

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Расторгуева Андрея Алексеевича «Расчёт характеристик бортового оптического гиперспектрометра на основе схемы Оффнера», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

На сегодняшний день одним из перспективных и быстро растущих направлений развития рынка информации космического мониторинга является гиперспектральное дистанционное зондирование Земли. При разработке современной гиперспектральной аппаратуры существует тенденция к уменьшению массовых и габаритных характеристик при сохранении высоких светосигнальных характеристики и качества формируемого изображения. В этом отношении перспективной является конструкция гиперспектрометра основанная на схеме Оффнера. Применение схемы Оффнера при разработке гиперспектральной аппаратуры широко представлено как в отечественных, так и зарубежных публикациях. Работа гиперспектрометра в условиях космоса является сложным и взаимосвязанным процессом, при котором на качество получаемой информации оказывает влияние множество разнородных по природе факторов. Поэтому разработка и применение методов моделирования на стадиях разработки и эксплуатации аппаратуры актуальны так как позволяет спрогнозировать влияние условий съёмки, параметров работы и характеристик самой аппаратуры, конструктивных решений на качество изображений, получаемых в условиях космического функционирования прибора. Здесь возникает необходимость разработки методов моделирования гиперспектрометра, объединяющих в себе как параметры самой аппаратуры, так и условий её работы.

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

Общая характеристика работы

| | |
|-----------------------|-------------|
| Входящий № | 206-226 |
| Дата | 18 ЯНВ 2023 |
| Самарский университет | |

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх разделов, заключения, списка литературы и приложений А, Б, В, Г, Д, Е. Общий объём работы составляет 162 страницы, включая 70 рисунков, 11 таблиц, и библиографию из 165 наименований.

Во введении представлены результаты проведённого обзора литературы по теме диссертации. Детально рассмотрены подходы к моделированию формирования гиперспектрального изображения, а также модели, реализованные в программных инструментах «Simulation Tool». Рассмотрены известные подходы к моделированию, позволяющие проводить расчёт функции рассеяния точки (ФРТ), частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) оптической системы гиперспектрометра, подходы к расчёту освещённости, методы и программные реализации для оценки влияния искажений геометрии изображения на формирование спектральных характеристик. Также представлен анализ современного состояния научно-методической базы исследования в области теории спектральных приборов, диспергирующих элементов, а также изображающей гиперспектральной аппаратуры. По результатам этого анализа обоснована актуальность исследования, а на основе выявленных недостатков существующих методов и моделей сформулированы цель и задачи исследования. Во введении приведены основные защищаемые положения, подчеркнута научная новизна работы, её теоретическая и практическая значимость, представлен вклад автора в решение поставленных задач.

В первом разделе разработана математическая модель процесса формирования изображения космическим гиперспектрометром, основанная на схеме Оффнера. Ряд ограничений и допущений сделанных при моделировании позволил ограничить размерность задачи, а также получить исчерпывающее математическое описание для всех компонент модели процесса формирования изображения. Представлены результаты моделирования гиперспектральных изображений тест-объектов. С использованием апробированных соотношений и методики проведена проверка правильности передачи уровней яркости и контраста на модельных изображениях.

Во втором разделе рассмотрено моделирование работы оптической системы гиперспектрометра в рамках скалярной волновой теории. Рассмотрено моделирование ДОО на криволинейной поверхности, вычисление эйконала спектрометра с учётом ДОО. Учтена роль щелевой диафрагмы при моделировании работы гиперспектрометра. Проведён расчёт ФРТ и ЧКХ для оценки дифракционного предела разрешения гиперспектрометра. В разделе также приведены проверочные расчёты с использованием аналитических

соотношений, сравнения с результатами геометрооптического моделирования, теоретическими и практическими результатами работ других авторов. Полученные результаты расчёта дифракционного предела гиперспектрометра позволили установить локальные увеличения пространственных частот в сагиттальном направлении плоскости изображения.

Третий раздел работы посвящён моделированию работы гиперспектрометра в приближении геометрической оптики. Рассмотрен математический аппарат для численного расчёта освещённости в плоскости регистратора гиперспектрометра. Показаны различия между результатами оценок отношения сигнал/шум, полученными разработанным методом и известным аналитическим соотношением. В разделе получены коэффициенты линейной зависимости, описывающей положение изображения в приближении нулевого луча и в параксиальном приближении. Проведено сравнение результатов расчёта положений изображений щелевой диафрагмы с использованием полученных коэффициентов и с использованием метода трассировки лучей. В разделе рассмотрено моделирование погрешностей позиционирования элементов схемы спектрометра, проанализированы геометрические параметры (и искажения) изображения, определены условные допуски на юстировку оптических элементов спектрометра. С использованием аналитического моделирования рассмотрено влияние геометрических искажений на формирование спектральных характеристик объектов съёмки. Сопоставление результатов подтверждает правильность работы математической модели (рассмотренной в первом разделе) при формировании спектральных характеристик с учётом искажающих факторов.

В четвёртом разделе приведены и проанализированы результаты вычислительного эксперимента по формированию серии изображений гиперспектрометра из космоса. В частности, рассмотрено влияние: различных спектральных факторов, изменения уровня освещённости, погрешностей расположения элементов схемы спектрометра. Проведена оценка влияния параметров углового движения, углов ориентации гиперспектрометра на геометрию и характеристики гиперспектрального изображения.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы, которые представляются полностью обоснованными.

Автореферат полностью соответствует диссертационной работе.

Новизна полученных результатов, научных положений, выводов и рекомендаций.

