

4. Орешкин, Н. А. Современные устройства для испытания изоляционных материалов / Н. А. Орешкин // Вестник технических наук. – 2020. – № 5. – С. 65–72.

5. ГОСТ 20477-86. Материалы изоляционные электротехнические. Метод испытания адгезионной прочности. – М.: Стандартиформ. – 2016.

6. Жданов, О. В. Анализ адгезионных свойств полимерных лент в электротехнической промышленности / О. В. Жданов // Вопросы науки и техники. – 2018. – № 4. – С. 34–42.

УДК 551.501.793

АНАЛИЗ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ТРАНСМИССОМЕТРАМИ

Назаренко П. Н.

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе представлены результаты анализа методических погрешностей измерения метеорологической оптической дальности (МОД) трансмиссометрами. Полученные для погрешностей измерения МОД уравнения позволяют решить как прямую задачу расчета зависимостей погрешностей измерения МОД от абсолютной погрешности измерения коэффициента пропускания атмосферы $\Delta\tau$, длины измерительной базы a и МОД, так и обратную задачу определения $\Delta\tau$, a и границ измерения МОД при заданных требованиях к предельно допустимым погрешностям измерения МОД.

Ключевые слова: трансмиссометр, метеорологический оптический диапазон, пропускание атмосферы, измерительная база, погрешность измерений.

ANALYSIS OF METHODOLOGICAL ERRORS IN MEASURING METEOROLOGICAL OPTICAL RANGE BY TRANSMISSOMETERS

Nazarenko P.

SSPA «Optics, Optoelectronics and Laser Technology»
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper presents the results of the analysis of methodical errors in measuring the meteorological optical range (MOR) by transmissometers. The equations obtained for the MOR measurement errors allow solving both the direct problem of calculating the dependences of the MOR measurement errors on the absolute measurement error of the atmospheric transmittance coefficient $\Delta\tau$, the length of the measuring base a and MOR, and the inverse problem of determining $\Delta\tau$, a and the limits of MOR measurement under specified requirements for the maximum permissible errors of MOR measurement.

Key words: transmissometer, meteorological optical range, atmospheric transmittance, measuring base, measurement error.

Адрес для переписки: Назаренко П. Н., пр. Независимости, 78–54, г. Минск 220012, Республика Беларусь
e-mail: npr05@mail.ru

Метод измерения метеорологической оптической дальности (МОД) оптическими трансмиссометрами заключается в непосредственном измерении коэффициента пропускания атмосферы, соответствующим измерительной базе с последующим преобразованием измеренного коэффициента пропускания в МОД [1, 2].

За метеорологическую оптическую дальность (МОД) принимается длина пути светового луча в атмосфере, на котором световой поток ослабляется до 0,05 его первоначального значения. Отношение между МОД (метеорологической дальностью видимости) и показателем ослабления с использованием закона Кошмидера выражается в виде [2]:

$$MOR = a \frac{\ln 0,05}{\ln \tau} = - \frac{2,996 a}{\ln \tau}, \quad (1)$$

где MOR – метеорологическая оптическая дальность, τ – коэффициент пропускания атмосферы, a – длина измерительной базы.

Данное уравнение является основным уравнением для определения МОД. Из данного уравнения видно, что границы измеряемой МОД определяются границами измеряемого диапазона пропускания атмосферы τ_{min} и τ_{max} и длиной измерительной базы a .

Уравнение (1) позволяет провести оценку границ диапазона МОД в пределах метрологического диапазона спектрального коэффициента направленного пропускания (СКНП) от 0,1 до 99 % [3]. Соответствующие диапазоны МОД зависят от длины измерительной базы (a) и составляют 0,44 a –300 a .

Преобразование измеренного трансмиссометром коэффициента пропускания в МОД сопряжено с некоторыми особенностями, связанными с логарифмической зависимостью между указанными параметрами, что не обеспечивает преобразование коэффициента пропускания в МОД с одинаковой точностью во всем диапазоне измерения. Поэтому другим фактором, определяющим

границы измеряемого диапазона МОД, являются требования к точности измерений МОД.

Дифференцирование уравнения (1) позволяет получить связь между относительной погрешностью измерения МОД и погрешностью измерения коэффициента пропускания атмосферы:

$$\frac{\Delta MOR}{MOR} = -\frac{\Delta \tau}{\tau \ln \tau}, \quad (2)$$

где ΔMOR – абсолютная погрешность измерения МОД, MOR – метеорологическая оптическая дальность, τ – коэффициент пропускания атмосферы, $\Delta \tau$ – предел допускаемых абсолютных погрешностей измерения коэффициента пропускания атмосферы.

