

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

по диссертационной работе

Расторгуева Андрея Алексеевича

**на тему: «Расчёт характеристик бортового оптического
гиперспектрометра на основе схемы Оффнера»**

на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.6. Оптика

Расторгуев Андрей Алексеевич 1984 года рождения, в 2006 году окончил государственное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет» по специальности физика, специализация оптика и спектроскопия. В 2021 году окончил очную аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва».

В период подготовки диссертации соискатель Расторгуев А.А. работал ведущим инженером-конструктором в научно-производственном отделе целевой эффективности и подтверждения ТТХ КК и КС, гиперспектральных комплексов, обработки и взаимодействия с потребителями информации ДЗЗ (АО «РКЦ «Прогресс»).

Расторгуевым Андреем Алексеевичем по теме диссертации опубликовано 13 научных работ. Из них 6 статей в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных Scopus и/или WebOfScience; 7 докладов конференций. Неоднократно выступал на всероссийских, международных научных конференциях.

Диссертационная работа Расторгуева Андрея Алексеевича посвящена созданию модели гиперспектрометра, основанного на схеме Оффнера, позволяющей формировать изображение, учитывающей группы факторов (движение по орбите, освещённость предметной плоскости, влияние атмосферы, характеристики оптической системы, дифракционные эффекты, погрешности позиционирования оптических элементов, свойства светочувствительной матрицы), применению модели для углублённого исследования влияния факторов на изображение и его качество.

Следует отметить наиболее значимые результаты, обладающие научной новизной:

1. Разработана математическая модель процесса формирования изображения космическим гиперспектрометром, основанным на схеме Оффнера. Учёт влияния оптических параметров объектива, ширины щелевой диафрагмы, периода и формы поверхности дифракционной решётки на формирование спектрального распределения освещённости позволил уточнить оценку уровня освещённости на краях оптического спектра (в центре поля зрения) и в центральной области спектра (для края поля зрения) по сравнению с оценками, полученными с помощью ранее известного аналитического подхода к расчёту освещённости на 22% и на 12% соответственно. Учёт погрешностей юстировки оптической схемы гиперспектрометра позволил на

модельных изображениях провести оценки возможных ошибок идентификации спектров объектов при работе на борту КА. Показано, что в предельных случаях: при увеличении наклона зеркала с дифракционной решёткой до 1° ширина искаженной спектральной полосы становится сопоставимой с размером пиксела регистратора 11 мкм в рабочем диапазоне длин волн, что сопровождается искажением форм спектров на изображениях; при смещении большого зеркала спектрометра по оси Z на 40 мкм пятно рассеяния увеличивается по поперечному размеру больше размера пиксела регистратора, что сопровождается смешиванием спектров по большим областям плоскости изображения и снижением контраста. Применение динамической модели оптоэлектронного тракта светочувствительной матрицы позволило учесть шумовые искажения в спектрах объектов в среднем от 8% до 12% при значении высоты Солнца над горизонтом 10° . Учёт влияния атмосферы Земли позволил в свою очередь учесть относительные искажения сигнала в спектрах объектов в среднем до 6,7 раз, вносимые спектральными яркостью дымки и пропусканием атмосферы. Учёт вращения Земли, скорости поступательного и углового движения КА, параметров орбиты, при характерных современным КА погрешностях обработки программы движения, позволил в свою очередь учесть на гиперспектральном изображении относительные изменения пространственного и спектрального разрешения на уровнях порядка 4,5 - 13,5%. Использование методов скалярной теории дифракции обеспечило возможность уточнённой оценки предельных характеристик формирования изображения.

2. На основе разработанной математической модели предложен метод расчёта передаточных характеристик (ФРТ, ЧКХ) ОС гиперспектрометра по схеме Оффнера, который состоит в замене последовательного вычисления дифракционного интеграла по входным апертурам всех оптических элементов одним интегрированием по поверхности первого зеркала спектрометра. Наличие дифракционной решетки на поверхности зеркала учитывается в рамках локальной асимптотической аппроксимации решетки на криволинейной поверхности плоской решеткой в касательной плоскости. Получено аналитическое выражение для расчёта коэффициентов интенсивности порядков дифракции решетки на криволинейной поверхности с профилем, близким к треугольному при произвольном падении света. Применение разработанного метода для расчёта предельных передаточных характеристик (ФРТ, ЧКХ) оптической системы гиперспектрометра позволило установить локальное увеличение контраста на длине волны 500 нм для частот от 200 до 300 мм^{-1} , локальное увеличение контраста на длине волны 700 нм для частот от 150 до 200 мм^{-1} , локальное увеличение контраста на длине волны 900 нм для частот от 100 до 150 мм^{-1} в сагиттальном направлении плоскости изображения.

3. Проведён численный анализ влияния погрешностей юстировки оптической схемы Оффнера на параметры формируемого изображения. Показано, что при смещении от -12 до 14 мкм по оси OZ, наклонах до $34''$ вокруг осей OX, OY для зеркала спектрометра с радиусом -159,6 мм и при

смещении от -30 до 25 мкм по оси OZ, наклонах до 135° вокруг осей OX, OY, до 89° вокруг оси OZ для зеркала спектрометра с радиусом -80,6 мм ширина ФРТ не превышает характерный размер светочувствительного элемента в 11–12 мкм для современных светочувствительных матриц. Анализ погрешностей юстировки оптической схемы спектрометра позволяет предсказать характеристики гиперспектральных изображений, которые могут быть получены с помощью гиперспектрометра после вывода его на заданную космическую орбиту.

Изложенные результаты в диссертационной работе, были получены соискателем Расторгуевым А.А. лично. Постановка задач и обсуждение результатов соискателем проводились совместно с научным руководителем.

В ходе работы над диссертацией Расторгуев А.А. проявил себя как самостоятельный, инициативный и трудолюбивый исследователь, владеющий теоретическими знаниями и практическими навыками для решения поставленных задач.

Характеризуя диссертационную работу Расторгуева А.А., считаю необходимым отметить её научную новизну, актуальность и перспективность в части сокращения сроков разработки гиперспектральной аппаратуры на начальном этапе проектирования, выбора наиболее оптимального варианта конструкции гиперспектрометра, а также возможности разработки на базе предложенной модели генератора «фотореалистичных изображений», который будет использован для обучения алгоритмов обработки гиперспектральных изображений.

На основании вышеизложенного полагаю, что Расторгуев А.А. заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Научный руководитель
доктор физико-математических
наук,
профессор кафедры наноинженерии

 С.И. Харитонов

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва» (Самарский университет)

443086, г. Самара, Московское шоссе 34
тел. +7 (846) 332-26-06
e-mail: prognoz2007@gmail.com

