

НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА ВЫСОКОТОЧНЫХ ФОТОМЕТРОВ ДЛЯ АТМОСФЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Х.Г. Асадов, Н.М. Сулейманов, Э.А. Ибрагимов

*Институт Аэрокосмической Информатики
Национального Аэрокосмического Агентства*

В статье предлагается новый метод синтеза трехволновых скорректированных фотометров для атмосферных измерений. Показан, что путем соответствующего подбора корректирующих коэффициентов могут быть синтезированы фотометрические измерители различных параметров атмосферы.

Ключевые слова: фотометр; атмосфера; синтез; многоволновые измерения.

NEW METHOD SYNTHESIS OF HIGH-ACCURACY PHOTOMETERS FOR ATMOSPHERIC RESEARCHES

H.H. Asadov, N.M. Suleymanov, E.A. Ibrahimov

In the article the new method for synthesis of three-wavelength corrected photometers designated for atmospheric measurements have been suggested. It is shown, that the proper selection of correcting coefficients may lead to synthesis of photometers for measuring of various parameters of atmosphere.

Key words: photometer; atmosphere; synthesis; multi-wavelength measurements.

Атмосферные измерения являются важнейшей областью физико-технических измерений осуществляемых в общих целях развития науки и техники. При этом атмосферные измерения имеют двойное предназначение. Целью таких измерений может быть изучение каких-либо физических процессов протекающих в атмосфере. Однако, роль атмосферы в качестве глобальной среды прохождения сигналов космического зондирования как бы многократно повышает важность атмосферных исследований и в этом плане изучение атмосферы требует создания все новых технических средств, позволяющих более точно исследовать физические процессы протекающие в атмосфере.

В атмосферной фотометрии широкое применение нашли двух и многоволновые

методы спектральных измерений. Например, двухволновый метод Добсона и его различные модификации до сих пор широко используется озонометристами всего мира для измерения общего содержания озона в атмосфере. Многоволновые методы атмосферных измерений особенно стали развиваться после появления технологии дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии, базирующийся на новейших достижениях микро — и оптоэлектроники.

Однако, в методологическом плане, принцип выборочной модуляции амплитуды сигнала на отдельных длинах волн впервые был предложен и использован в работах [1, 2]. В этих работах также впервые была предложена функция промежуточного преобразования в виде $z = f(I_1, I_2, I_3)$, где конкретный

вид функции f позволяет осуществить компенсацию ряда мешающих факторов, таких как аэрозоль, релеевское рассеяние и т.д. Например, использованная в [1] функция промежуточного преобразования в виде

$$z = \frac{\sqrt[k]{I(\lambda_1) \cdot I(\lambda_3)}}{I(\lambda_2)} \quad (1)$$

позволила осуществить частичную взаимную компенсацию таких факторов как аэрозоль и релеевское рассеяние. Отметим, что $I(\lambda_i)$ — фигурирующая в формуле (1) является интенсивностью солнечного излучения на входе фотометра на длине волны λ_i , определяемой как

$$I(\lambda_i) = I_0(\lambda_i) e^{-m \tau_{атм}(\lambda_i)} \quad (2)$$

где $I_0(\lambda_i)$ — значение солнечной постоянной на длине волны λ_i ; m — воздушная масса; $\tau_{атм}(\lambda_i)$ — оптическая плотность атмосферы на длине волны λ_i . В дальнейшем метод выборочной модуляции амплитуды сигнала был развит в работе [3], где было предложено использовать функцию промежуточного преобразования в виде

$$z = \frac{I(\lambda_1)^{k_1} \cdot I(\lambda_3)^{k_3}}{I(\lambda_2)^{k_2}} \quad (3)$$

Многopараметрическая коррекция на базе уравнения (3) позволила осуществить полную раздельную статистическую коррекцию мелкодисперсной и крупнодисперсной составляющих атмосферы. Так, исходно приняв $k_2=1$;

$$\tau_{атм}(\lambda_i) = \tau_{аэп}(\lambda_i); \tau_{аэп}(\lambda_i) = \tau_{f аэп}(\lambda_i) + \tau_{с аэп}(\lambda_i) \quad (4)$$

где $\tau_{аэп}(\lambda_i)$ — оптическая плотность аэрозоля на длине волны λ_i ; $\tau_{аэп}(\lambda_i)$ — оптическая плотность мелкодисперсного аэрозоля; $\tau_{с аэп}$

