535.242.2.004.13

Сравнительный метод калибровки солнечных фотометров в ультрафиолетовом диапазоне

Х. Г. АСАДОВ, Р. Т. РАДЖАБЛИ

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

Рассмотрены методы калибровки солнечных фотометров в ультрафиолетовом диапазоне. Предложен многоволновый метод относительной калибровки солнечных фотометров, реализующих двухволновый принцип работы. Показано, что в этом методе мультипликативная погрешность может быть полностью устранена.

Ключевые слова: *солнечный фотометр, калибровка, метод диаграмм Ленгли.*

The methods of Sun photometers calibration in the UV range are considered. The multiwave method of Sun photometers' relative calibration implementing the two-wave operating principle is suggested. It is shown, that the multiplicative error in the suggested method could by fully removed.

Key words: *sun photometers, calibration, Langley diagrams method.*

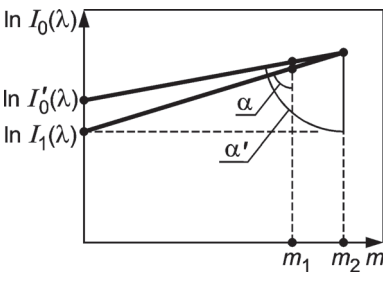
Роль солнечных фотометров в исследовании атмосферы общеизвестна. При помощи таких фотометров измеряют параметры некоторых так называемых малых газов атмосферы, аэрозоля, радиационные показатели Солнца и другие величины. Очевидно, что, как и всякий измерительный инструмент, солнечный фотометр должен быть откалиброван, чтобы измерительную информацию, выдаваемую этим прибором, можно было рассматривать в качестве достоверной. Кроме того, методы калибровки должны соответствовать характеристикам измеряемых величин и методу измерений. На практике применительно к солнечным фотометрам это положение означает, что если фотометр будет использован в режиме одноволновых измерений, то должен быть применен метод одноволновой калибровки, и соответственно — для режима многоволновых измерений необходим многоволновый метод калибровки. Ниже кратко рассмотрим существующие одноволновые методы калибровки и предложим новый многоволновый метод.

Прежде всего, напомним суть метода диаграмм Ленгли — базового для одноволновой калибровки [1]. Он основывается на законе Бугера—Бэра, который применительно к ультрафиолетовому (УФ) диапазону имеет вид

$$I_1(\lambda) = I_0(\lambda)\mathrm{e}^{-m\left(\tau_{\text{оз}}+\tau_{\text{р}}+\tau_{\text{a}}\right)}, \qquad (1)$$

где $I_1(\lambda)$ — интенсивность солнечной радиации на входе фотометра; $I_0(\lambda)$ — солнечная постоянная на длине волны λ; m — оптическая воздушная масса; $\tau_{\text{оз}}$, $\tau_{\text{р}}$, τ_{a} — оптические толщины слоев озона, релеевского рассеяния и аэрозоля, соответственно.

Чтобы получить математическое выражение метода Ленгли, (1) выразим как:



Построение диаграмм Ленгли

$$\ln I_0(\lambda) = \ln I_1(\lambda) + m\tau_{\text{атм}}, \qquad (2)$$

где $\tau_{\text{атм}}$ — оптическая толщина атмосферы, $\tau_{\text{атм}} = \tau_{\text{оз}} + \tau_{\text{р}} + \tau_{\text{a}}$.

Процедура построения диаграмм Ленгли сводится к изображению графиков зависимости правой части выражения (2) от оптической воздушной массы m (см. рисунок). Очевидно, что ctg $\alpha = \tau_{\text{атм}}$, следовательно, наклон диаграммы Ленгли определяется оптической толщиной атмосферы, которая существенно нестабильна. Поэтому калибровка по методу Ленгли не является достаточно точной. В [2] был предложен другой метод, позволивший несколько улучшить точностные показатели калибровки в одноволновом режиме функционирования фотометра.

Однако можно с уверенностью сказать, что современные атмосферные исследования в основном базируются на многоволновых методах, классическими примерами которых являются двух- и четырехволновые методы измерения озона, предложенные Добсоном в начале прошлого столетия. Поэтому, на взгляд автора, актуальной является разработка не только одноволновых, но и многоволновых методов калибровки солнечных фотометров. Ниже предлагается метод многоволновой относительной калибровки солнечных фотометров в УФ-диапазоне, основу которого составляют следующие положения:

для каждой длины волны λ_1 можно найти такую длину волны λ_2, для которой выполняется равенство

$$\tau(\lambda_2) = x\tau(\lambda_1), \qquad (3)$$

откуда

$$x = \tau(\lambda_2) / \tau(\lambda_1), \qquad (4)$$

где x — заданная положительная величина; $\tau(\lambda_1)$, $\tau(\lambda_2)$ — оптические толщины атмосферы соответственно на длинах волн λ_1, λ_2;

в случае выполнения условия (1) справедливо отношение

$$CI_{1\text{ф}}(\lambda_2)/C^x I_{1\text{ф}}^x(\lambda_1) = I_1(\lambda_2)/ I_1^x(\lambda_1) = I_0(\lambda_2)/ I_0^x(\lambda_1), \qquad (5)$$

где C — коэффициент калибровки; $I_{1\text{ф}}(\lambda_1)$, $I_{1\text{ф}}(\lambda_2)$ — показания фотометра на длинах волн λ_1, λ_2. Отметим, что условие (4) с учетом (3) легко можно получить из (1).

