

**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 методов решения задач баллистики и навигации космических аппаратов, актуальных для любых космических проектов.

Диссертация состоит из введения, обзора литературы и программного обеспечения, 3 глав, заключения, словаря терминов, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации 137 страниц, включая 28 рисунков и 9 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационной работы, выполнен обзор литературы по теме исследования и существующего ПМО, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

В **первой главе** описана методология решения задач с помощью разработанного автором ПМО. Описана функциональная архитектура решения, которая позволяет создавать новые методы и алгоритмы путем переиспользования и расширения методов и алгоритмов созданных автором, сформулированы требования к методам, а также описаны основные алгоритмы и методы и приведены результаты тестирования разработанных методов в сравнении с проверенными расчетами и ПМО. **Вторая глава** посвящена применению разработанных методов в контексте анализа и поиска оптимальной конфигурации наземно-космического радиоинтерферометра Миллиметрон. В **третьей главе** ПМО используется

для определения оптимального режима работы спутниковой группировки дистанционного зондирования Земли.

Тема диссертации безусловно **актуальная** – баллистико-навигационное обеспечение космических аппаратов является неотъемлемой частью любой космической миссии, а в случае научных проектов выбор правильной конфигурации орбит может быть определяющим фактором успеха всей миссии.

Использование радиоастрономических наблюдений со сверхдлинными базами (РСДБ) позволяет решать фундаментальные научные и прикладные задачи в области астрофизики, наземно-космической навигации, астрометрии и геофизики. В последнее время все больший интерес представляют наземно-космические или полностью космические РСДБ, так как отсутствие атмосферы и большие базы являются одними из ключевых факторов успешных наблюдений. При этом конфигурация космического сегмента радиоинтерферометра является определяющей для получения качественных UV-заполнений и, соответственно, самих изображений источников. Предложенные в диссертации методы анализа и обобщенный подход к оптимизации наземно-космических и космических РСДБ проектов могут быть использованы для будущих проектов.

Также сложно представить современную жизнь человека без результатов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), используемых во многих отраслях, начиная от сельского хозяйства и заканчивая фундаментальными научными исследованиями. Для крупных спутниковых группировок существуют проблемы планирования сеансов передачи данных и проведения измерений, а также оптимизации конфигурации всей группировки, поэтому разработанные в диссертации методы актуальны и для решения подобного рода задач.

Среди **новых** результатов автора следует отметить параллельный алгоритм Холмса, который позволяет относительно быстро рассчитывать ускорения от несферического гравитационного поля; метод преобразования систем координат и шкал времени на графах с кэшированием. Результаты анализа номинальной орбиты наземно-космического радиоинтерферометра Миллиметрон показали недостатки этой орбиты в режиме РСДБ, и автором был рассмотрен вариант комбинированной орбиты, найденный с помощью предложенного же им обобщенного подхода к оптимизации орбит РСДБ проектов. Также автором был определен алгоритмически простой, но эффективный подход к планированию сеансов передачи данных для крупных группировок ДЗЗ.

Использование автором хорошо себя зарекомендовавших и широко апробированных методов и программных библиотек, а также тщательный системный анализ и проработка архитектуры ПМО, в виде которого представлены разработанные методы, является залогом **обоснованности** полученных результатов.

Достоверность разработанных методов обоснована покрытием автотестами большей части ПМО и путем сравнения результатов вычислений с результатами, полученными другими продуктами и надежными источниками. Достоверность результатов анализа Миллиметрона обеспечена применением различных подходов к одной и той же проблеме, а также использованием верифицированных и проверенных методов, в том числе разработанных самим автором. Достоверность численных результатов по части поиска оптимального режима группировки ДЗЗ обеспечена проверкой экспертной группы АО Ситроникс, а также благодаря согласованности с теоретическими оценками и вычислениями, выполненными другими методами. Результаты исследований в том числе опубликованы в высокорейтинговом журнале, обеспечивающем серьезный уровень экспертизы, а также представлены в докладах на российских и

международных конференциях. Автор внес основной вклад в получение выносимых на защиту результатов. Он опубликовал пять работ в соавторстве, при этом вклад автора был определяющим в большинстве статей. Во всех случаях вклад диссертанта четко обозначен.

К работе есть ряд замечаний, включая замечания редакционного характера:

1. Для метода Рунге-Кутты 3-4 порядка с адаптивным шагом реализовано две стратегии выбора оптимального шага. Желательно было бы привести сравнительный анализ результатов при выборе этих двух стратегий.

2. Стр. 28 В совокупности со свойством **направленностью** слоев получается, что при изменении некоторого слоя, потенциально **может изменить** только один вышележащий слой.

Стр. 32 Основная функция модуля заключается в **предоставление** моделей объектов в виде классов.

Стр. 44 ...частичн**ой** суммы...

Стр. 46 Не хватает ссылки на формулы: ...по формулам (1.9)-**(1.11)**

Стр. 59 ...приближенной полиномиальной зависимост**ью**

Стр. 65 ...с использовани**ем**...

Стр. 68 ...относительн**о** земного...

Стр. 73 Из (2.2) **следует**, что...

Стр. 87 Аналогичная ситуация с **н** резонансными...

Стр. 88 При это**м**...

Стр. 89 ...околоземной орбит**ы**...

Стр. 92 неправильная ссылка на формулу (13) и рисунки 20, 21.

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,
профессор кафедры
"Мехатроника и теоретическая механика"
Московского авиационного института

Перепёлкин Вадим Владимирович

07 декабря 2023 г.

Контактные данные:

тел.: , e-mail:
Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:
01.03.01 – Астрометрия и небесная механика.

Адрес места работы:

125993, г. Москва, Волоколамское ш., д.4
ФГБОУВО "Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет)", кафедра "Мехатроника и теоретическая
механика"
Тел.: +7(499)1584466; e-mail: kafedra802@yandex.ru