



УДК 551.521

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МУТНОСТИ АТМОСФЕРЫ ЛИНКЕ С ПОМОЩЬЮ СОЛНЕЧНО – ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Х.Г. Асадов¹, У.Ф. Маммадова², Р.А. Эминов²¹НИИ Аэрокосмической информатики, г. Баку, Азербайджанская Республика²Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г. Баку, Азербайджанская Республика

Мутность атмосферы является одним из важнейших понятий метеорологического обеспечения безопасности полетов. Этот показатель является количественной оценкой ослабления солнечной радиации в основном атмосферным аэрозолем и водяными парами. Воздействие атмосферного аэрозоля на оптические лучи в общем случае зависит от количества, вида аэрозоля, его распределения по размерам, а также от атмосферных водяных паров. Одним из широко используемых оценок мутности атмосферы является коэффициент мутности Линке. Этот показатель мутности количественно определяется тем числом чистых и сухих атмосфер, последовательное включение которых дает ослабление солнечных лучей, равное ослаблению реально существующей атмосферы. Этот коэффициент количественно равен ослаблению солнечных лучей атмосферным аэрозолем и водяным парами во всем спектральном диапазоне. Статья посвящена исследованию возможности определения коэффициента мутности атмосферы Линке методом солнечно-фотометрических измерений. Предложен метод определения коэффициента мутности атмосферы Линке предусматривающий использование известной аналитической модели, определяющей взаимосвязь коэффициента мутности Ангстрема и коэффициента мутности Линке. Для практического использования этой модели необходимо наличие данных о суммарной осаждаемой величине водяных паров, для определения которого предлагается двухволновый метод измерений на длинах волн $\lambda_1=0,82\text{мкм}$ и $\lambda_2=0,94\text{мкм}$. Предлагается проведение суммарно – синхронной калибровки указанных двух каналов фотометрических измерений. Такой метод совместной калибровки позволяет исключить погрешность, возникающую из – за изменения атмосферной обстановки в промежутке времени между моментами при обычной раздельной калибровке каналов на длинах волн λ_1 и λ_2 , а также уменьшить суммарный случайный шумовой сигнал двух синхронно и совместно калибруемых каналов по сравнению с раздельной калибровкой. Точная калибровка измерительных каналов в свою очередь позволяет повысить точность определения значения коэффициента мутности Линке.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МУТНОСТЬ, СОЛНЕЧНЫЙ ФОТОМЕТР, ПОГРЕШНОСТЬ, ИЗМЕРЕНИЯ, КАЛИБРОВКА, ВОДЯНЫЕ ПАРЫ.

DOI: 10.54252/2304-7380_2021_29_18

1. ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известно, что солнечная радиация проходя через атмосферу подвергается ослаблению по причине рассеяния аэрозолем и поглощению такими газами как озон, CO_2 , кислород, а также водяными парами. При этом, некоторые из этих факторов являются постоянными, а некоторые изменяются во времени различными образом в зависимости от географического расположения.

Для оценки ослабления солнечной радиации атмосферным аэрозолем используется такое понятие как мутность атмосферы. Воздействие атмосферного аэрозоля на оптические лучи в общем случае зависит от количества, вида аэрозоля, его распределения по размерам, а также от атмосферных

водяных паров. Для количественной оценки мутности атмосферы используются следующие коэффициенты мутности:

1. Коэффициент мутности Линке (T_L);
2. Коэффициент мутности Ангстрема (β);
3. Коэффициент мутности Шуппа (B).

Коэффициент мутности Линке [1] количественно определяется тем числом чистых и сухих атмосфер, последовательное включение которых дало бы ослабление солнечных лучей, равное ослаблению реальной атмосферы. T_L равно ослаблению солнечных лучей атмосферным аэрозолем и водяным и парами во всем спектральном диапазоне.

