

Заключение диссертационного совета МГУ.013.1

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от «21» декабря 2023 года № 28

О присуждении Запевалину Павлу Романовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Определение орбит космических аппаратов по данным глобальных навигационных спутниковых систем» по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия принята к защите диссертационным советом 15.11.2023, протокол № 26.

Соискатель Запевалин, 1994 года рождения, в 2023 году окончил очную аспирантуру физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Соискатель работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории баллистико-навигационного обеспечения космических проектов отдела обработки астрофизических наблюдений Астрокосмического центра Физического института имени П. Н. Лебедева Российской академии наук.

Диссертация выполнена на кафедре небесной механики, астрометрии и гравиметрии физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Научный руководитель:

— доктор физико-математических наук, профессор Жаров Владимир Евгеньевич, заведующий кафедрой небесной механики Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», заведующий лабораторией гравиметрии Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга МГУ имени М.В.Ломоносова.

Официальные оппоненты:

— Нефедьев Юрий Анатольевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры астрономии и космической геодезии Института физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего

образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», директор Астрономической обсерватории имени В. П. Энгельгардта Института физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», главный научный сотрудник Научно-исследовательского центра превосходства киберфизических систем, IoT и ЮЕ Института физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»;

— Емельянов Николай Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом небесной механики Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга МГУ имени М.В.Ломоносова; профессор кафедры экспериментальной астрономии Физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова;

— Розин Петр Евгеньевич, кандидат технических наук, начальник сектора отдела динамики полёта космических аппаратов АО «НПО Лавочкина», старший научный сотрудник Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук», доцент кафедры №604 «Системный анализ и управление» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт»;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 3 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 3 работы, из них 3 статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности. Во всех трех статьях вклад соискателя был определяющим.

1. LOIS – программа для уточнения орбит искусственных спутников Земли по данным глобальных навигационных спутниковых систем, П. Р. Запевалин, В.Е. Жаров, А.С. Жамков, Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 3 Физ. Астрон, 2022, стр. 73-79. Переводная версия: LOIS—a Program for Refining the Orbits of Artificial Earth Satellites Using Global Positioning Systems, Zapevalin P. R., Zharov V. E., Zhamkov A. S., Moscow University Physics Bulletin, 76, S110-S117 (2022). WoS IF2022 = 0.3. Личный вклад 95%.
2. Уточнение орбиты космического радиотелескопа в проекте «Миллиметрон» («Спектр-М»), П. Р. Запевалин, А. Г. Рудницкий, М. А. Щуров, Т. А. Сячина, Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3 Физ. Астрон, 2022, стр. 34-43. Переводная версия: Refinement of the Orbit of the Space Radio Telescope in the Millimetron (Spektr-M) Project, Zapevalin P. R., Rudnitskiy A.

G., Shchurov M. A., Syachina T. A., Moscow University Physics Bulletin, 77, 524-534 (2022).

WoS IF2022 = 0.3. Личный вклад 90%.

3. Artificial neural network for star tracker centroid computation, Zapevalin P. R., Zharov V. E., Novoselov A., Advances in Space Research, Volume 71, Issue 9, 2023, Pages 3917-3925. WoS IF2022 = 2.2. Личный вклад 80%.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их высокой квалификацией, опытом работы в области физики космоса и астрономии, а также значительным количеством публикаций по теме диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой проведена разработка и апробация алгоритмов определения орбит космических аппаратов по данным глобальных навигационных спутников систем. Построена модель движения космических аппаратов и модель наблюдений навигационных спутниковых систем с учетом всех возможных эффектов, влияющих на распространение сигнала от навигационного спутника к приемнику. Эти модели, в совокупности с реализованными алгоритмами обработки навигационных данных, были объединены в единое программное обеспечение для определения орбит космических аппаратов по данным глобальных навигационных спутниковых систем. Данная программа была проверена на синтетических и реальных данных низкоорбитальных космических проектов. Помимо этого, в работе изучается возможность проводить уточнение средних и высокоэллиптических орбит с помощью глобальных навигационных спутниковых систем. С целью повысить точность определения орбиты и ориентации космического аппарата был разработан новый перспективный метод определения субпиксельных координат на кадре звездного датчика космического аппарата.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Созданный программный комплекс позволяет проводить высокоточное определение орбит искусственных спутников Земли по данным глобальных навигационных спутниковых систем. Разработанный метод предварительной обработки измерений позволяет оценивать степень шума, наличия скачков фазы и целочисленных фазовых неоднозначностей. Построенная модель позволяет учесть данные наблюдений всех, имеющихся на сегодня, глобальных навигационных спутниковых систем.
2. Высокоточное позиционирование для решения фундаментальных и прикладных научных задач с использованием систем GPS/ГЛОНАСС возможно. Проведенное сравнение уточненной (в режиме нулевых и двойных разностей) орбиты спутников (на

основе реальных измерений) проекта GRACE с орбитой, полученной центром обработки научных данных этой миссии GFZ (Потсдамский центр имени Гельмгольца), показало, что имеется среднее расхождение трехмерного положения 72 мм в режиме нулевых разностей и 54 мм в режиме двойных разностей без фиксации параметров фазовой неоднозначности. Расхождение по радиальной компоненте невязки в режиме двойных разностей достигает 28 мм. Новый метод определения и фиксации параметров фазовой неоднозначности позволяет зафиксировать более 87% неоднозначностей в эпоху за суточный временной интервал. Фиксация параметров фазовой неоднозначности позволяет добиться расхождения трехмерного положения уточненной орбиты и орбиты GFZ в 23 мм.

3. Глобальные навигационные спутниковые системы могут быть использованы на высокоэллиптической орбите. Видимость количества наблюдаемых спутников составляет в среднем 15 по всем глобальным навигационным спутниковым системам. Согласно проведенной оценке коэффициента потери точности на протяжении 33% траектории космического аппарата по орбите за один период геометрия системы позволяет проводить высокоточное определение орбиты, а на протяжении 44% позволяет проводить определение орбиты, достаточное для решения задач космического радиоинтерферометра со сверхдлинной базой. Согласно аналогичным оценкам в рамках моделирования движения космического аппарата на средней околоземной орбите существует принципиальная возможность использования систем GPS/ГЛОНАСС для высокоточного позиционирования для решения фундаментальных и прикладных астрометрических задач. Среднее значение видимых спутников систем GPS/ГЛОНАСС на такой орбите составляет 25, а среднее значение коэффициента потери точности PDOP составляет 1.7.

На заседании 21 декабря 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Запеваину Павлу Романовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 24 докторов наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (отрасль наук - физико-математические), участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 24, против – 00, недействительных бюллетеней – 00.

Председатель диссертационного совета

К. А. Постнов

Ученый секретарь диссертационного совета

А. И. Богомазов

21 декабря 2023 года