Из уравнения (2) видно, что относительная погрешность зависит только от коэффициента пропускания атмосферы τ и погрешности его измерения $\Delta \tau$. Абсолютная погрешность ΔMOR зависит и от длины измерительной базы:

$$\Delta MOR = 2,996 a \frac{\Delta \tau}{\tau \ln^2 \tau}. \quad (3)$$

Уравнения (2) и (3) позволяют определить методические относительную и абсолютные погрешности измерения МОД в зависимости от коэффициента пропускания атмосферы. Однако, в большинстве случаев требования к точности измерений МОД определяются диапазоном МОД. Преобразование уравнений (2) и (3) позволяет получить следующие уравнения для относительной и абсолютной погрешностей:

$$\Delta MOR/MOR = MOR \frac{\exp\left(\frac{2,996 a}{MOR}\right)}{2,996 a} \Delta \tau, \quad (4)$$

$$\Delta MOR = MOR^2 \frac{\exp\left(\frac{2,996 a}{MOR}\right)}{2,996 a} \Delta \tau. \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) позволяют оценить границы диапазонов МОД, в которых обеспечивается требуемая точность измерений.

Трансисометры как средство измерений относятся к спектрофотометрам. В соответствии с ГОСТ 8.557–2007 пределы допускаемых абсолютных погрешностей рабочих спектрофотометров в диапазоне измерений от 0,01 до 0,99 составляют:

- от 0,0015 до 0,0030 при передаче размера единицы от вторичных эталонов;
- от 0,003 до 0,020 при передаче размера единицы от рабочих эталонов.

На рисунке 1 в качестве примера приведены графики расчетных зависимостей методических относительных погрешностей МОД от МОД на измерительной базе 35 мм для трех значений $\Delta \tau$: 0,0015 (0,15 %), 0,003 (0,3 %) и 0,02 (2 %). В качестве верхней границы диапазона относительной

погрешности МОД 40 % приняты рекомендации ИКАО [2] к точности измерения видимости +20 % при значениях МОД свыше 1500 м. Из полученных зависимостей видно, что на границах диапазона коэффициентов пропускания атмосферы относительная погрешность $\Delta MOR/MOR$ резко возрастает даже при незначительном изменении измеряемой МОД.

Нижние границы МОД достаточно близки между собой в пределах широкого диапазона требований к $\Delta MOR/MOR$ и превышают дистанции 8–12 м. Верхние границы МОД зависят как от требований к $\Delta MOR/MOR$, так и, особенно, от $\Delta \tau$. При снижении требований к относительной точности измерения пропускания атмосферы верхняя граница МОД и, соответственно, ширина диапазонов МОД существенно снижаются. Оценки показывают, что измерение МОД с точностью не хуже +20 % при погрешности измерения $\Delta \tau = 2,0\%$ возможно только в пределах диапазона 0,65–60 длин измерительных баз.

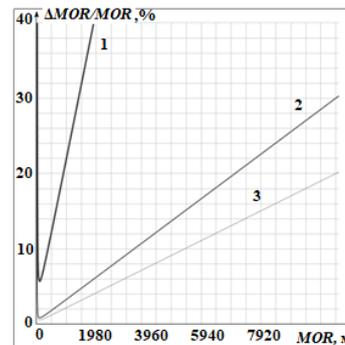


Рисунок 1 – Расчетные зависимости относительной погрешности $\Delta MOR/MOR$ от МОД для $\Delta \tau$: 2,0 % (1); 0,3 % (2) и 0,15 % (3)

Полученные уравнения (4) и (5) позволяют решить как прямую задачу расчета зависимостей погрешностей измерения МОД от $\Delta \tau$, a и MOR , так и обратную – определения $\Delta \tau$, a и границ измерения МОД при заданных требованиях к предельно допустимым погрешностям измерения МОД.

Литература

1. Ковалев, В.А. Видимость в атмосфере и ее определение / В.А. Ковалев. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 216 с.
2. Appendix 3. Meteorological support for international air navigation. Part I. Basic SARPs. Part II. Additions and additions. Twentieth edition [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fac.ch/wp-content/uploads/2020/09/ICAO-Annex-3-Meteorological-service-for-international-air-navigation.pdf>.