Коэффициент мутности Ангстрема определяет количество аэрозоля в вертикальной колонне в атмосфере и вычисляется по формуле [2], [3]:

$$\tau_a = \beta \cdot \lambda^{-\alpha} \quad (1)$$

где β – коэффициент аэрозольной мутности Ангстрема; определяющий количество аэрозоля в воздухе;

τ_a – оптическая толщина, учитывающая рассеяние радиации аэрозолем;

λ – длина волны в микрометрах;

α – показатель, характеризующий распределение аэрозоля по размерам.

Как видно из формулы (1) для определения величины β достаточно провести измерение величины τ_a на длине волны $\lambda=1\text{мкм}$.

Коэффициент мутности Шуппе [3] определяется путем измерения прямой солнечной радиации на длине волны 500нм [4]. Этот коэффициент связан с коэффициентом мутности Ангстрема следующим соотношением:

$$B = \beta \cdot 2^\alpha \log e \quad (2)$$

Коэффициент мутности Линке T_L определяется по формуле

$$D(T_L) = I_0 \cdot \exp(-\delta \cdot T_L \cdot m) \quad (3)$$

где $D(T_L)$ – количество наблюдаемой радиации при отсутствии облаков;

I_0 – внеатмосферная радиация, скорректированная с учетом расстояния Земля – Солнце;

δ – оптическая толщина сухой и чистой атмосферы; m – оптическая воздушная масса.

При этом, согласно [5], T_L зависит от m . Следует отметить, что для метеобеспечения полетов, и в особенности ночных полетов, коэффициент мутности Линке является наиболее информативным параметром, так как только этот показатель учитывает влияние водяных паров, значительно ухудшающих качество ночного видения, обеспечиваемого специальной аппаратурой.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОД

Рассмотрим модельные исследования по определению взаимосвязи между показателями β и T_L .

Следует отметить, что наличие определенной корреляционной связи между β и T_L подтверждается многими исследованиями (например, см. [6,7]).

Так согласно [6], указанная корреляционная связь линейная, в виде

$$\beta = a_1 + a_2 T_L \quad (4)$$

где a_1 , a_2 зависят от климатических особенностей рассматриваемого района.

Как показывают исследования проведенные в [7], суточное изменение значения T_L почти повторяет аналогичную зависимость β . На рис.1 приведены графики суточного изменения значения T_L в разных месяцах.

