

УДК 535.421;681.785.554

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОРРЕКЦИИ ВТОРЫХ ПОРЯДКОВ В ПРОЦЕДУРЕ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ СПЕКТРОМЕТРОВ

Бручковская С.И.

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ  
Минск, Республика Беларусь

Спектрометры с вогнутой дифракционной решеткой имеют недостаток, который состоит в наложении спектров, формируемых в различных порядках дифракции. Ранее нами был предложен аналитический метод коррекции дифракции второго порядка [1, 2]. В его основе лежит представление спектра в виде суперпозиции функций Гаусса, параметры которых определяются экспериментально для отдельных длин волн с последующей численной интерполяцией; затем выполняется вычитание рассчитанной компоненты из корректируемой части спектра. Метод был протестирован на различных типах спектров (линейчатом, сплошном, комбинированном), точность восстановления спектра с коррекцией составила 3 %.

В задачах дистанционного зондирования Земли зачастую требуется знание о спектральных свойствах объекта в абсолютных единицах яркости. Для этого применяется лабораторная калибровка по фотометрической сфере с известным распределением яркости. При проведении калибровок спектрометрической аппаратуры на существующем в НИИПФП им. А. Н. Севченко БГУ метрологическом комплексе «Камея» и определении абсолютных значений СПЭЯ также необходимо проводить процедуру коррекции дифракции второго порядка. В данном случае алгоритм коррекции применяется дважды: к спектрам, полученным с фотометрической сферы для расчета калибровочных коэффициентов, и к натурным спектрам, предполагающимся к пересчету в значения СПЭЯ (спектральная плотность энергетической яркости).

Алгоритм коррекции тестировался на спектрометре ССП-600Н (рис. 1). Малогабаритный спектрометр ССП-600Н разрабатывался в НИИПФП им. А. Н. Севченко БГУ для задач дистанционного зондирования Земли, а также подспутниковых измерений коэффициента спектральной яркости подстилающей поверхности.



Рисунок 1 – Внешний вид ССП-600Н

Спектрометр построен по схеме с вогнутой голографической дифракционной решеткой, имеет рабочий спектральный диапазон 350–1050 нм и разрешение 4.2 нм. Для данного прибора имеется проблема наложения спектра второго порядка из диапазона 350–525 нм на спектр первого порядка в области 700–1050 нм.

На рис. 2 представлен результат коррекции дифракции второго порядка для спектра фотометрической сферы, зарегистрированного ССП-600Н. Исходный спектр 1 представляется в виде суперпозиции 3 функций Гаусса 2. Также регистрировался спектр фотометрической сферы, снятый через фильтр КС-10, представленный на рис.2 кривой 4. Так как в спектре 4 отсутствует коротковолновая компонента, то в области 700–1050 нм можно ожидать спектр без вклада вторых порядков. Таким образом, спектр с фильтром КС-10 выступает как эталонный в диапазоне 700–1050 нм. Удостоверившись, что кривая 3 соответствует исходному спектру, функции 2 пропорционально своим амплитудам пересчитываются в кривую 5 на удвоенной длине волны, которая, в свою очередь, является вкладом второго порядка в исходный спектр в области 700–1050 нм. Вычитая 5 из 1, получаем кривую 6.

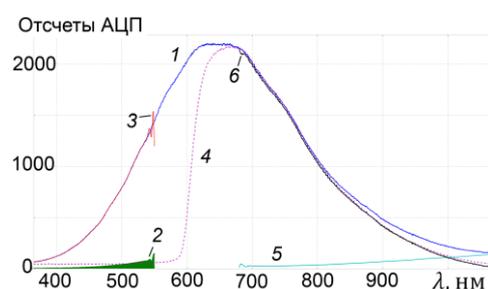


Рисунок 2 – Результаты коррекции дифракции II порядка для спектра фотометрической сферы 1 – исходный спектр, 2 – функции Гаусса, 3 – сумма функций Гаусса, 4 – спектр с фильтром КС-10, 5 – функции Гаусса во втором порядке, 6 – спектр с коррекцией

Сравнив итоговый спектр с коррекцией 6 со спектром с фильтром 4, можно наблюдать практически полное их совпадение, что свидетельствует о правильности работы алгоритма. По

скорректированному набору спектров проводится расчет калибровочных коэффициентов для пересчета в СПЭЯ.

