

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА КОРРЕКЦИИ ВТОРЫХ ПОРЯДКОВ ДИФРАКЦИИ ДЛЯ ВИДЕОСПЕКТРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВСС

¹Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета, – Минск, Беларусь

² ПАО РКК «Энергия» имени С.П. Королёва, г. Королёв, Российская Федерация

Видеоспектральная система ВСС предназначена для проведения измерений характеристик отраженного излучения подстилающих поверхностей в диапазоне длин волн от 400 до 950 нм на Российском сегменте Международной космической станции. Отличительной особенностью ВСС является использование спектрометров на дифракционной решетке, в которых происходит искажение длинноволновой области спектра вторым порядком дифракции коротковолнового излучения. Применение алгоритма коррекции вторых порядков дифракции для ВСС показало возможность математического устранения наложения вторых порядков дифракции с точностью не хуже 4 % от интенсивности полезного сигнала.

Научная аппаратура «Видеоспектральная система» (НА ВСС) [1] предназначена для проведения научно-прикладных исследований в космическом эксперименте (КЭ) «Экспериментальная отработка наземно-космической системы мониторинга и прогноза развития природных и техногенных катастроф» («Ураган») с борта Российского сегмента Международной космической станции (РС МКС). ВСС состоит из фотоаппарата высокого пространственного разрешения и трех спектрометров на спектральный диапазон 400-900 нм. Для обеспечения одновременной регистрации изображения и спектров отражения подстилающей поверхности в ВСС применяется общий входной объектив Hasselblad HC 4,5/300 со встроенным электро-механическим затвором.

Регистрируемое излучение через входной объектив поступает на светоделитель и делится на две части – часть излучения направляется и фокусируется на цветную фотоприемную матрицу фотоаппарата, вторая часть фокусируется на входные торцы оптоволокон изображения, выходные торцы которых расположены в соответствующих плоскостях входных щелей трех спектрометров.

Каждый из трех спектрометров построен по схеме Роуланда на вогнутой дифракционной решетке. Отличительной особенностью такой оптической схемы является наложение порядков дифракции от «синей» области на «красную», что приводит к искажению регистрируемого сигнала в красной области. При отсутствии аппаратных методов коррекции наложения порядков дифракции, возможно применение математических методов коррекции. Разработанный авторами алгоритм [2] программной коррекции заключается в представлении зарегистрированного спектрометром сигнала в «синей» области в виде сумм Гауссиан, параметры которых определяются экспериментально для отдельных длин волн с последующей численной интерполяцией на сетку длин волн. Затем найденные функции преобразуются в свои образы (аппаратные функции второго порядка дифракции) в соответствии с интерполированными значениями, полученными для параметризации Гауссиан. На последнем этапе производится вычитание алгебраической суммы рассчитанных образов из искаженного спектра.

Особенностью спектрометров ВСС, исследуемых в данной работе, являются: спектральное разрешение около 4 нм, разрядность оцифровки сигнала 8 бит и относительно высокий уровень собственного шума детектора.

Результаты применения алгоритма коррекции спектра яркости неба для одного из спектрометров представлены на рисунке 1а. В диапазоне длин волн 790–810 нм наблюдается недостаточная степень коррекции, связанная с малым числом точек для аппроксимации функции преобразования Гауссиан в свои образы.

Проверка работоспособности алгоритма осуществлялась путем сравнения восстановленного спектра $I_{корр}(\lambda)$ протяженного объекта со спектром $I_{КС-10}(\lambda)$ того же объекта, заре-

гистрированным с использованием аппаратной фильтрации вторых порядков. В настоящей работе аппаратная фильтрация проводилась при помощи цветного стекла КС-10, пропускающего излучение с длиной волны от 650 нм.

