ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию Ушенкина Виктора Андреевича

«Методы и алгоритмы совместной обработки информации от космических систем радиолокационного и оптико-электронного наблюдения Земли»,

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Актуальность темы диссертации. Космические системы радиолокационного и оптико-электронного наблюдения Земли широко используются для дистанционного мониторинга различных объектов, процессов и явлений, происходящих на земной поверхности. В последние годы в России начинает формироваться орбитальная группировка радиолокационных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ): «Кондор-ФКА», «Обзор-Р». Радиолокационные снимки могут быть получены независимо от наличия облачности и времени суток, но сложнее в интерпретации, чем оптико-электронные изображения. Совместный анализ и обработка радиолокационных и оптико-электронных изображений способен объединить и усилить достоинства каждого из типов данных ДЗЗ и частично уменьшить их недостатки.

Диссертация Ушенкина В.А. посвящена этой актуальной тематике и нацелена на повышение радиометрического и геометрического качества информации дистанционных наблюдений Земли за счет совместной обработки радиолокационных и оптико-электронных данных. Высококачественные продукты ДЗЗ остро востребованы во многих отечественных организациях.

Структура диссертации. Работа включает 355 страниц основного текста с 68 рисунками и 18 таблицами, список литературы из 330 наименований и приложение, содержащее документы о внедрении результатов. Основной текст работы состоит из введения, шести глав и заключения.

Во *введении* автором обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, выделены научная новизна и практическая значимость, приведены сведения по внедрению и апробации работы.

В *главе 1* выполнен анализ проблемы совместной обработки информации от космических систем радиолокационного и оптико-электронного наблюдения Земли. По результатам анализа выбраны и обоснованы направления исследований, которым посвящены последующие главы диссертации.

В *главе 2* выдвинуты и обоснованы первые два положения, выносимые на защиту. В рамках Положения 1 описаны алгоритмы бортового сжатия радиоголограмм и оптических изображений с уменьшенными потерями. В рамках Положения 2 описаны методы уточнения угловой ориентации КА, измеренной оптико-электронными приборами – звездными датчиками, на основе амплитудного анализа радиолокационных изображений, сформированных в ходе первичной обработки.

В *главе 3* выдвинуты и обоснованы Положения 3 и 4, выносимые на защиту. В рамках Положения 3 описаны алгоритмы, позволяющие уменьшить ошибку геодезической привязки радиолокационного изображения за счет совмещения с опорным оптическим снимком и увеличить скорость геометрических преобразований за счет полиномиальных аппроксимаций. В рамках Положения 4 описан метод объединения радиолокационных изображений с восходящего и нисходящего витков орбиты на основе нечеткой логики, позволяющий уменьшить количество геометрических дефектов без возникновения ложных резких границ в условиях низкой детальности опорных высотных данных от оптико-электронных систем наблюдения Земли.

В *главе 4* выдвинуто и обосновано Положение 5, выносимое на защиту. Его составляет метод высокоточной обработки радиолокационных интерферометрических изображений на основе анализа сюжета интерферограммы с привлечением низкодетальной стереофотограмметрической информации от оптико-электронных систем ДЗЗ.

В *главе 5* выдвинуты и обоснованы Положения 6 и 7, выносимые на защиту. В рамках Положения 6 описан алгоритм высокоскоростной нейросетевой сегментации облачности на оптических изображениях с целью выявления атмосферных искажений на радиолокационных дифференциальных интерферограммах. В рамках Положения 7 построены алгоритмы объединения разнородной информации от космических систем радиолокационного и оптико-электронного наблюдения Земли.

Глава 6 содержит описание и результаты экспериментальных исследований эффективности предложенных методов и алгоритмов на натурной информации от зарубежных и отечественных систем ДЗЗ. Приведены численные оценки эффективности предложенных методов и алгоритмов в сопоставлении с известными подходами.

В *заключении* диссертационной работы сформулированы выводы и выделены наиболее значимые результаты.

Новизна научных положений. В работе предлагается ряд новых методов и алгоритмов совместной обработки информации от радиолокационных и оптико-электронных космических систем ДЗЗ, позволяющих улучшить качество и повысить скорость формирования информационных продуктов. Они соответствуют семи Положениям, выносимым на защиту:

1) алгоритмы бортового сжатия радиоголограмм и оптических изображений земной поверхности с потерями на основе блочно-адаптивного квантования и энтропийного кодирования (для радиоголограмм) и нейросетевых моделей (для оптических изображений), позволяющие при заданной степени сжатия уменьшить уровень искажений до 5% по сравнению с известными детерминированными алгоритмами;

2) методы уточнения угловой ориентации космического аппарата с совместным использованием измерений оптико-электронных приборов и результатов амплитудного анализа радиолокационных изображений, позволяющие оценить угол крена со среднеквадратической ошибкой 1,5' и на

28 % сократить временные затраты на уточнение углов рысканья и тангажа;

3) алгоритмы геодезической привязки и геометрической обработки радиолокационной информации на основе ее совмещения с опорными оптическими изображениями, позволяющие повысить точность оценки координат объектов в среднем до 4 м и значительно сократить время формирования стандартных информационных продуктов;

4) метод объединения радиолокационных изображений с восходящего и нисходящего витков орбиты на основе нечеткой логики и использования низкодетальной высотной информации от оптико-электронных систем, позволяющий в среднем в 6 раз уменьшить площадь геометрических искажений без образования ложных границ;

5) метод высокоточной обработки интерферометрических изображений с целью получения цифровых моделей высот на основе анализа сюжета интерферометрического изображения и привлечения низкодетальной высотной информации от оптико-электронных систем наблюдения Земли, позволяющий в среднем в 10 раз уменьшить среднеквадратическую ошибку определения высот по сравнению с зарубежными аналогами;

6) алгоритм высокоскоростной нейросетевой сегментации облачности на оптических изображениях с целью выявления атмосферных искажений на радиолокационных интерферограммах, позволяющий примерно в 22 раза сократить объем вычислений по сравнению с известной архитектурой «U-Net» при сохранении высокой точности сегментации;

7) алгоритмы объединения разнородной информации от космических систем радиолокационного и оптико-электронного наблюдения Земли, позволяющие на 3 % уменьшить среднеквадратическую ошибку измерения высоты по сравнению с лучшей из объединяемых цифровых моделей местности, а также снизить потери информативности объединяемых изображений и трансформировать радиолокационные изображения в изображения в естественных цветах.

Новизна полученных результатов и положений, выносимых на защиту, подтверждается, в том числе, патентом на изобретение.

Достоверность научных положений подтверждается корректным применением математического аппарата, результатами математического и имитационного моделирования, экспериментальными исследованиями, сопоставлением с альтернативными подходами, внедрением на практике спроектированных комплексов обработки информации.

Обоснованность научных положений подтверждается положительными результатами экспериментальных исследований с привлечением статистически представительных данных от отечественных и зарубежных космических систем ДЗЗ, а также апробацией основных научных и технических решений на профильных международных и всероссийских конференциях.

Публикация научных положений. Основные научные положения диссертации достаточно полно опубликованы в 100 работах, из которых 25 статей (23 в изданиях по списку ВАК категорий К1 и К2), один патент на изобретение, 5 свидетельств на программы для ЭВМ, 2 коллективные монографии, 2 учебных пособия и 65 тезисов докладов на международных и всероссийских конференциях.

Замечания к работе

1. Объем диссертации довольно велик. Это несколько затрудняет анализ результатов, приведенных в обоснование защищаемых положений.

2. Ряд предлагаемых алгоритмов использует пороговую методику. При этом в теоретической части (Глава 3) автор ограничивается фразами «В качестве порогового можно взять значение…»; «В качестве пороговых значений можно выбрать, например…». В главе 6 следовало бы уделить внимание исследованию чувствительности этих алгоритмов к выбору конкретных значений того или иного порога. Остается вопрос, имеются ли строгие основания для выбора именно этих значений, или существует потенциал для дальнейшего совершенствования разработанных алгоритмов.

3. «Естественность» сжатых изображений с точки зрения человеческого восприятия – неоднозначный и не всегда определяющий критерий при решении задач ДЗЗ. Представляло бы интерес сопоставление предложенного алгоритма сжатия, наряду с FDBAQ, с алгоритмом ICER, внедренным NASA, вместо (или в дополнение к) JPEG и JPEG2000.

Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение. Диссертация выполнена на высоком научном уровне и соответствует паспорту специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика». Содержание автореферата соответствует материалам, изложенным в диссертации. Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым Положением ВАК о присуждении ученых степеней к докторским диссертациям, а ее автор, Ушенкин Виктор Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Ведущий научный сотрудник,
заведующий отделом «Исследования Земли из космоса», доктор физико-математических наук — Ермаков Дмитрий Михайлович

03.06.26

Подпись Д.М. Ермакова заверяю
Ученый секретарь, кандидат физико-математических наук — Садовский Андрей Михайлович

МП

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук
117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
Тел.: (495) 333-52-12, факс: (495) 333-12-48
E-mail: d.m.ermakov@cosmos.ru

С отзывом ознакомлен 08.06.2026 г.