Научной новизной обладают следующие результаты диссертационного исследования:

1. Предложенная и исследованная математическая модель процесса формирования изображения космическим гиперспектрометром, основанная на схеме Оффнера, отличающаяся учётом совокупного влияния следующих характерных факторов: скорости поступательного и углового движения по орбите; параметров орбиты; вращения Земли; оптических характеристик атмосферы Земли; освещённости поверхности Земли; погрешности юстировки оптической схемы гиперспектрометра; оптических параметров объектива; ширины щелевой диафрагмы; периода и формы поверхности отражающей дифракционной решётки спектрометра; динамической модели оптоэлектронного тракта матричного фотоприёмника.

Предложенная математическая модель позволила учесть при формировании изображения: возможные изменения пространственного и спектрального разрешения при работе на борту космического аппарата (КА); изменение уровня освещённости на краях оптического спектра (в центре поля зрения) и в центральной области спектра (для края поля зрения) по сравнению с известным аналитическим подходом к расчёту освещённости; возможные ошибки идентификации и искажения в спектрах объектов при работе на борту КА.

2. Предложенный метод расчёта передаточных характеристик (ФРТ, ЧКХ) гиперспектрометра по схеме Оффнера, заключающийся 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 решётки на криволинейной поверхности с профилем, близким к треугольному при произвольном падении света. Для предельного случая установлено 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. Значения контраста на длинах волн 500 нм, 700 нм и 900 нм составили 0,256, 0,352, 0,446, что по отношению к значениям контраста на этих длинах волн на ЧКХ идеальной оптической системы с кольцевой апертурой составляет 102,4%, 146,6%, 176,3% соответственно.

3. Результаты численного анализа 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.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью математических операций, соблюдением логической последовательности протекания процессов функционирования гиперспектрометра в условиях орбитального полёта; совпадением и сходимостью с результатами решения тестовых задач при помощи аналитических моделей, апробированных методов и аналитических соотношений; проверками на изображениях уровней яркостей и форм спектральных характеристик (с учётом искажающих факторов); проверками адекватности моделей и результатов расчётов. Достоверность результатов расчёта ФРТ в приближении волновой оптики дополнительно обеспечивается согласованностью: результатов расчётов светового поля после дифракции на щели с результатами другого исследования; ограничений пространственных частот в сагиттальном направлении с теорией спектральных приборов; форм ФРТ с результатами моделирования в приближении геометрической оптики и экспериментальными результатами другого исследования.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы состоит в разработке новой математической модели космического гиперспектрометра по схеме Оффнера, позволяющей проводить углублённые исследования влияния различных факторов на гиперспектральное изображение; в результатах исследования в рамках скалярной теории дифракции предельных структурных передаточных характеристик оптической схемы гиперспектрометра.

Практическая значимость исследования также не вызывает сомнений и состоит в возможности использования разработанной модели, реализованной в программно-математическом обеспечении, а также полученных предельных структурных передаточных характеристик и ограничений на позиционирование оптических элементов при разработке космической гиперспектральной аппаратуры Оффнеровского типа.

Основные результаты диссертации А.А. Расторгуева опубликованы в 13 работах, 6 из которых удовлетворяют требованиям ВАК. Результаты работы широко обсуждались на различных конференциях. Опубликованные работы, которые известны специалистам, содержат основные результаты диссертации А.А. Расторгуева.

Замечания

1. Во втором разделе диссертации при оценке дифракционного предела разрешения оптической схемы гиперспектрометра отмечено повышение контраста в определённых областях пространственных частот в сагиттальном направлении плоскости изображения (для различных длин волн). Однако в четвёртом разделе не показано как данные повышения контраста сказываются на модельных изображениях.

2. В третьем разделе рассматривается численный метод расчета освещенности в приближении геометрической оптики. Этот метод не учитывает дифракцию светового пучка на щелевой диафрагме. И при этом не оцениваются возможные погрешности, обусловленные конечной шириной щелевой диафрагмы.

3. В четвертом разделе рассматривается оценка влияния параметров углового движения, углов ориентации на геометрию и характеристики изображения. Однако не показаны и не проанализированы спектры объектов и спектральное разрешение при различных параметрах движения гиперспектрометра.

4. В диссертации обнаружены опечатки. Например, в п. 3.1.1 на стр. 75 приведены некорректные ссылки на формулу (3.9), а при этом имелась ввиду формула (3.5).

Указанные замечания, не снижают общую высокую оценку представленной диссертационной работы.

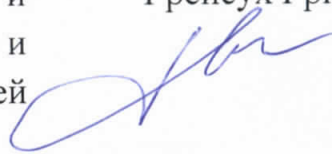
Тема исследования соответствует специальности 1.3.6. Оптика. Диссертационная работа А.А. Расторгуева на тему «Расчёт характеристик бортового оптического гиперспектрометра на основе схемы Оффнера» удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (ред. 11.09.2021 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук.

На основании этого считаю, что автор диссертационной работы Расторгуев Андрей Алексеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика.

Заведующий кафедрой «Физика и химия»
ФГБОУ ВО «Пензенский
государственный университет
архитектуры и строительства», доктор
технических наук (05.11.07 – Оптические
и оптико-электронные приборы и
комплексы), Почётный работник науки и
техники, Заслуженный работник высшей
школы РФ, профессор

Грейсух Григорий Исаевич

09.01.2023г.



440028, г. Пенза, ул. Германа Титова,
д.28.

тел.: (8412) 92-94-78.

<https://www.pguas.ru>,

e-mail: subscribing_2002@mail.ru

Подпись Грейсуха Г.И. заверяю

