

УДК 535.421; 681.785.554

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОТКЛИКА СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ АЛГОРИТМА КОРРЕКЦИИ ДИФРАКЦИИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Гуляева С.И., Литвинович Г.С., Бручковский И.И.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В работе представлены детали расчета параметров отклика широкодиапазонного спектрометра, необходимые для работы алгоритма коррекции дифракции второго порядка.

Ключевые слова: коррекция дифракции второго порядка.

SPECTROMETER RESPONSE PARAMETERS CALCULATION DETAILS FOR THE SECOND-ORDER DIFFRACTION CORRECTION ALGORITHM

Guliaeva S., Litvinovich H., Bruchkouski I.

*A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems
Minsk, Belarus*

Abstract. The details of calculating the response parameters of a wide-range spectrometer as input parameters for the operation of the second-order diffraction correction algorithm have been presented.

Key words: second-order diffraction correction.

*Адрес для переписки: Гуляева С.И., ул. Курчатова, 7, г. Минск 220045, Республика Беларусь
e-mail: ms.bruchkovskaya@yandex.ru*

В широкодиапазонных спектрометрах с дифракционной решеткой имеет место наложение спектров, формируемых в различных порядках дифракции, что приводит к искажению регистрируемых спектров в красной области. Ранее нами был предложен и обоснован аналитический метод коррекции дифракции второго порядка [1]. В основе метода лежит суперпозиция регистрируемого спектра в виде суммы функций Гаусса, параметры которых определяются экспериментально для конкретного спектрометра, и последующий расчет параметров гауссиан для спектра во втором порядке (образ). Было показано, что метод позволяет значительно улучшить качество спектральных данных путем математического исключения из спектра сигнала второго порядка в тех случаях, когда использование отрезающего фильтра затруднительно или невозможно.

Для лабораторного эксперимента в качестве источника излучения применяется монохроматический протяженный источник [2] (рис. 1) – фотометрическая сфера, освещаемая излучением полупроводниковых лазеров и ртутно-аргоновой лампы низкого давления [3]. Протяженный источник обеспечивает полное заполнение апертуры спектрометра, моделируя тем самым условия освещения, аналогичные таковым при регистрации спектров природных объектов.

Суть эксперимента состоит в том, чтобы зарегистрировать при помощи спектрометра монохроматические линии с известными длинами волн λ_i , так что максимальная интенсивность образа монохроматической линии имеет длину волны $2\lambda_i$. Зарегистрированный набор линий аппроксимируется функцией Гаусса методом наименьших квадратов, в результате чего опре-

деляется ширина на полувысоте и интенсивность линии. Форма образа линии во втором порядке дифракции, как правило, имеет асимметричную форму, поэтому для ее параметризации применяется функция вида:

$$y = \begin{cases} H \cdot e^{-0.5 \cdot \left(\frac{\lambda - \lambda_c}{w_1}\right)^2}, & \text{если } (\lambda < \lambda_c) \\ H \cdot e^{-0.5 \cdot \left(\frac{\lambda - \lambda_c}{w_2}\right)^2}, & \text{если } (\lambda \geq \lambda_c) \end{cases}$$

где y – значение параметризующей функции, λ – длина волны; H , λ_c – амплитуда и центральная длина волны спектральной линии, w_1 , w_2 – ширины на полувысоте линии слева и справа от ее центра.

Таким образом, характерными параметрами, описывающими процесс формирования сигнала во втором порядке, являются: отношение интенсивности линии второго порядка к ее интенсивности в первом R , ширина на полувысоте линии первого порядка F , а также ширины на полувысоте линии слева и справа от ее центра w_1 и w_2 для линий во втором порядке. Для корректной работы алгоритма необходимо провести интерполяцию данных параметров на калибровочную сетку рабочего диапазона длин волн с использованием параметризующих функций. Параметризующие функции могут быть сформированы при помощи ртутно-аргоновых линий (365,1, 404,3, 435,9, 490,7 нм) и линий полупроводниковых лазеров (405,9, 445,2 нм).

На рис. 2 приведены примеры аппроксимации параметров w_2 и R экспоненциальной функцией вида $y = \exp(a + b\lambda + c\lambda^2)$, ширина на полувысоте линии первого порядка F аппроксимируется аналогичной функцией, w_1 ввиду

его незначительного изменения аппроксимируется своим средним значением.