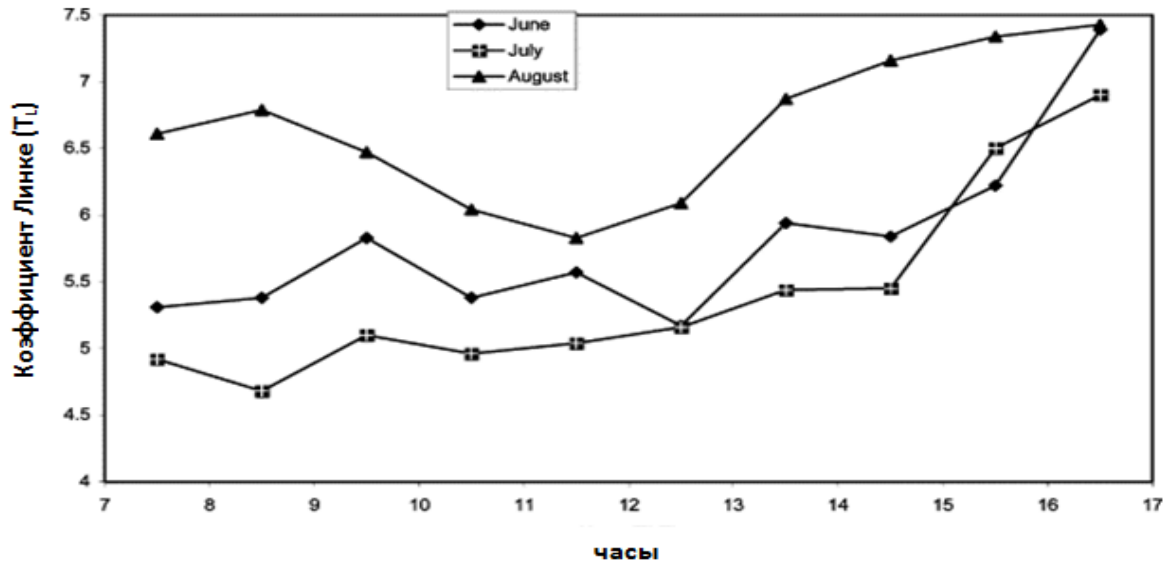


Рис. 1. Суточные изменения T_L в разных месяцах года. Как видно из приведенных графиков в промежутках $8^{00} \div 10^{00}$ и $15^{00} \div 17^{00}$ наблюдается рост T_L [7].

Между β и T_L существует следующая модельная аналитическая зависимость:

$$\beta = \frac{T_L - \left[\frac{h + 85}{39.5 \cdot \exp(-w_p) + 47.4} + 0.1 \right]}{16 + 0.22w_p} \quad (5)$$

где h – угол подъема Солнца; w_p – общее количество осадков.

Согласно [9], T_L определяется по формуле

$$T_L = (0.9 + 9.4 \cdot \sinh) \cdot \left(2 \ln \left(I_0 \frac{R_0}{R} \right) \right) - \ln I_0 \cdot f(m_0) \quad (6)$$

где $f(m_0)$ – функция зависящая от m_0 , приведенная в [6];

h – угол подъема Солнца;

R – текущая величина расстояния Солнце – Земля;

R_0 – среднее значение R ;

m_0 – оптическая воздушная масса, рассчитываемая при локальном давлении P .

Таким образом, согласно [9], для вычисления T_L должны быть определены такие показатели как h , R_0 , m_0 , P .

Покажем альтернативный путь для вычисления T_L .

Из выражения (5) находим

$$T_L = (16 + 0.22w_p)\beta + \left[\frac{h + 0.85}{39.5 \cdot \exp(-w_p) + 4.74} + 0.1 \right] \quad (7)$$

Таким образом, согласно (7) для вычисления T_L следует определить значения w_p , β и h , т.е. всего три параметра.

Что касается определения значения β , то здесь может быть применен известный метод, отмеченный выше. Определение h также не представляет особого труда и может быть осуществлено с помощью автоматического устройства, следящего за позицией Солнца.

Несколько иначе обстоит дело с определением величины w . Согласно известным моделям Москаленко [10] и Лекнера [11], оптическая толщина водяных паров определяется как

$$\tau_{w,v}(\lambda_i) = a_i (mw_p)^{b_i}; \quad i = \overline{1,2} \quad (8)$$

где a_i зависит от длины волны проводимых измерений (0,82мкм или 0,94мкм), а также от характеристик опто-электронного канала фотометрического устройства. Для определения коэффициентов a_1 и a_2 предлагается следующий метод, алгоритм реализации которого заключается в следующем:

1. Проведение парной одновременной калибровки каналов λ_1 и λ_2 при известной величине w_p .
2. Проведение синхронных измерений оптической толщины водяных паров на длинах волн $\lambda_1=0,82\text{мкм}$ и $\lambda_2=0,94\text{мкм}$.
3. Определения a_1 и a_2 при заданных b_1 и b_2 .
Согласно [9, 10] при $\lambda_1=0,82\text{мкм}$, $b_1=1$; при $\lambda_2=0,94\text{мкм}$, $b_2=0.5$.
С учетом (8) имеем

$$\tau_{w,v}(\lambda_1) = a_1 (mw_p) \quad (9)$$

$$\tau_{w,v}(\lambda_2) = a_2 (mw_p)^{0.5} \quad (10)$$

Из (9) и (10) получим

$$\frac{\tau_{w,v}(\lambda_1)}{\tau_{w,v}(\lambda_2)} = \frac{a_1 \sqrt{m \cdot w_p}}{a_2} \quad (11)$$

Из (9) и (10) также получим

$$\tau_{w,v}(\lambda_2) + \sqrt{\tau_{w,v}(\lambda_1)} = \sqrt{mw_p} (a_2 + \sqrt{a_1}) \quad (12)$$

Считаем, что до проведения текущих измерений были проведены суммарное калибровочные исследования каналов λ_1 и λ_2 при известной величине $w_{p,k}$, определенной эталонным прибором.

