2014 в «РГ», вступает в силу 22.06.2014)

Диссертационный совет Д 002.024.01

Создан на базе ИПМ имени М. В. Келдыша РАН, приказ № 105/нк от 11.04.2012.
Адрес: 125047 Москва, Миусская площадь, д.4. Сайт: www.keldysh.ru

Председатель диссертационного совета Д 002.024.01: **Сазонов Виктор Васильевич**

доктор физико-математических наук, профессор,
место работы: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,
должность: главный научный сотрудник сектора № 2 «Механика и управление движением космических аппаратов» отдела № 5 «Механика космического полета и управление движением».
Адрес: 125047 Москва, Миусская площадь, д.4
E-mail: sazonov@keldysh.ru

Сведения о соискателе, диссертации, руководителях, официальных оппонентах, ведущей организации

Соискатель: **Широбоков Максим Геннадьевич**

Диссертация: «Баллистико-навигационные аспекты миссий малых космических аппаратов к Луне и точкам либрации».

Диссертация в виде рукописи размещена на сайте совета <http://keldysh.ru/council/1/> 19.03.2017, принята к защите 21.03.2017 г., протокол № 4.

Члены комиссии по приему диссертации к защите: Горбунов-Посадов Михаил Михайлович, Лацис Алексей Оттович, Галактионов Владимир Александрович.

Адрес объявления на сайте ВАК:

<http://vak.ed.gov.ru/dis-details?xPARAM=100015273>

Руководитель

1. Научный руководитель – Овчинников Михаил Юрьевич, доктор физико-математических наук, профессор, зав. сектором отдела № 5 «Механика космического полета и управление движением» ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,
Адрес: 125047 Москва, Миусская площадь, д.4. Сайт: www.keldysh.ru
Тел.: , +7 (499) 220 78 49
E-mail: ovchinni@keldysh.ru

Официальные оппоненты

1. Улыбышев Юрий Петрович,

Доктор технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов», заместитель руководителя научно-технического центра Публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева»

Адрес: 141070, Московская обл., г. Королёв, ул. Ленина, д. 4А

Тел.: +7(495)513-64-06

E-mail: yuri.ulybyshev@rsce.ru

- Улыбышев Ю.П. Оптимизация межорбитальных перелетов с малой тягой при ограничениях // Космические исследования, 2012, Т.50, №4, С. 403-418.
- Ulybyshev Y., Stationkeeping Strategy and Possible Lunar Halo Orbits for Long-Term Space Station // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, National Harbor, MR, 2014, Paper AIAA 2014-0274, 15 P.
- Ulybyshev Y., Long-Term Stationkeeping of Space Station in Lunar Halo Orbits // Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2015, Vol. 38, No. 6, pp. 1063-1070.
- Ulybyshev Y., Study of optimal transfers from L2 halo-orbits to lunar surface // AIAA Aerospace Sciences Meeting, San-Diego, CA, Jan. 4-8, 2016, Paper AIAA 2016-0480, 15 P.
- Ulybyshev Y. Optimization of Low Thrust Rendezvous Trajectories in Vicinity of Lunar L2 Halo-orbit // AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference and Exhibit, Long Beach, CA, Sep. 13-16, 2016, Paper AIAA-2016-5641, 14 P.
- Ulybyshev Y. Analysis of Satellite Constellations on Pseudo-Sun-Synchronous, Highly Elliptical Orbits // Advances in the Astronautical Sciences, 2012, Vol. 145, No. 2, pp. 1297-1310.

Ulybyshev Y. Geometric Analysis and Design Method for Discontinuous Coverage Satellite Constellations // Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 2014, Vol. 37, No. 2, pp. 549-557.

2. Константинов Михаил Сергеевич,

Доктор технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов», профессор кафедры «Космические системы и ракетостроение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Адрес: 125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

Тел.: +7(499)158-47-46

E-mail: mkonst@bk.ru

- Константинов М.С., Петухов В.Г., Тейн М. Оптимизация траекторий гелиоцентрических перелетов. Монография. Издательство МАИ, 2015, 259 с.