(λ_i) — оптическая плотность крупнодисперсного аэрозоля, а также учитывая известные эмпирические уравнения Ангстрема

$$\tau_{f аэп}(\lambda_i) = \beta_f \lambda^{-\alpha_f} \quad (5)$$

$$\tau_{с аэп}(\lambda_i) = \beta_c \lambda^{-\alpha_c} \quad (6)$$

где

$$\beta_f = \tau_{f аэп}(\lambda=1 \text{ мкм}); \beta_c = \tau_{с аэп}(\lambda=1 \text{ мкм}); \alpha_f$$

и α_c — показатели Ангстрема для мелкодисперсного и крупнодисперсного составляющих, с учетом выражений (2) — (6) можно получить следующую систему уравнений решение которой позволяет осуществить полную раздельную компенсацию τ_c и τ_f

$$\begin{aligned} k_1 \tau_{f аэп}(\lambda_1) + k_3 \tau_{f аэп}(\lambda_3) &= \tau_{f аэп}(\lambda_2) \\ k_1 \tau_{с аэп}(\lambda_1) + k_3 \tau_{с аэп}(\lambda_3) &= \tau_{с аэп}(\lambda_2) \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, предложенная в работе (3) трехволновый метод с двухпараметрической коррекцией позволяет фактически устранить влияние аэрозоля на результат атмосферных измерений газов.

Однако, как показал проведенный анализ предложенной ранее принцип выборочной модуляции амплитуды сигнала на отдельных длинах волн далеко не исчерпал свои возможности и после некоторой модификации может быть использован также для измерения отдельных дисперсионных составляющих аэрозоля атмосферы.

Далее в настоящей статье мы проанализируем порядок модификации алгоритма работы трехволнового измерителя с двухпараметрической коррекцией и покажем пути реализации предлагаемого метода измерений. Для удобства дальнейшего анализа на рис. 1 представлена блок-схема алгоритма построения трехволнового фо-

тометра с двухпараметрической коррекцией. В принципе, представленный на рис. 1 алгоритм работы трехволнового фотометра с двухпараметрической коррекцией полностью соответствует вышеописанному принципу работы устройства и предлагаемая модификация этого алгоритма заключается в изменении сути операций, выполняемых во 2-м блоке алгоритма. Если в рассматриваемом случае, например, ставится задача синтезировать фотометр измеряющий параметр $\tau_{f\text{аэп}}(\lambda_2)$ то система уравнений (7) принимает следующий вид

$$\begin{aligned} k_{1f} \tau_{f\text{аэп}}(\lambda_1) + k_{3f} \tau_{f\text{аэп}}(\lambda_3) &= 2 \tau_{f\text{аэп}}(\lambda_2) \\ k_{1f} \tau_{c\text{аэп}}(\lambda_1) + k_{3f} \tau_{c\text{аэп}}(\lambda_3) &= \tau_{c\text{аэп}}(\lambda_2) \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, если вычислить коэффициенты k_1 и k_3 путем решения системы (8), то используя выражения (2), (3), (8) можно получить следующее выражение для вычисления z (при $k_2=1$)

$$z = \frac{I_0^{k_{1f}}(\lambda_1) \cdot I_0^{k_{3f}}(\lambda_3)}{I_0(\lambda_2) e^{-m \tau_{f\text{аэп}}(\lambda_2)}} \quad (9)$$

Из выражения (9) имеем

$$\tau_{f\text{аэп}}(\lambda_2) = \frac{1}{m} \ln \frac{I_0^{k_{1f}}(\lambda_1) \cdot I_0^{k_{3f}}(\lambda_3)}{z \cdot I_0(\lambda_2)} \quad (10)$$

Очевидно, что аналогичное выражение может быть получено и для $\tau_{c\text{аэп}}(\lambda_2)$. Для этого коэффициенты k_{1c} и k_{3c} должны быть вычислены путем решения нижеуказанной системы уравнений

$$\begin{aligned} k_{1c} \tau_{f\text{аэп}}(\lambda_1) + k_{3c} \tau_{f\text{аэп}}(\lambda_3) &= \tau_{f\text{аэп}}(\lambda_2) \\ k_{1c} \tau_{c\text{аэп}}(\lambda_1) + k_{3c} \tau_{c\text{аэп}}(\lambda_3) &= 2 \tau_{c\text{аэп}}(\lambda_2) \end{aligned} \quad (11)$$