Таким образом, из (13) получаем

$$a_2 + \sqrt{a_1} = \frac{\tau_{w,v}(\lambda_2) + \tau_{w,v}(\lambda_1)}{\sqrt{mw_{p,k}}} \quad (13)$$

где $w_{p,k}$ – значение осажденных паров при парной калибровке.

Основное преимущество синхронно – совместной калибровки заключается в отсутствии погрешности из – за изменения w_p в период между временами калибровки первого и второго каналов, а также уменьшение суммарного шума каналов по сравнению с их арифметической суммой.

Таким образом, уравнения (11) и (13) составляют систему уравнений, решение которой позволяет вычислить значения a_1 и a_2 .

Далее используя выражение (8) может быть определено значение (w_p) и далее, по формуле (7) значение T_L . Соответствующий алгоритм реализации метода в виде блок – схемы приведен на рис. 2.

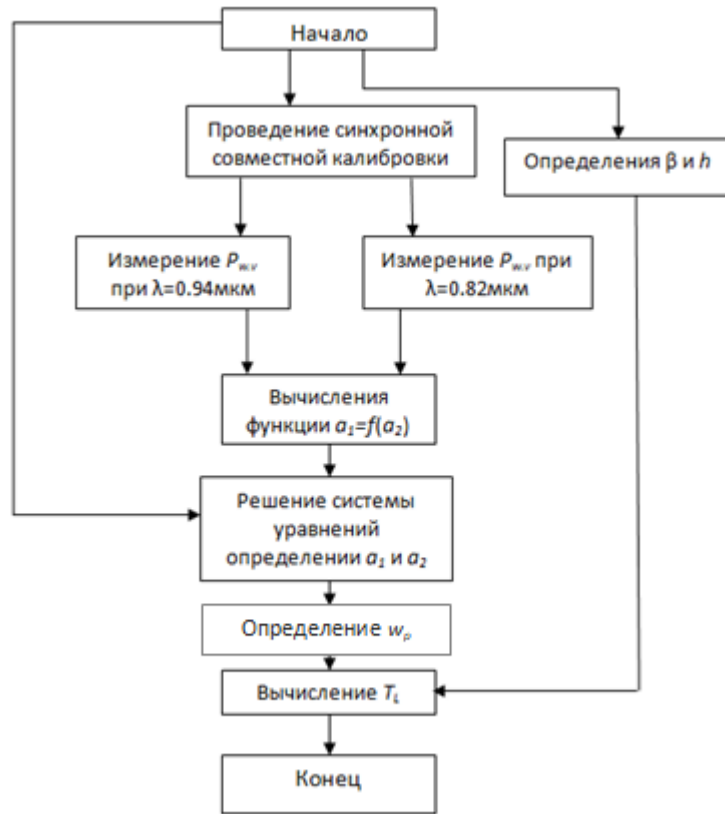


Рис. 2. Блок – схема алгоритма реализации предложенного метода

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложен метод определения коэффициента мутности атмосферы Линке с помощью солнечно – фотометрических измерений. Предусматривается использование в этих целях известной аналитической модели, определяющей взаимосвязь коэффициента мутности Ангстрема и коэффициента мутности Линке. Для практического использования этой модели необходимо наличие данных о суммарной осажденной величине водяных паров, для определения которого предлагается двухволновый метод измерений на длинах волн $\lambda_1=0,82\text{мкм}$ и $\lambda_2=0,94\text{мкм}$ с проведением суммарно – синхронной калибровки каналов. Проведение такой калибровки позволяет исключить погрешность, возникающую из – за изменения атмосферной обстановки в промежутке времени между моментами раздельной калибровки каналов в на длинах волн λ_1 и λ_2 , а также уменьшить суммарный случайный шумовой сигнал двух синхронно и совместно калибруемых каналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Linke F. Transmission – koefizient und trubungsfactor, Beitr// Phys. Atmos. 1992. Vol. 10. Pp. 91-103.
2. Angstrom A. Techniques of determining the turbidity of the atmosphere, Tellus. 1961. Vol. 13. Pp. 214-223.
3. Angstrom A. The parameters of atmospheric turbidity, Tellus. 1964. Vol. 16. Pp. 64-75.
4. Schuepp W. Die bestimmung der komponenten der atmospherischen trubung aus aktinometermesungen// Arc. Meteorol. Geophys; Bioklimatol Ser. B1. 1949. Pp. 257-346.
5. Gueymard C. A. Turbidity determination from broadband irradiance measurements: a detailed multicoefficient approach// J. Appl. Meteorol. Climatol. 1998. Vol. 37. Pp. 414-435.
6. Manolache G., Iorga G., Stefan S. Estimation of Angstrom atmospheric turbidity over Bucharest, Romania// Romanian Reports in Physic. 2019. Vol. 71. Pp. 711.

