

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Шайхутдинова Альберта Рузалевича
на тему «Методы решения задач баллистики и навигации
космических аппаратов»
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия**

Диссертация Шайхутдинова Альберта Рузалевича посвящена разработке и применению универсальных методов и подходов решения задач баллистики и навигации космических аппаратов. Задача баллистико-навигационного обеспечения, являющаяся серьезной теоретической проблемой, имеет важное прикладное значение. Разработанное в диссертации программно-математическое обеспечение (ПМО) успешно применяется при решении задачи выбора орбиты космическо-наземного радиointерферометра со сверхдлинной базой (К-РСДБ) и при определении оптимального режима работы спутниковой группировки дистанционного зондирования Земли.

Диссертация состоит из введения, обзора литературы и программного обеспечения, трех глав, заключения, словаря терминов, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации 137 страниц, включая 28 рисунков и 9 таблиц. В списке литературы 125 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и описана научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения. В **первой главе** дано описание разработанного диссертантом программно-математического обеспечения Uniorb и методологии его применения при решении задач баллистико-навигационного обеспечения. Во **второй главе** рассмотрен пример использования разработанного ПМО при решении задачи подбора оптимальной орбиты космического аппарата «Миллиметрон», проведен анализ номинальной орбиты и рассчитана орбита, оптимальная для К-РСДБ

режима. В **третьей главе** разработанное ПМО применено при поиске оптимального сценария работы группировки спутников дистанционного зондирования, состоящей из 200 космических аппаратов. Используя стандартные модули Uniorb, определен режим работы группировки, позволяющий передавать на Землю более 800 ТБ данных за две недели.

Тема диссертации безусловно **актуальна** – любой космический проект вне зависимости от решаемых задач (пилотируемые полеты, связь, навигация, дистанционное зондирование и др.) требует решения задач баллистики и навигации космических аппаратов. В некоторых случаях выбор орбиты является определяющим фактором достижения поставленных целей. На сегодняшний день существует множество инструментов для решения общих задач баллистико-навигационного обеспечения, но только ограниченное число продуктов, в основном зарубежных, может быть использовано в качестве основы для решения специализированных задач. Поэтому развитие численных методов решения задач баллистики и навигации космических аппаратов, которые можно применить, в том числе и для решения специализированных задач, является актуальным вопросом.

Среди **новых** результатов автора следует отметить разработку и реализацию параллельного алгоритма расчета коэффициентов Стокса на основе метода Холмса, что позволило кратно увеличить скорость расчета орбит космических аппаратов. Разработку и реализацию метода преобразования систем координат и шкал времени с использованием графов и кэшей для быстрого и эффективного проведения координатно-временных преобразований. Выявление ранее неизвестных недостатков номинальной гало-орбиты космического аппарата «Миллиметрон» при работе в режиме К-РСДБ. Формулировка критерия оценки эффективности и разработка метода качественного анализа орбит в окрестности точки Лагранжа L2 системы Солнце — Земля — Луна на основе проекции Мольвейде. Формирование обобщенного подхода к задаче оптимизации орбит космических аппаратов в К-РСДБ проектах и построение на его основе

альтернативного варианта орбиты космического аппарата «Миллиметрон», обеспечивающего лучшие UV-покрытия для целевых источников. Разработку и реализацию простого и эффективного метода планирования передачи данных с космических аппаратов на наземные станции для крупных спутниковых группировок, включающих более 100 объектов.

Использование автором методов анализа и синтеза является залогом **обоснованности** полученных результатов. При решении задачи оптимизации К-РСДБ применяется метод обобщения как при формировании общего подхода, так и при обобщении результатов анализа гало-орбит на другие семейства орбит. При поиске оптимальной орбиты космического аппарата «Миллиметрон» используется метод апертурного синтеза, а при расчетах и анализе орбит — как аналитические (для качественного анализа), так и численные (для количественного анализа) методы.

Результаты вычислений и корректность работы разработанных методов и программно-математического обеспечения проверялись путем сравнения с аналогичными расчетами в программе GMAT и с расчетами, выполненными в ЦНИИМАШ и Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Ряд алгоритмов был проверен экспертами АО «Ситроникс», занимающимися разработкой спутниковой группировки дистанционного зондирования. Это свидетельствует о **достоверности** полученных в диссертации результатов, которые были опубликованы в авторитетных рецензируемых журналах, а также представлены в докладах на российских и международных конференциях. А.Р. Шайхутдинов внес основной вклад в получение выносимых на защиту результатов – в двух статьях диссертант является первым автором, его вклад в эти статьи является определяющим. Во всех случаях вклад диссертанта четко обозначен.

Принципиальных замечаний к выполненной работе и ее описанию в диссертации нет. Есть ряд замечаний, относящихся к стилю изложения и оформлению диссертации:

1. На рисунке 1.1 «Выходные данные» указаны дважды: на входе слоя 1 и на выходе слоя 4, но нет «Входных данных», которые должны были быть указаны на входе слоя 1.
2. На странице 40 отсутствует описание параметров, входящих в формулы. Например, в формулу для разложения гравитационного потенциала Земли в ряд по сферическим функциям. Конечно, специалист поймет обозначения этой формулы и без описания, но в диссертации требуется четко определять используемые обозначения.
3. На странице 49 фраза «более оптимальные пути» не требует уточнения «более». Оптимальный – это лучший в своем классе.
4. На странице 92 даны ошибочные ссылки на рисунки 20 и 21. Рисунков с такими номерами в диссертации нет.
5. На странице 108 при перечислении предельных параметров системы все пункты продублированы.
6. На странице 109 подпись к таблице 3.2 содержит не относящееся к этой таблице пояснение.
7. В словаре терминов есть явные сбои в описании терминов. Например, на странице 114: «МАС — международный астрономический интегрирования и модели действующих сил, позволяющих интегрировать движение небесных тел.», на странице 115: «СОТР — система обеспечения Лежандра»
8. В списке литературы используются разные варианты оформления ссылок на источники (список авторов, название работы или название работы, список авторов), не всегда указаны названия самих изданий (см. например, ссылки на работы [103] и [104]), что затрудняет поиск источников.
9. В диссертации также есть ряд опечаток.

Вместе с тем, указанные замечания ни в коей мере не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом

имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Шайхутдинов Альберт Рузалевич безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,
ЗАВЕДУЮЩИЙ КАФЕДРОЙ астрономии, геодезии, экологии и
мониторинга окружающей среды Института естественных наук и математики
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина»,
ВЕДУЩИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК Научной лаборатории
астрохимических исследований кафедры астрономии, геодезии, экологии и
мониторинга окружающей среды Института естественных наук и математики
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина»

КУЗНЕЦОВ Эдуард Дмитриевич

27 ноября 2023 г.

Контактные данные:

тел.: 7(343)3899587, e-mail: eduard.kuznetsov@urfu.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:
01.03.01 — Астрометрия и небесная механика

Адрес места работы:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19,
УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ПЕРВОГО
ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н. ЕЛЫЦИНА, Институт естественных наук и
математики, кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга
окружающей среды
Тел.: 88001005044; e-mail: contact@urfu.ru

Подпись сотрудника УрФУ Э. Д. Кузнецова удостоверяю: