

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Старосотникова Николая Олеговича по теме

**«СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ
ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ»**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности

05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

**Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым
она представлена к защите.**

Представленная диссертационная работа соответствует отрасли «Технические науки» и соответствует пункту 1 «Математическое моделирование физических процессов в оптико-электронных приборах и устройствах» и пункту 2 «Методы и процессы для создания оптических и оптико-электронных приборов для формирования и обработки оптических изображений» раздела III «Области исследования» паспорта специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Актуальность темы диссертации.

Одним из применений снимков земной поверхности, полученных современной съёмочной оптико-электронной аппаратурой (ОЭА) оптическими методами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является их использование для создания топографических планов и карт, а также для мониторинга участков поверхности Земли в случае природных и антропогенных чрезвычайных ситуаций. Для этого ОЭА должна быть геометрически откалибрована с высокой точностью (погрешность не более 0,2–1,0"). При этом необходимо калибровать ОЭА ДЗЗ с различными пространственно-энергетическими параметрами. Для осуществления таких работ необходимо создание универсальных точных устройств для геометрической калибровки. Проведение геометрической калибровки в лабораторных условиях является первым шагом для геометрической калибровки в полёте, что позволит сократить время, до того момента, когда ОЭА ДЗЗ на орбите начнёт работу по обеспечению данными с высокой точностью географической привязки и т.о. принесет положительный экономический эффект.

*Вх. № 11-52/75
от 16.06.2013*

Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту.

Следующие результаты исследований и защищаемые научные положения, изложенные в диссертации являются новыми:

– впервые предложен способ формирования тест-объекта для геометрических калибровок, создающий рисунок с требуемыми пространственно-временными и энергетическими характеристиками при помощи цифрового микрозеркального устройства, обеспечивающий сокращение времени калибровки оптико-электронных аппаратов ДЗЗ с различными техническими характеристиками, в том числе, количеством фотоприёмников, при этом погрешность калибровки остается не хуже, чем для стандартных способов реализации тест-объектов.

– впервые в задачах геометрической калибровки исследованы, математически обоснованы и определены оптимальные пространственно-энергетические параметры элементов рисунка тест-объекта по отношению к параметрам фотодетектора калибруемого ОЭА ДЗЗ (размер элемента тест-объекта, его яркость, определяемая соотношением сигнал/шум), предложены различные способы математической обработки изображений тест-объекта (фильтрация сигнала изображения, присвоение значениям сигнала изображения квадратичных весовых коэффициентов уменьшающее влияние на погрешность, определение координат энергетического центра тяжести изображения рисунка тест-объекта)

– впервые предложена модель геометрической калибровки и метод поиска центров изображения точек рисунка тест-объекта на фотоприёмнике калибруемого ОЭА по энергетическому центру тяжести с предварительным применением контурных алгоритмов (при неравномерном распределении энергии в рисунке тест-объекта) и кросскорреляционного алгоритма (при наличии на изображении посторонних засветок и других изображений), что позволило автоматизировать процесс поиска и уменьшить время обработки.

– впервые предложена методика геометрической калибровки температурного дрейфа пространственной структуры микрозеркал цифрового микрозеркального устройства и пикселей фотоприёмника ОЭА, основанная на оценке положения массива точек (с течением времени), сформированного цифровым микрозеркальным устройством и спроецированного в оптико-электронный аппарат, доказывающая, что цифровое микрозеркальное устройство можно успешно использовать в качестве тест-объекта в задачах геометрической калибровки оптико-электронных аппаратов.

– впервые предложена методика геометрической калибровки многоматричных ОЭА, основанная на разделении элементов внешнего ориентирования путём обработки измеренных данных по всем фотоприёмникам и

элементов внутреннего ориентирования по каждому фотоприёмнику в прямом и перевёрнутом положении коллиматора.

Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Основные выводы и положения, выносимые на защиту, являются научно обоснованными и соответствуют содержанию диссертации. Результаты диссертационных исследований достоверны, апробированы на научных конференциях, опубликованы в рецензируемых изданиях, защищены патентами и подтверждены разработанными устройствами для геометрической калибровки ОЭА ДЗЗ в ОАО «Пеленг».

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации.

Результаты диссертационных исследований используются в устройствах для геометрической калибровки, разработанных ОАО «Пеленг»: «Коллиматоре проекционном» входящем в состав «Установки для измерения элементов внутреннего ориентирования оптико-электронных аппаратов», «Установке для измерения дисторсии оптико-электронных аппаратов» и «Установке для измерения углов между аппаратами» ДЗЗ, использовались для полётной геометрической калибровки 6 образцов ОЭА ДЗЗ, что подтверждается 4 актами о практическом использовании результатов исследований в производстве.

Результаты диссертационных исследований используются в учебном процессе на кафедре «Лазерная техника и технология» Белорусского национального технического университета, что подтверждается актом о практическом использовании результатов исследований в учебном процессе

Предлагаемое устройство коллиматора с DMD в качестве тест-объекта коллиматора может использоваться как универсальное устройство для геометрической калибровки ОЭА, позволяющее формировать требуемый рисунок тест-объекта непосредственно в процессе геометрической калибровки, а также проводить калибровки в динамическом режиме.

Представленные способы снижения влияния шумов на изображениях в ОЭА, оценка влияния отношения сигнал/шум, уровня сигнала в изображении тест-объекта по сравнению величиной сигнала насыщения фото-приёмника, соотношения размеров изображений с пикселем фотоприёмника ОЭА на погрешность определения координат центров объектов, исследованные алгоритмы определения центра тяжести изображения объекта применимы в задачах геометрической калибровки различных детекторов ОЭА.

Представленная методика калибровки температурного дрейфа как DMD, так и цифровой камеры может применяться для исследования пространственной и

временной стабильности матричной структуры фотоприёмников ОЭА ДЗЗ, а также в системах машинного зрения, автоколлиматорах и других ОЭА.

Представленная методика разделения ЭВО может применяться для геометрической калибровки многоматричных ОЭА ДЗЗ с разным количеством фотоприёмников.

Опубликованность результатов диссертации в научной печати.

Основные результаты диссертации опубликованы в 17 печатных работах, в том числе 5 статьях, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении учёных степеней и присвоении учёных званий в Республике Беларусь, общим объёмом 5 авторского листа (из них без соавторов – 1 статья), 10 работах в сборниках материалов научно-технических конференций. Получено 2 патента на изобретения.

По опубликованности результатов исследований диссертация отвечает требованиям ВАК.

Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК.

Основное содержание работы изложено в достаточном объеме для понимания сути проведенных исследований, материал представлен в логической последовательности. Стил изложения не препятствует пониманию полученных результатов. В работе приведены все необходимые ссылки на работы других авторов. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Оформление представленной диссертации соответствует требованиям ВАК.

Замечания по диссертации:

1. Замечания по оформлению:

- В работе имеются описки (стр.57 и др.), неточности в предложении, искажающие смысл написанного и не соответствующие графикам (стр 61), некорректности в построении таблиц (табл.3.3 стр. 51 – последняя строка в таблице).
- В диссертации приводятся ссылки на два патента на изобретение в РФ и Беларуси. С точки зрения новизны исследований необходимо уточнить имеются ли в них существенные отличия. Возможно, это фактически один патент, зарегистрированный в разных странах.
- Пункт 3.3 главы 3, так как он изложен в диссертации, по форме больше соответствует обзорной главе (11 ссылок на список использованных источников на 4 страницы текста) и в меньшей степени связан с работами самого автора т.к. в пункте 3.3 проводится анализ литературных источников и на основе их делаются выводы.
- В таблице 1.2 стр. 31 приведена случайная погрешность угла наклона микрозеркала $\pm 1^\circ$. Необходимо разъяснить каким образом погрешность

геометрической калибровки по такому тест-рисунку может быть высокой (от $\pm 0,2''$ до $\pm 1,0''$) при такой погрешности угла наклона микрозеркала.

5. В работе анализируются не все факторы влияющие на точность калибровки: вибрация (важна для сборок микрозеркал, необходимо обоснование достаточности виброразвязки имеющихся оптических столов), стабильность и равномерность освещения DMD, неоднородность чувствительности детектора ОЭА по полю зрения. При проведении калибровки на отдельной длине волны не учитывается хроматизм увеличения во всем рабочем диапазоне длин волн ОЭА.
6. Геометрическая калибровка является частью метрологического обеспечения. Значит необходимо взаимодействие с сотрудниками БелГима по поводу аттестации методик и установки для геометрической калибровки при дальнейших работах. В приведенной работе из всего набора оценок параметров калибровки используется, в основном, погрешность измерений в виде СКО – σ . Помимо погрешности при проведении калибровки оценивают так же все существенные составляющие неопределенности, приводят значение величины неопределенности измерений с расчетом бюджета неопределенности.

Приведенные недостатки не снижают достоинств данной диссертационной работы, не влияют на обоснованность и достоверность полученных результатов.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует.

Научная и практическая значимость результатов, полученных в диссертационной работе Старосотникова Н.О. позволяет квалифицировать её как законченную научно-исследовательскую работу, соответствующую требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы за новые научные и научно-обоснованные результаты, включающие:

1. Способ реализации тест-объекта для геометрической калибровки ОЭА при помощи цифрового микрозеркального устройства, обеспечивающий сокращение времени и необходимую точность геометрической калибровки ОЭА с различными техническими характеристиками и количеством фотоприёмников.

2. Методы математической обработки изображений тест-объекта при геометрической калибровке, использующие фильтрацию сигнала изображения, применение порога значений двумерного сигнала изображения, присвоение значениям сигнала изображения квадратичных весовых коэффициентов уменьшающие погрешность определения координат энергетического центра тяжести изображения рисунка тест-объекта калибруемого ОЭА ДЗЗ от 3 до 5 раз.

3. Алгоритм поиска центров изображения точек рисунка тест-объекта на фотоприёмнике калибруемого ОЭА по энергетическому центру тяжести с предварительным применением контурных алгоритмов (при неравномерном распределении энергии в рисунке тест-объекта) и кросскорреляционного алгоритма (при наличии на изображении посторонних засветок и других изображений), что позволило автоматизировать процесс поиска и уменьшить время обработки от 20 до 100раз.

4. Методику калибровки геометрических параметров ОЭА с многоматричными приемниками, учитывающую температурное смещение элементов пространственной структуры тест-объекта и фотоприемников ОЭА и основанную на разделении элементов внешнего ориентирования, путем обработки данных по всем фотоприемникам, и элементов внутреннего ориентирования по каждому отдельному фотоприёмнику в противоположных положениях коллиматора, что позволяет уменьшить погрешность совокупных параметров от 3 до 10 раз по сравнению с существующими методиками.

Официальный оппонент

кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией оптико-физических измерений отдела аэрокосмических исследований НИИПФП имени А.Н. Севченко БГУ

 Ю.В. Беляев

Подпись Ю.В. Беляева заверяю:

Подпись Беляева Ю.В. удостоверяю
Начальник ОК Жамаев В.О.



Отзыв поступил в совет
16.06.2023  Н.Н. Ризносский

с отзывом ознакомлен
16.06.2023  С.М. Ковалов