- Konstantinov M.S., Orlov A.A. Optimization of the transfer trajectory of a low-thrust spacecraft for research of Jupiter using an Earth gravity-assist maneuver // Solar System Research, 2014, Vol. 48, No. 7, pp. 605–610.
- Константинов М.С., Тейн М. Квазиоптимальные траектории полета к Юпитеру с последовательностью гравитационных маневров у Земли // Вестник ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», 2015, Т. 22, № 4, С. 70–76.
- Konstantinov M.S., Nguyen D.N. Designing of Interplanetary Trajectory with the Possibility of Parrying Perturbations Caused by Temporary Abnormal Engine Shutdowns // Components of Scientific and Technological Progress, 2014, No. 4 (22), pp. 14–21.
- Konstantinov M.S., Nguyen D.N. The Analysis of Ballistic Capabilities for Countering Disturbances Associated with Temporary Emergency Electric Propulsion Shutdown // Solar System Research, 2016, Vol. 50, No. 7, pp. 560–567.
- Константинов М.С., Петухов В.Г., Тейн М. Анализ влияния мощности солнечной энергетической установки на характеристики проекта «Интергелио-Зонд» при использовании электроракетных двигателей // Известия РАН, Энергетика, 2016, №2, С. 102–117.
- Платов И.В., Симонов А.В., Константинов М.С. Особенности разработки комбинированной двигательной установки и схемы полёта космического аппарата «Интергелио-Зонд» // Вестник СибГАУ им. М.Ф. Решетнева», 2015, Т. 16, №1, С. 198–206.
- Platov I.V., Simonov A.V., Konstantinov M.S. Choosing an Efficient Option of the Combined Propulsion System and Flight Profile of the INTERHELIO-PROBE Spacecraft // Solar System Research, 2016, Vol. 50, No. 7, pp. 581–586.

Ведущая организация

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная 84/32

Тел.: +7(495)333-52-12

Факс: +7(495)333-12-48

Е-mail: iki@cosmos.ru

Сайт в сети Интернет: <http://www.iki.rssi.ru/>

- Петрукович А.А., Агафонов Ю.Н., Эйсмонт Н.А. Применение микро- и наноспутников для исследований внешней магнитосферы и солнечного ветра // Исследования солнечно-земных связей на микро-, нано- и

пикоспутниках, материалы научной сессии Секции солнечно-земных связей Совета по космосу Российской академии наук, под ред. А.А. Петруковича, Москва, ИКИ РАН, 2015

- Липатов А.Н., Тоньшев А.К., Горетов В.Ю., Готлиб В.М., Каредин В.Н., Линкин В.М., Макаров В.С., Захаркин Г.В., Хлюстова Л.И., Эйсмонт Н.А., Андреев О.Н., Антоненко С.А. Глобальный мониторинг Земли и планет Солнечной системы с помощью сетевых структур на основе микро и нано космических аппаратов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010, Т. 7, №2, С. 174-181
- Зеленый Л.М., Гуревич А.В., Климов С.И., Ангаров В.Н., Батанов О.В., Богомолов А.В., Богомолов В.В., Боднар Л., Вавилов Д.И., Владимирова Г.А., Гарипов Г.К., Готлиб В.М., Добрян М.Б., Долгоносков М.С., Ивлев Н.А., Калюжный А.В., Каредин В.Н., Карпенко С.О., Козлов В.М., Козлов И.В., Корепанов В.Е., Лизунов А.А., Ледков А.А., Назаров В.Н., Панасюк М.И., Папков А.П., Родин В.Г., Сегеди П., Свертилов С.И., Суханов А.А., Ференц Ч., Эйсмонт Н.А., Яшин И.В. Академический микроспутник Чибис-М // Космические исследования, 2014, Т. 52, №2, С. 93-105.
- Назиров Р.Р., Эйсмонт Н.А., Чумаченко Е.Н., Данхэм Д.У., Логашина И.В., Федоренко А.Н. Управление группировкой космических аппаратов в окрестности солнечно-земных коллинеарных точек либрации с помощью солнечного паруса // Вестник машиностроения, 2013, №2, С. 43-46.
- Dunham D., Farquhar R.W., Eismont N., Kidd J. Using lunar swingbys and libration-point orbits to extend human exploration to interplanetary destinations // Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, 2013, 64th International Astronautical Congress 2013, IAC 2013; Beijing; China; 23 September 2013 through 27 September 2013. – International Astronautical Federation, 2013. – pp. 1932-1941.
- Novikov D., Nazirov R., Eismont N. Spacecraft formation control in vicinity of libration points using solar sails // Small Satellites for Earth Observation: Selected Proceedings of the 5th International Symposium of the International Academy of Astronautics, Berlin, April 4-8 2005. – Walter de Gruyter, 2005
- Eismont N., Sukhanov A., and Khrapchenkov V. Technical constraints impact on mission design to the collinear Sun–Earth libration points // Proceedings of the Libration Point Orbits and Applications Conference, 2003, pp. 75-83.
- Sukhanov A.A., Eismont N.A. Low thrust transfer to Sun-Earth L1 and L2 points with a constraint on the thrust direction // Proceedings of the Libration Point Orbits and Applications Conference, 2003, pp. 439-454.
- Петрукович А.А., Ермолаев Ю.И., Эйсмонт Н.А. Мониторинг солнечного ветра с целью оперативного прогноза гелиогеофизической обстановки //

Практические аспекты гелиогеофизики, материалы специальной секции «Практические аспекты науки космической погоды» одиннадцатой ежегодной конференции «Физика плазмы в Солнечной системе», 17 февраля, 2016, С. 11-21

