

УДК 681.7

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КАЛИБРОВКИ ВИДЕОСПЕКТРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Беляев Б.И., Катковский Л.В., Крот Ю.А., Маргинов А.О., Иванов В.А.

Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ

Минск, Республика Беларусь

Научная аппаратура (НА) видеоспектральная система (ВСС) предназначена для проведения измерений характеристик отраженного излучения подстилающих поверхностей в диапазоне длин волн от 400 до 950 нм на служебном модуле (СМ) Российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС) при выполнении мониторинга земной поверхности в ходе проведения научно-прикладных исследований в космическом эксперименте «Ураган».

Цель проведения эксперимента – дальнейшее развитие системы мониторинга с использованием НА ВСС для проведения мониторинга земной поверхности с борта РС МКС.

Основные требования к аппаратуре:

- регистрация цветных изображений подстилающей поверхности с проекцией пикселя не более 5 метров с высоты 400 км;
- регистрация спектров по меньшей мере 250 участков подстилающей поверхности за одно срабатывание электромеханического затвора;
- спектральное разрешение каждого из трех спектрометров не хуже 5 нм, спектральный диапазон: 400-950 нм;
- единый объектив для спектрального канала и канала изображений;
- пространственная «привязка» каждого регистрируемого спектра к соответствующему изображению.

НА ВСС конструктивно выполнена в виде компактного переносного автономного моноблока, который включает в свой состав: базовый блок (ББ); блок объектива (БО); блок аккумулятора (БА); блок монитора (БМ) и кронштейн установочный (КУ). ВСС позволяет проводить съемку как с рук оператора, так и с КУ. Оптическая часть НА ВСС включает в себя два основных канала: канал изображений и спектральный канал [1].

Канал изображения представляет собой цифровой задник производства Hasselblad, на приемную цветную матрицу которого фокусируется изображение. Поле зрения канала изображений с высоты орбиты 400 км составляет 28×37 км.

Спектральный канал представлен тремя одинаковыми спектрометрами, на входные щели которых заводится излучение с помощью световодов передачи изображения.

Калибровки оптических модулей НА ВСС

проведены на метрологическом комплексе «Ка-мея» в отделе аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ.

Калибровка канала изображений проводилась с помощью монохроматического излучателя. Функции относительной спектральной чувствительности определялись для R, G и B каналов. Калибровка по СПЭЯ проводилась с помощью диффузного излучателя для всех основных режимов работы задника при различных временах экспозиции.

Портативные спектрометры спектрального канала, построенные по схеме Роуланда на вогнутых голографических дифракционных решетках, имеют входные щели высотой 20 мм и фоточувствительные матрица *Dalsa* размерами 25×25 мм. Таким образом, вдоль строк регистрируется спектральное распределение (спектры), а вдоль столбцов пространственное распределение яркости на входной щели. Каждая строка приемной матрицы регистрирует спектр отдельного участка входной щели, а соответственно, спектр отдельного участка подстилающей поверхности. В данном случае имеет важность получение минимального поля зрения каждой строки матрицы спектрометров для минимизации наложенных полей зрения строк каждого спектрометра, т.е. увеличения количества участков отдельного спектрометрирования.

Для вогнутых сферических дифракционных решеток свойствен астигматизм, который заключается в различии дистанций фокусировки в тангенциальной и сагиттальной плоскостях [2]. Данная aberrация приводит к многократному увеличению поля зрения каждой строки приемной матрицы (фактически, поля зрения отдельного спектра). Величина астигматического отрезка составила около 2 мм, это означает, что такая схема позволяет получить лишь около 10 спектров без наложения полей зрения. Было предложено и опробовано решение по улучшению пространственного разрешения используемых спектрометров. Метод заключается в дополнительной фокусировке в сагиттальной плоскости подвижками выходного торца световода от входной щели спектрометра вдоль оптической оси. Это приводит к смещению точки фокусировки в сагиттальной плоскости на круг Роуланда для отдельной длины волны. После

нахождения оптимальной дистанции между выходными торцами световодов изображения и входными щелями спектрометров были проведены лабораторные измерения, в которых создавались условия освещения очень малых участков входных торцов световодов монохроматическим излучением. На рисунке 1 показан результат измерений при подвижке световода и фокусировке.