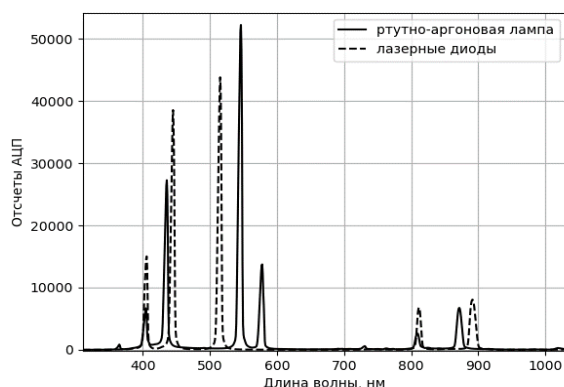


Рисунок 1 – Регистрируемые с помощью монохроматического протяженного источника излучения спектры ртутно-аргоновой лампы и полупроводниковых лазеров в первом и втором порядках дифракции

Проверка корректности выбора параметризующих функций может быть выполнена путем сравнения откорректированного спектра природного объекта со спектром того же объекта, зарегистрированного через фильтр, не пропускающий излучение первого порядка (например, КС-10).

Таким образом, особенности регистрации и расчета параметров отклика для возможности применения алгоритма коррекции второго порядка состоят в следующем:

- при использовании полупроводникового лазера в качестве монохроматического источника, необходима температурная стабилизация лазерного кристалла и питающего тока;

- одновременная регистрация линий протяженного монохроматического излучателя с длинами волн λ_i в первом и втором порядках дифракции, имеющая целью определение параметров асимметрии линий во втором порядке и параметров R и F . При этом, параметры асимметрии рассчитываются от величины, определяемой расположением длины волны $2\lambda_i$.

- для проверки корректности работы метода рекомендуется применять опорный спектр, заведомо не содержащий в себе высших порядков.

Практическое применение метода на данных нескольких спектрометров с вогнутой дифракционной решеткой показало, что параметры R , F , w_1 и w_2 имеют одностипную функциональную зависимость от длины волны.

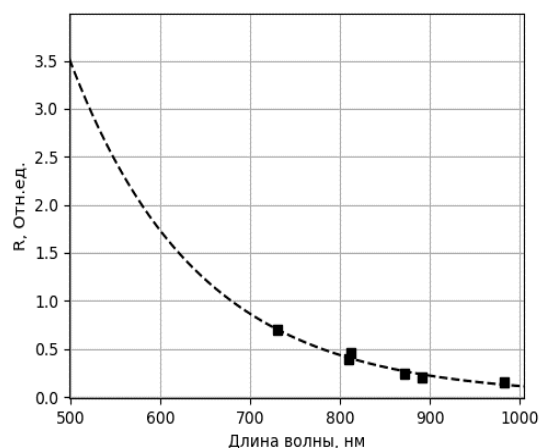
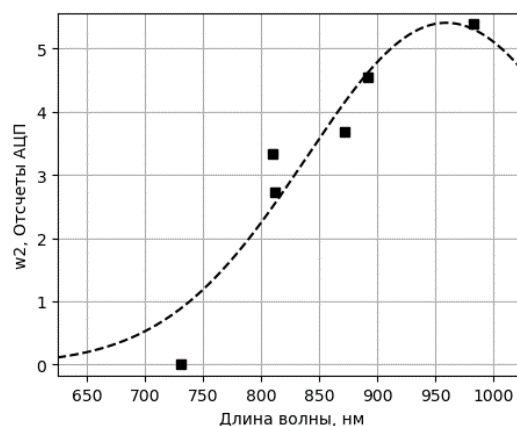


Рисунок 2 – Аппроксимации параметров w_2 и R

Учет уровня рассеянного излучения, неопределенности калибровки по длинам волн и нелинейности отклика детектора по уровню сигнала представляется логичным продолжением данной работы и планируется в будущем.

Литература

1. Алгоритм коррекции дифракции второго порядка в спектрометре с вогнутой дифракционной решеткой / С.И. Бручковская [и др.] // Журн. приклад. спектроскопии. – 2019. – Т. 86, № 4. – С. 620–627.
2. Монохроматический протяженный источник для алгоритма математической коррекции дифракции второго порядка / С.И. Бручковская [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса : сборник тезисов докладов 16 Всероссийской откр. конф. : конференции. – Москва, ИКИ РАН, 2018.
3. Калибровочные лампы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.newport.com/f/pencil-style-calibration-lamps>. – Дата доступа: 01.10.2021.