На автореферат диссертации поступило 2 положительных отзыва:

1. поступил из Акционерного общества «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (АО «Российские космические системы»). Отзыв составил начальник центра АО «Российские космические системы», доктор технических наук, профессор Бетанов Владимир Вадимович.
2. поступил из Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения» (ФГУП ЦНИИмаш). Отзыв составили ведущий сотрудник ФГУП ЦНИИмаш, кандидат технических наук, Вишняков Валерий Модестович и начальник лаборатории, старший научный сотрудник ФГУП ЦНИИмаш, кандидат технических наук Колюка Юрий Федорович. Имеются следующие замечания.

Результаты публичной защиты

(размещаются после проведения защиты)

На заседании 23 мая 2017 г. присутствуют 19 членов совета, из них 11 специалистов по профилю рассматриваемой диссертации:

САЗОНОВ В.В.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ГОРБУНОВ-ПОСАДОВ М.М.	д.ф.-м.н.	05.13.11
БОНДАРЕВ А.Е.	к.ф.-м.н.	05.13.11
БОРОВИН Г.К.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ВАШКОВЬЯК М.А.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ВОЛОБОЙ А.Г.	д.ф.-м.н.	05.13.11
ГОЛУБЕВ Ю.Ф.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ИВАШКИН В.В.	д.ф.-м.н.	01.02.01
КРЮКОВ В.А.	д.ф.-м.н.	05.13.11
КУГУШЕВ Е.И.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ЛАЗУТИН Ю.М.	д.ф.-м.н.	05.13.11
ЛАЦИС А.О.	д.ф.-м.н.	05.13.11
МИРЕР С.А.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ОВЧИННИКОВ М.Ю.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ПАВЛОВСКИЙ В.Е.	д.ф.-м.н.	05.13.11

ПОЛИЛОВА Т.А.	д.ф.-м.н.	05.13.11
САРЫЧЕВ В.А.	д.ф.-м.н.	01.02.01
СИДОРЕНКО В.В.	д.ф.-м.н.	01.02.01
ТУЧИН А.Г.	д.ф.-м.н.	01.02.01

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований были разработаны эффективные алгоритмы проектирования и анализа траекторий малых космических аппаратов в дальнем космосе с учетом характерных для них массогабаритных и энергетических ограничений.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что работа открывает новые динамические возможности для вывода малых аппаратов за пределы околоземных орбит и перемещения в системах Земля-Луна и Солнце-Земля. Разработанные автором диссертации методики были применены к важным **практическим задачам**: 1) построению спиральных траекторий к лунным точкам либрации, 2) перелетам между окололунными орбитами и гало-орбитами вокруг лунных точек либрации, а также 3) спасению миссии вокруг точек либрации системы Земля-Луна и Солнце-Земля. Эти результаты могут быть применены на этапе предварительного анализа миссий с МКА в дальнем космосе. Наиболее значимые результаты работы, определяющие **научную новизну**, состоят в следующем:

- Впервые был проведен анализ спиральных траекторий перелета с околоземных орбит на гало-орбиты вокруг точки L1 системы Земля-Луна для различных цепочек лунных резонансов. Данная методика позволила также создать автоматизированную процедуру построения подобных траекторий, которая требует лишь небольшого участия разработчика миссии и подходит практически для любых околоземных орбит, любых целевых орбит вокруг точек либрации и любых типов аппаратов.
- Впервые было построено множество стабилизируемых малой тягой орбит при сходе с гало-орбит вокруг лунных точек либрации L1 и L2. Результаты показали, что в случае достаточно высоких гало-орбит для обоих

рассмотренных классов аппаратов (в классе мини и нано) доступны околополярные окололунные орбиты.

- Впервые поставлена и решена задача оценки преимуществ смены номинальной орбиты в случае нештатной задержки коррекции. Расчеты были проведены в разных системах трех тел (Земля-Луна и Солнце-Земля), для различных точек либрации (L1 и L2), и при различных типах номинальных орбит (гало-орбиты и квазигало-орбиты).

Достоверность результатов работы обусловлена использованием классических моделей и методов теоретической механики и механики космического полета, теории управления, теории динамических систем. Разработанные алгоритмы управления верифицированы численным моделированием динамики орбитального движения МКА.

Все представленные в диссертации результаты получены лично автором. К личному вкладу соискателя также относятся программная реализация описанных методов и алгоритмов, апробация работы на конференциях и семинарах, подготовка текстов публикаций.

На заседании 23 мая 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Ширококову Максиму Геннадьевичу ученую степень кандидата физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 11 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» присуждение учёной степени – 19, «против» присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.024.01

кандидат физ.-мат. наук

Бондарев Александр Евгеньевич