

ская Метрологическая Энциклопедия / Под ред. академика РАН В. В. Окрепилова Т. 1. СПб.: ИИФ «Лики России», 2015. С. 253–262.

4. Кочин О. М., Асланян Э. Г., Козлов В. И., Мироненко А. В., Дмитриев Г. П. Совершенствование Государственного эталона единиц твердости по шкалам Роквелла и Супер-Роквелла. Методы и средства определения твердости материалов и изделий // Сб. материалов Всесоюз. научн.-техн. конф. Ч. 1. Иваново, 1990. С. 162–167.

5. Асланян Э. Г. Метрологическое обеспечение измерений твердости // Измерительная техника. 2005. № 1. С. 45–50.

6. ГОСТ 9013–59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу.

7. ГОСТ 22975–78. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Роквеллу при малых нагрузках (по Супер-Роквеллу)

8. ГОСТ 8.064–94. ГСИ. Государственная поверочная

схема для средств измерений твердости по шкалам Роквелла и Супер-Роквелла.

9. ISO 6508-1:2016. Metallic materials – Rockwell hardness test – Part 1: Test method.

10. РМГ 29–2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

11. Germak A., Liguori A., Origlia C. Experience in the metrological characterization of primary hardness standard machines // Hardmeko-2007. 2007, Tsukuba, Japan, P. 81–89.

12. ГОСТ 8.640–2014. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений силы.

13. ГОСТ Р 8.763-2011. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 50 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм.

Дата принятия: 04.06.2018.

535.243.25

Государственный первичный эталон единиц спектральных коэффициентов направленного пропускания, диффузного и зеркального отражений в диапазоне длин волн от 0,2 до 20,0 мкм ГЭТ 156–2015

А. Ю. ДУНАЕВ, Ю. М. ЗОЛОТАРЕВСКИЙ, С. П. МОРОЗОВА, В. И. САПРИЦКИЙ, Г. С. ФИДАНИЯ, А. А. ЕРИКОВА

Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений, Москва, Россия, e-mail: dunaev@vniiofi.ru

Представлен состав Государственного первичного эталона единиц спектральных коэффициентов направленного пропускания, диффузного и зеркального отражений в диапазоне длин волн от 0,2 до 20,0 мкм ГЭТ 156–2015. Приведены метрологические характеристики эталона.

Ключевые слова: спектрофотометрия, направленное пропускание, диффузное отражение, зеркальное отражение, оптические свойства материалов, ключевые сличения.

Structure of the State Primary Standard GET 156–2015, intended for measurements of spectral regular transmittance, spectral diffuse and spectral regular reflectance in the wavelength range from 0,2 to 20,0 μm is presented. The metrological characteristics of the Standard are given.

Key words: spectrophotometry, spectral regular transmittance, spectral diffuse reflectance, spectral regular reflectance, optical properties of materials, uncertainties, key comparison.

Спектрофотометрические измерения коэффициента направленного пропускания и отражения оптических материалов и покрытий необходимы во всех отраслях промышленности, науки и техники, в сельском хозяйстве, экологии и медицине. Единицы спектральных коэффициентов направленного пропускания (СКНП), зеркального и диффузного отражений (СКЗО и СКДО) оптических материалов характеризуют фундаментальные свойства веществ. Поэтому необходимо установить шкалу этих единиц с последующей прослеживаемостью всего существующего парка измерительных приборов к ней.

Для воспроизведения и передачи единиц СКНП, СКДО и СКЗО во ВНИИОФИ создан Государственный первичный эталон единиц спектральных коэффициентов направленного

пропускания, диффузного и зеркального отражений в диапазоне длин волн от 0,2 до 20,0 мкм ГЭТ 156–2015. Установки, входящие в состав эталона реализуют, в том числе, методы измерений Эрба и Тейлора [1, 2].

В состав ГЭТ 156–2015 входят несколько прецизионных установок и приборов:

установка для воспроизведения и передачи единиц СКНП, оптической плотности и СКЗО в диапазоне длин волн 0,2–2,5 мкм;

установка для воспроизведения и передачи единиц СКНП и оптической плотности в диапазоне длин волн 2,5–20,0 мкм на основе инфракрасного (ИК) Фурье-спектрометра Perkin Elmer «SPECTRUM GX OPTICA»;

установка для передачи единиц СКЗО в диапазоне длин волн 2,5–20,0 мкм на основе ИК Фурье-спектрометра Perkin Elmer «SPECTRUM GX OPTICA» с приставкой для измерения зеркального отражения;

установка для воспроизведения и передачи единиц СКДО в диапазоне длин волн 0,2–0,8 мкм;

установка для воспроизведения и передачи единиц СКДО

в диапазоне длин волн 2,0–20,0 мкм на основе ИК Фурье-спектрометра Perkin Elmer «SPECTRUM GX OPTICA» с приставкой «Mid-IR IntegratIR»;

установка для передачи единиц СКДО в диапазоне длин волн 0,2–2,5 мкм на основе спектрофотометра PerkinElmer «LAMBDA 900» и приставки «PELA-1000»;

наборы мер.

