

Здесь $Q_j, \bar{Q}$ определены для уровней энергии, полученных с применением ослабителей № 1, 2. В качестве σ_Q принимают наибольшее значение, найденное при работе с обоими ослабителями.

Значение θ_Q рассчитывают как

$$\theta_Q = \left| \left(\bar{\alpha}_i^1 - \bar{\alpha}_i^2 \right) / \left(2\bar{\alpha}_i \right) \right| 100.$$

Заметим, что $\sigma_{вз}, \theta_v, \theta_t, \theta_{вз}$ определяют экспериментально для конкретного типа СИПЭХ.

Таким образом, был проведен анализ основных составляющих погрешности при метрологической аттестации СИПЭХ с помощью равномерного поля распределения энергии излучения. Применение в оптической схеме гомогенизатора, обеспечивающего формирование равномерного калибровочного сигнала для всей приемной поверхности матрицы, по-

зволяет достичь необходимого уровня точности измерений, достаточной эффективности проведения аттестационных работ, а также рационального использования ресурса работы импульсного лазера, используемого при калибровке.

Л и т е р а т у р а

1. **ИСО 11252—2004.** Лазеры и относящиеся к лазерам оборудование. Лазерные устройства. Требования к документации.

2. **Улановский М. В.** Высокоточные измерения пространственно-энергетических характеристик импульсного лазерного излучения с помощью фотоэлектрических матричных преобразователей: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. М., 1989.

Дата принятия 01.03.2012 г.

528.8.535.243:53.089.5

Оптимизация и варианты реализации метода комбинированной параметрической спектроскопии при исследовании атмосферы

Х. Г. АСАДОВ, Л. Ш. ГОДЖАЕВА

Национальное аэрокосмическое агентство, Баку, Азербайджан, e-mail: asadzade@rambler.ru

Предложен метод комбинированной спектроскопии. Сформулирована и доказана базовая теорема, показывающая экстремальный характер спектрального сигнала, вырабатываемого на выходе дистанционных зондирующих устройств, в которых реализован метод. Рассмотрены варианты применения предлагаемого метода в атмосферной спектроскопии.

Ключевые слова: спектроскопия, дистанционное зондирование, атмосфера.

The method of combined spectroscopy is suggested. The basic theorem showing the extremal character of spectral signal produced at the output of remote sensing devices is formulated and proved. The variants of suggested method usage in atmospheric spectroscopy are considered.

Key words: spectroscopy, remote sensing, atmosphere.

Общеизвестна важная роль спектроскопии в дистанционном зондировании при атмосферных исследованиях. В зависимости от типа системы или прибора зондирования используются спектры отражения, поглощения, эмиссии, в частности люминесценции, и др. Одна из особенностей техники и сигналов атмосферной спектроскопии заключается в почти постоянном присутствии эффекта фильтрации высокочастотных составляющих спектра из-за инерционности как среды распространения сигналов, так и приемной аппаратуры. В основном по этой причине был разработан и успешно реализован метод производной спектроскопии, позволяющий четко различать мелкие детали в исследуемом спектре. Ниже предлагается метод комбинированной пара-

метрической атмосферной спектроскопии, который базируется на использовании в спектральном анализе взвешенной суммы основного спектра и ее производных.

Далее будем рассматривать только функционалы вида

$$F_k(\lambda, p_1, p_2) = \alpha_1 F(\lambda, p_1, p_2) + \alpha_2 F'_p(\lambda, p_1, p_2), \quad (1)$$

где a_i ($i = 1, 2$) — весовые коэффициенты; p_j ($j = 1, 2$) — параметры преобразования; λ — длина волны; $F'_p(\lambda, p_1, p_2) = dF(\lambda, p_1, p_2)/dp_1$.

Докажем базовую теорему смешанной параметрической спектроскопии.

Теорема. Функционал (1) комбинированной параметрической спектроскопии имеет экстремум в виде минимума по параметру p_2 , где точка экстремума определяется решением уравнения

$$\alpha_1 F'_{p_2}(\lambda, p_1, p_2) + \alpha_2 d(F'_{p_1}(\lambda, p_1, p_2))/dp_2 = 0$$

при выборе весовых коэффициентов

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1; \alpha_1, \alpha_2 > 0.$$

Доказательство. Рассмотрим конкретный случай атмосферной абсорбционной спектроскопии, базирующийся на законе Бугера — Бера [1]:

$$F(\beta(\lambda), m) = S(\lambda) e^{-\beta(\lambda)m}, \quad (2)$$

где $F(\beta(\lambda), m)$ — сигнал на входе наземного фотометра; $\beta(\lambda)$ — оптическая толщина атмосферы; m — оптическая воздушная масса, зависящая от угловой высоты Солнца [1]; $S(\lambda)$ — исходный сигнал излучения.