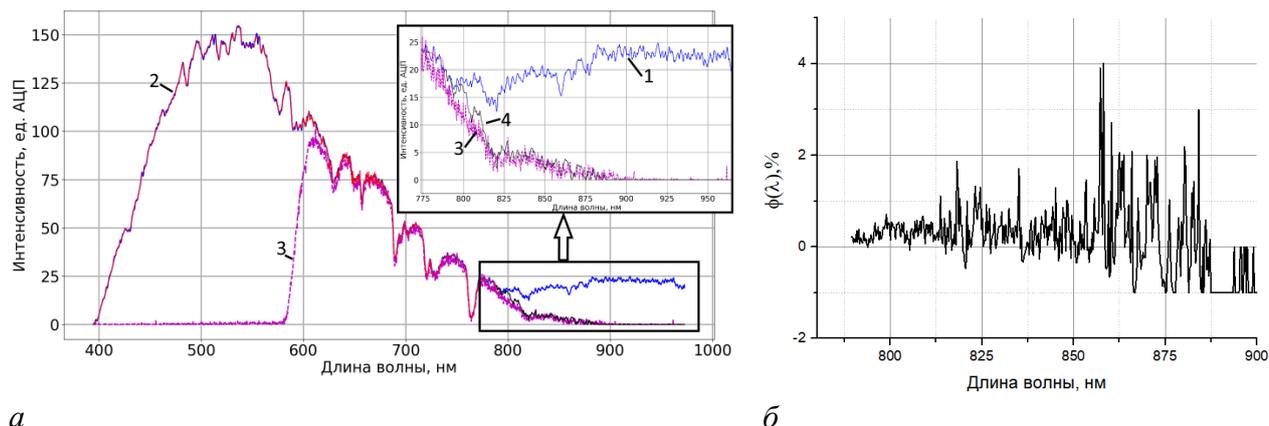


Рисунок 1 – Результат коррекции наложения вторых порядков дифракции спектра яркости неба на примере одного из спектрометров ВСС:

а – этапы алгоритма коррекции: 1 – исходный спектр; 2 – результат представления первого порядка дифракции в виде суммы Гауссиан; 3 – спектр яркости неба с аппаратной коррекцией (фильтр КС-10); 4 – результат коррекции;
б – оценка точности алгоритма коррекции

Таким образом, использование цветного стекла КС-10 гарантирует удаление синей части спектра, способного создать второй порядок дифракции. Тогда невязку $\varphi(\lambda)$, представляющую собой оценку точности алгоритма коррекции, можно рассчитать следующим образом:

$$\varphi(\lambda) = \frac{I_{\text{корр}}(\lambda) - I_{\text{КС-10}}(\lambda)}{I_{\text{КС-10}}(\lambda)} \cdot 100\%$$

Из рисунка 1б можно заметить, что невязка $\varphi(\lambda)$ составляет не более 4 % от уровня полезного сигнала, причем ее наибольшие амплитуды находятся в области малой спектральной чувствительности детектора, что можно объяснить низким значением отношения сигнал-шум. Стоит отметить, что невязка сопоставима с уровнем собственного шума детектора в большей части корректируемой области.

Заключение

Таким образом, в работе представлены первые результаты применения алгоритма коррекции вторых порядков дифракции в применении к данным видеоспектральной системы ВСС. Проведенные исследования показывают принципиальную возможность устранения эффекта наложения порядков дифракции с точностью не хуже 4 % и создают предпосылки к увеличению качества спектральных данных, получаемых при помощи ВСС.

Список литературы

1. Беляев Б. И., Беляев М. Ю., Сармин Э. Э., Гусев В. Ф., Десинов Л. В., Иванов В. А., Крот Ю. А., Мартинов А. О., Рязанцев В. В., Сосенко В. А. Устройство и летные испытания научной аппаратуры «Видеоспектральная система» на борту российского сегмента МКС // Космическая техника и технологии – 2016, № 2 (13). – С. 70–79.
2. Бручковская С. И., Литвинович Г. С., Бручковский И. И., Катковский Л. В. Алгоритм коррекции дифракции второго порядка в спектрометре с вогнутой дифракционной решеткой. // Журн. приклад. спектроскопии. – Минск, 2019. – Т. 86, №4. – С. 620–627.