Рисунок 1 – Фокусировка в сагиттальной плоскости

Применение данного метода позволило достигнуть получения 90 одновременно регистрируемых спектров с неперекрывающимися полями зрения в каждом спектрометре. При этом спектральное разрешение не ухудшается, т.к. входная щель служит как одномерная диафрагма.

Для портативных спектрометров с широким спектральным диапазоном хорошо известна проблема высших дифракционных порядков. Как правило, для регистрации важен первый дифракционный порядок, однако в большинстве случаев второй порядок коротковолновой области так же регистрируется в длинноволновой области спектрального диапазона спектрометра. Многие производители спектрометров прибегают к установке оптических, блокирующих коротковолновое излучение, фильтров перед приемной линией или матрицей. При использовании интерференционных блокирующих фильтров возможно изменение спектральной чувствительности спектрометра с появлением резких перепадов, что при небольших разъюстировках может привести к необходимости калибровки.

Предложен метод коррекции высших дифракционных порядков для портативных спектрометров с использованием монохроматора. Данным методом требует дополнительного этапа калибровки, но отпадает необходимость использования оптических блокирующих фильтров. Метод состоит в нахождении зависимости освещенности фотодетектора вторым порядком дифракции от освещенности на фотодетекторе первым порядком дифракции. Данное решение применимо для спектрометров с линейными или матричными приемниками излучения, в которых отдельные пиксели или области пикселей регистрируют определенную длину волны излучения.

Метод апробирован на спектрометре с рабочим спектральным диапазоном 350-1200 нм. С помощью монохроматического излучателя вход спектрометра освещался монохроматическим излучением в диапазоне от 350 до 630 нм с шагом 5 нм до тех пор, пока регистрировался сигнал второго дифракционного порядка. На рисунке 2 представлены результаты измерений.

Экспериментальные данные были обработаны и представлены в виде полиномиальной функции седьмого порядка. Для коррекции сигнала в ИК области (области проявления второго порядка) следует отнимать некоторую поправку, рассчитываемую по найденной функции в зависимости от уровня сигнала первого порядка дифракции.

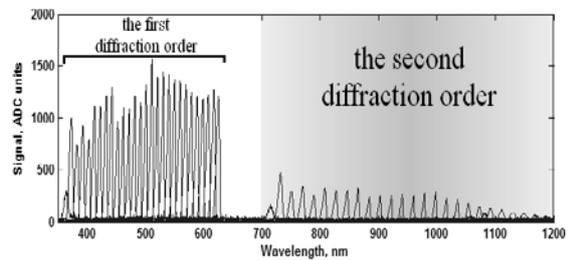


Рисунок 2 – Результаты измерений сигналов первого и второго дифракционных порядков

В качестве тестового источника был использован экран LED монитора, излучающего в видимом диапазоне, и отсутствии излучения для длин волн более 700 нм. Применение метода коррекции второго дифракционного порядка показано на рисунке 3.

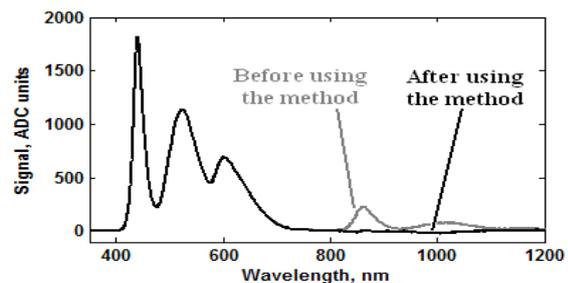


Рисунок 3 – Применение метода на тестовом спектре

1. Крот Ю.А., Чумаков, А.В., Гусев, В.Ф. Аппаратно-программный комплекс видеоспектральной съемки с борта МКС // Приборы и методы измерений. – 2014. – №1-8. – С. 73-78.
2. Palmer, Ch., Diffraction grating handbook, Richardson Grating Laboratory, New York. – 2002. – С. 70-87.