7. Chaabane M., Masmoudi M., Medhioub K. Determination of Linke turbidity factor from solar radiation measurement in northern Tunisia// Renewable Energy. 2004. Vol. 29. Pp. 2065-2076. www.elsevier.com/locate/renene.
8. Grenier J. C., A de la Casiniera, Cabot T. A spectral model of Linkes turbidity factor and its experimental implications// Solar Energy. Vol. 52. Pp. 303-313.
9. Djafer D., Irbah A. Estimation of Atmospheric turbidity over Chardaig city // Atmos. Res. 2013. Vol. 28. Pp. 76-84.
10. Moskalenko N. The spectral transmission function in the bands of water vapor, O₃, N₂O and N₂ atmospheric components// Izv. Acad. Sci. USSR Atmos. Oceanic Phys. 1969. Vol. 5. Pp. 678-685.
11. Leckner B. The spectral distribution of solar radiation at the earth's surface – elements of a model// Solar Energy. 1978. Vol. 20. Pp. 143-150.

THE METHOD FOR DETERMINATION OF LINKE ATMOSPHERIC TURBIDITY COEFFICIENT BY SUN PHOTOMETRIC MEASUREMENTS

Hikmet H. Asadov¹, Ulker F. Mammadova¹, Ramiz A. Eminov²

Turbidity of atmosphere is one of important parameters of meteorological provision of flights safety. This parameter is quantitative estimate of extinction of solar radiation mainly by atmospheric aerosol and water vapors. Effect of atmospheric aerosol on optical beams depends in general on quantity, type of aerosol, its distribution on sizes and atmospheric water vapors. One of widely used estimates of atmospheric turbidity is Linke coefficient of atmospheric turbidity. This parameter quantitatively determines the number of clear and dry atmospheres serial connection of which would give such extinction of solar radiation which equal to one of real atmosphere. T_L equal to attenuation of solar beams by atmospheric aerosol and water vapor at all spectral band. The paper is devoted to research of possibility to determine the Linke atmospheric turbidity coefficient by method of sun-photometric measurements. The method for determination of Linke atmospheric turbidity coefficient envisaging utilization of known analytic model determining interrelation of Angstrom turbidity coefficient and Linke turbidity coefficient is suggested. For practical utilization of this model the presence of data on total precipitated water vapors. The two wavelength method of measurements at the wavelengths 0.82 μm and 0.94 μm is suggested. The implementation of total-synchronous calibration of data of two photometric measurement channel is suggested. Such a method of joint calibration make it possible to remove error occurred due to change of atmospheric conditions during the time interval between separate calibrations of channels at said two wavelengths and also to decrease total random noise signal; of two synchronous and jointly calibrated channels by comparison of separate calibration.

KEYWORDS: TURBIDITY; SUN PHOTOMETER; ERROR, MEASUREMENTS, CALIBRATION; WATER VAPOR.