Суть радиометрической калибровки состоит в определении коэффициентов  $k$ ,  $b$  линейной зависимости значения СПЭЯ  $y$  от значения отсчета АЦП в канале детектора  $x$ :

$$y = kx + b.$$

Значения СПЭЯ для фотометрической сферы комплекса «Камея» калиброваны методом переноса единицы яркости и известны с точностью около 1% в интересующем диапазоне работы спектрометра ССП-600Н 350–1050 нм (рис. 3).

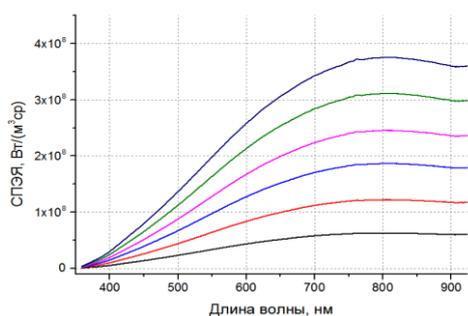


Рисунок 3 – Распределение абсолютных значений СПЭЯ для 6-ти градаций яркости фотометрической сферы комплекса «Камея»

Проведя коррекцию второго порядка для натурального спектра и применив калибровочные коэффициенты, рассчитанные на предыдущем этапе, получим итоговый спектр в единицах абсолютной СПЭЯ. На рис. 4 представлен результат подобного расчета, а также спектр с фильтром КС-10  $\epsilon$ ), который был рассчитан с использованием калибровочных коэффициентов для

случая с фильтром (фотометрическая сфера также измерялась с фильтром).

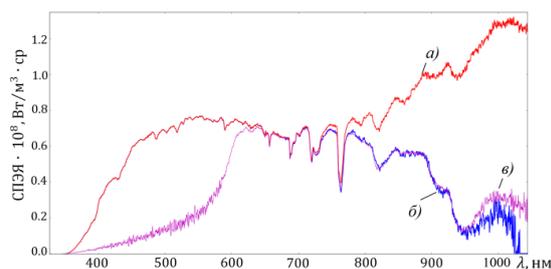


Рисунок 4 – Результаты коррекции дифракции II порядка для спектра песка:  
а – исходный спектр; б – спектр с коррекцией;  
в – спектр с фильтром КС-10.

Из анализа результатов, представленных на рисунке 4, можно сделать вывод о значительном улучшении качества расчета спектральных данных в единицах СПЭЯ в диапазоне 750–1050 нм с применением алгоритма коррекции второго порядка по сравнению с методом калибровки без использования данного алгоритма. Нужно отметить, что преимущества алгоритма коррекции проявляются тем сильнее, чем больше интенсивность сигнала области спектра, находящейся в диапазоне первого порядка (350–550 нм), так как в этом случае, соответственно, больше вклад второго порядка.

#### Литература

1. Бручковская, С.И., Литвинович, Г.С., Бручковский, И.И., Катковский, Л.В. Алгоритм коррекции дифракции второго порядка в спектрометре с вогнутой дифракционной решеткой / С.И. Бручковская [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. – 2019. – № 4. – С. 620–627.
2. Bruchkouskaya, S.I., Litvinovich, G.S., Bruchkousky, I.I. et al. J Appl Spectrosc (2019). DOI: 10.1007/s10812-019-00877-3.

УДК 617.57: 53.082.9

### ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА СИГНАЛОВ В БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОТЕЗАХ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Варданесян К.А., Вонсевич К.П.

Национальный технический университет  
Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
Киев, Украина

Человеческая рука является сложным биологическим механизмом, который способен выполнять большое количество движений и повседневных манипуляций. Как следствие, потеря естественной конечности приводит к значительному усложнению жизнедеятельности пациентов и их социальной стигматизации. Косметические протезы способны компенсировать только визуальное сходство искусственной руки, но не обеспечивают функциональных возможностей настоящей

конечности. В то же время, мультифункциональные биоэлектрические протезы, исследования работы которых продолжается уже более 70 лет [1], часто способны воспроизвести целый набор движений руки и отдельные элементы ее естественной сенсорики. На сегодня актуальными в разработке есть протезные устройства, имеющие значительное количество степеней свободы и руководствуются при этом непосредственно, биологическими сигналами тела пользователя. Однако, практическая реализация таких требований