Следовательно, для двухволновых атмосферных измерений, проводимых для двух длин волн λ_1 и λ_2, относитель-

ная калибровка двухволнового фотометра может быть проведена по (5). Для примера рассмотрим процедуру калибровки такого прибора, осуществляющего фотометрические измерения на длинах волн λ_1 и λ_2. Для вычисления параметра x по (4) по процедуре Ленгли [1] определим $\tau(\lambda_2)$ и $\tau(\lambda_1)$. Далее из (5) найдем

$$C_1^{x-1} = \frac{I_0^x(\lambda_1) I_{1\phi}(\lambda_2)}{I_0(\lambda_2) I_{1\phi}^x(\lambda_1)}, \quad C_1 = \sqrt[x-1]{\frac{I_0^x(\lambda_1) I_{1\phi}(\lambda_2)}{I_0(\lambda_2) I_{1\phi}^x(\lambda_1)}}.$$

Покажем, что предлагаемый сравнительный метод калибровки обладает существенно более высокой точностью по сравнению с методом диаграмм Ленгли. Предположим, что при реализации метода Ленгли из-за нестабильности атмосферных условий допущена погрешность Δ измерения в точке m_1 и, как результат, при экстраполяции m до нулевого значения получим

$$\Delta = \ln I_1'(\lambda) - \ln I_1(\lambda) = m_1 \operatorname{ctg}\alpha - m_2 \operatorname{ctg}\alpha'. \qquad (6)$$

Согласно (6) для уменьшения Δ до нуля необходимо выполнение условий $m_1 = m_2$, $\operatorname{ctg}\alpha = \operatorname{ctg}\alpha'$, что невозможно.

В предложенном методе, как следует из (3), мультипликативные погрешности определения $\tau(\lambda_2)$ и $\tau(\lambda_1)$ полностью компенсируются. Так, если значение $\tau(\lambda_2)$ определено с мультипликативной погрешностью $k(\lambda_2)$, а $\tau(\lambda_1)$ — с мультипликативной погрешностью $k(\lambda_1)$, то x выражается как

$$x = k(\lambda_2)\tau(\lambda_2)/[k(\lambda_1)\tau(\lambda_1)].$$

При этом устранение мультипликативной погрешности, т. е. достижение условия $k(\lambda_2) = k(\lambda_1)$, вполне реально, если измерения на близких длинах волн λ_1 и λ_2 осуществляются параллельно. Итак, в предложенном методе относительной калибровки происходит почти полная компенсация мультипликативной погрешности, что недостижимо в методе диаграмм Ленгли.

Таким образом, проведенное исследование показало, что используемый метод калибровки солнечных фотометров должен соответствовать методу измерений, используемому в калибруемом приборе. Предложен двухволновый метод относительной калибровки солнечных фотометров, реализующих двухволновый метод измерений, при котором мультипликативная погрешность может быть полностью устранена.

Литература

1. **Langlay** analyses. [Электрон. ресурс]. http://www.agu.org/pubs/toc/g1/g1/g1 19911/1999GL900267/nde3.html (дата обращения: 13.10.2011 г.).

2. **Asadov H. H., Chobanzadeh I. G.** New method for calibration of Sun photometers // Chinese Opt. Lett. 2009. V. 7. N 9. P. 760—763.

Дата принятия 13.12.2011 г.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

625.1:656.2

Моделирование виртуальных эталонов вибрации дефектных подшипниковых узлов

В. Ю. ТЭТТЭР, Е. Н. СИДОРОВ, Е. А. СИДОРОВА

ООО «Резерв», Омск, Россия, e-mail: tetterv@mail.ru

Предлагается новый класс тестовых сигналов вибрации — виртуальные эталоны дефектных подшипников. Описаны возможные способы реализации таких сигналов. Обосновано получение тестовых сигналов вибрации путем восстановления временного сигнала из трех видов спектров. Приведены результаты математического моделирования.

Ключевые слова: *вибродиагностика, виртуальный эталон, моделирование, временной сигнал, спектр, дефект, восстановление.*

It is proposed to introduce the use of a new class of test vibration signals — the virtual standards of defective bearings. The possible ways of such signals realization are described. A method of receiving the vibration test signal by recovery of time signal from three kinds of spectra. The results of mathematical modelling are presented.

Key words: *vibration diagnostics, virtual standard, modelling, bearings, time signal, spectrum, defect, recovery.*

Сигналы вибрации от вращающихся механических узлов, в частности, подшипников качения, являются источником информации об их техническом состоянии. Современное вибродиагностическое оборудование (ВДО) на основе анализа этих сигналов позволяет определять техническое состояние роторных механических узлов. При этом для диагностики можно иметь как временной сигнал, так и спектральную область. Во многих отраслях промышленности и транспорта ВДО стало неотъемлемой частью технологических процессов производства, ремонта и эксплуатации. В частности, на железных дорогах России наибольшее распространение получили около пяти типов ВДО. Такое оборудование явля-