Решение (11) позволяет получить следующее выражение аналогичное выражению (10)

$$\tau_{c\text{аэп}}(\lambda_2) = \frac{1}{m} \ln \frac{I_0^{k_{1c}}(\lambda_1) \cdot I_0^{k_{3c}}(\lambda_3)}{z \cdot I_0(\lambda_2)} \quad (12)$$

Для реализации предложенного метода синтеза многоволновых скорректированных измерителей следует отметить, что с учетом выражений (5) и (6) система (8) может быть выражена в следующем виде

$$\begin{aligned} k_{1f} \lambda_1^{-\alpha_f} + k_{1f} \lambda_3^{-\alpha_f} &= 2 \lambda_2^{-\alpha_f} \\ k_{1f} \lambda_1^{-\alpha_c} + k_{1f} \lambda_3^{-\alpha_c} &= \lambda_2^{-\alpha_c} \end{aligned} \quad (13)$$

На основе вышеизложенного можно предложить идею построения универсального трехволнового фотометра с двухпараметрической коррекцией с переменными коэффициентами коррекции, работающего в следующих режимах:

1. Режим измерения малых газовых составляющих атмосферы с полной отдельной компенсацией дисперсионных составляющих атмосферы, где коэффициенты k_1, k_3 вычисляются на основе решения системы уравнений (7).

2. Режим измерения дисперсионных составляющих аэрозоля атмосферы, где коэффициенты k_1 и k_3 вычисляются на основе решения системы (8) или (12).

Такой универсальный скомпенсированный фотометр может быть реализован на основе алгоритма представленного на рис. 2.

В заключение отметим, что возможны различные модификации предложенного метода синтеза фотометров. Например в целях компенсации мешающих факторов можно использовать способ изменения длины волны λ_2 , как это было указано в [2]. Очевидно, что в любом случае выбор тех или иных методов преобразования сигналов должен

быть осуществлен по критерию обеспечения точности и надежности полученных результатов.

Список литературы

1. Asadov H.H., Isayev A.A. Three waves methods for measurements of total content of ozone. Full Compensation of measurements error. Proceedings of the XX Quadrennial Ozone Symposium. 1-8 June, 2004, Kos, Greece, v.1, p. 477-485.

2. Асадов Х.Г., Исаев А.А. Общая теория трехволновых озонметрических измерений // Измерительная техника, 2005, № 8, с. 66-68.

3. Асадов Х.Г., Сулейманов Ш.Т. Синтез трехволновых скорректированных измерителей малых компонент атмосферы в ультрафиолетовом диапазоне // Метрология, 2007, № 9, с. 3-7.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма работы трехволнового фотометра

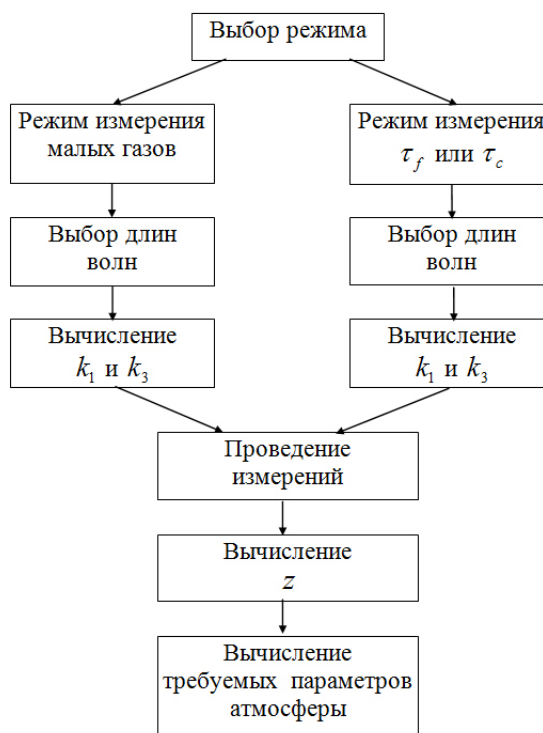


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы универсального трехволнового фотометра