Далее рассмотрим два случая, когда параметры p_1, p_2 определяются следующим образом:

$$1) p_1 = \beta(\lambda); p_2 = m;$$

$$2) p_1 = m; p_2 = \beta(\lambda).$$

Подробно остановимся на первом случае. Функционал комбинированной параметрической спектроскопии имеет вид

$$F_k(\lambda, \beta, m) = \alpha_1 F(\lambda, \beta, m) + \alpha_2 F'_\beta(\lambda, \beta, m); \quad (3)$$

$$F'_\beta = dF(\lambda, \beta, m)/d\beta.$$

С учетом (2), (3) получаем условие наличия экстремума (3) по параметру m :

$$\begin{aligned} dF_k(\lambda, p, m)/dm &= -\beta\alpha_1 S(\lambda) e^{-\beta m} - \\ &- (1 - \alpha_1) S(\lambda) (e^{-\beta m} - m\beta e^{-\beta m}) = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

После упрощений (4) имеем уравнение выбора параметров

$$-\beta\alpha_1 - 1 + m\beta + \alpha_1 - \alpha_1 m\beta = 0. \quad (5)$$

Преобразуем (5) к виду

$$(1 - \alpha_1)(m\beta - 1) = \beta\alpha_1. \quad (6)$$

Из (6) следует, что, задав α_1 , можно найти зависимость $\beta(m)$, обеспечивающую достижение экстремума. Например, при $\alpha = 0,5$ эта зависимость будет

$$\beta = 1/(m - 1). \quad (7)$$

Таким образом, при $\alpha = 0,5$ выбор значений β и m по выражению (7) приводит к экстремальной величине F_k . Чтобы выяснить, является ли найденный экстремум максимумом или минимумом, достаточно вычислить вторую производную (3) по параметру m и проверить ее знак с учетом (6) при ограничении $\alpha_1 < 1$.

Имеем

$$\begin{aligned} d^2 F_k(\lambda, \beta, m)/d^2 m &= \beta^2 \alpha_1 S(\lambda) e^{-\beta m} + \\ &+ S(\lambda) \beta e^{-\beta m} (1 - \alpha_1) (2 - m\beta). \end{aligned} \quad (8)$$

Нетрудно показать, что (8) с учетом условия (6) приобретает положительное значение при $\alpha \leq 1$. Следовательно, (3) достигает минимального значения в вычисленной точке экстремума.

Рассмотрим указанный выше второй случай. Из-за симметричности (2) по β, m рассуждения аналогичны приведенным для первого случая. Во втором случае функционал комбинированной параметрической спектроскопии определяется как

$$F_k = \alpha_1 F(\lambda, \beta, m) + (1 - \alpha_1) F'_m(\lambda, \beta, m). \quad (9)$$

С учетом (2) условие вычисления экстремума (9) имеет вид

$$dF_k/d\beta = \alpha_1 S e^{-\beta m} - (1 - \alpha_1) \beta S e^{-\beta m} = 0. \quad (10)$$

Из (10) легко получить выражения, аналогичные (5) — (7).

Также как в первом случае, можно найти вторую производную (9) по параметру β и показать, что она тоже приобретает положительное значение. Следовательно, и во втором рассматриваемом случае комбинированный функционал смешанной параметрической спектроскопии имеет экстремум в виде минимума. Таким образом, теорему можно считать доказанной для случая атмосферной абсорбционной спектроскопии.

В итоге показано, что предлагаемый метод комбинированной спектроскопии предусматривает экстремальный характер вырабатываемого спектрального сигнала. Это свойство комбинированной параметрической спектроскопии может быть использовано для построения адаптивных спектрометров, в которых при получении слишком больших спектральных сигналов осуществлялось бы уменьшение масштаба выходного сигнала устройства, что достаточно актуально для предотвращения эффектов насыщения в высокочувствительных спектральных анализаторах. При этом очевидно, что также адаптивно будет снижаться чувствительность спектрометра.

Заключение. Предложен метод комбинированной параметрической спектроскопии. Сформулирована и доказана базовая теорема, показывающая экстремальный характер спектрального сигнала вырабатываемого на выходе подобных спектральных устройств. Рассмотрены варианты применения метода в атмосферной спектроскопии.

Л и т е р а т у р а

1. Гуцин Г. П., Виноградова Н. Н. Суммарный озон в атмосфере. Л. Гидрометеиздат, 1983.

Дата принятия 06.12.2011 г.