Т а б л и ц а 1

Абсолютные погрешности и неопределённости воспроизведения единицы СКНП

Характеристика	Значение			
Диапазон измеряемых величин	0,01–0,99			
Спектральный диапазон, мкм	0,2–0,4	0,4–0,9	0,9–2,5	2,5–20,0
Суммарное среднее квадратическое отклонение (СКО) среднего арифметического	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Доверительные границы неисклѳченной систематической погрешности (НСП)	$8,1 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Стандартная неопределѳнность:				
по типу А	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
по типу В	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
суммарная	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Расширенная неопределѳнность	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$

Т а б л и ц а 2

Абсолютные неопределѳнности воспроизведения единицы оптической плотности

Спектральный диапазон, мкм	Диапазон оптической плотности, Б	Суммарная стандартная неопределѳнность, Б	Расширенная неопределѳнность, Б
0,2–0,4	0,01–2,00	$2,6 \cdot 10^{-4}$ – $2,6 \cdot 10^{-2}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$ – $6,7 \cdot 10^{-2}$
0,4–0,9	0,01–2,00	$1,4 \cdot 10^{-4}$ – $1,3 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$ – $3,4 \cdot 10^{-2}$
0,9–2,5	0,01–2,00	$2,6 \cdot 10^{-4}$ – $2,6 \cdot 10^{-2}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$ – $6,7 \cdot 10^{-2}$
2,5–20,0	0,01–1,00	$6,7 \cdot 10^{-4}$ – $6,6 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$ – $1,7 \cdot 10^{-2}$

Т а б л и ц а 3

Абсолютные погрешности и неопределѳнности воспроизведения единицы СКЗО

Характеристика	Значение	
Диапазон измеряемых величин	0,01–0,99	
Спектральный диапазон, мкм	0,2–2,5	2,5–20,0
Суммарное СКО среднего арифметического	$4,0 \cdot 10^{-4}$ – $7,0 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$ – $2,0 \cdot 10^{-3}$
Доверительные границы НСП	$7,4 \cdot 10^{-4}$ – $2,2 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$ – $4,9 \cdot 10^{-2}$
Стандартная неопределѳнность		
по типу А	$4,0 \cdot 10^{-4}$ – $7,0 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$ – $2,0 \cdot 10^{-3}$
по типу В	$3,1 \cdot 10^{-4}$ – $9,2 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-4}$ – $2,0 \cdot 10^{-2}$
суммарная	$5,0 \cdot 10^{-4}$ – $1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$ – $2,0 \cdot 10^{-2}$
Расширенная неопределѳнность	$1,3 \cdot 10^{-3}$ – $3,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$ – $5,2 \cdot 10^{-2}$

Порядок передачи спектрофотометрических единиц от ГЭТ 156–2015 с помощью вторичных и рабочих эталонов рабочим средствам измерений (СИ) устанавливается ГОСТ 8.557–2007 [3], который распространяется на государственную поверочную схему для СИ спектральных, интегральных и редуцированных коэффициентов направленного пропускания и оптической плотности в диапазоне длин волн 0,2–50,0 мкм, диффузного и зеркального отражений в диапазоне длин волн 0,2–20,0 мкм.

Метрологические характеристики ГЭТ 156–2015. Метрологические характеристики ГЭТ 156–2015 сравнимы с зарубежными аналогами. В табл. 1 приведены погрешности и неопределѳнности воспроизведения СКНП.

Производной единицей СКНП является спектральная оптическая плотность. В табл. 2 приведены неопределѳнности воспроизведения этой единицы.

Также ГЭТ 156–2015 воспроизводит и передает единицы СКЗО и СКДО, в том числе, в диапазоне длин волн 2,5–20,0 мкм. Погрешности и неопределѳнности передачи единиц СКЗО и СКДО приведены в табл. 3, 4.

В состав ГЭТ 156–2015 входят следующие наборы мер.

1. Наборы мер СКНП: комплект нейтральных фильтров в диапазоне длин волн 0,38–0,78 мкм; комплект светофильтров в диапазоне длин волн 0,2–0,38 и 0,78–2,50 мкм; тонкоструктурный абсорбционный светофильтр для определения систематической погрешности, обусловлен-

Таблица 4

Абсолютные погрешности и неопределённости воспроизведения СКДО

Характеристика	Значение		
Диапазон измеряемых величин	0,02–0,99		
Спектральный диапазон, мкм	0,2–0,8	0,8–2,0	2,0–20,0
Суммарное СКО среднего арифметического	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
Доверительные границы НСП	$6,6 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Стандартная неопределённость			
по типу А	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$
по типу В	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$
суммарная	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$
Расширенная неопределённость	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$

ной точностью установки длины волны, калибруемых приборов.

2. Наборы мер СКДО в диапазоне длин волн 0,2–2,5 мкм.

3. Наборы мер СКЗО в диапазонах длин волн 0,2–2,5 и 2,5–20,0 мкм.

Международные ключевые сличения. В период 2010–2017 гг. ГЭТ 156–2015 принимал участие в международных ключевых сличениях СКНП CCPR-K6.2010. Участники сличений – национальные метрологические институты ASTAR (Сингапур), KRISS (Республика Корея), LNE (Франция), MKEH (Венгрия), NIST (США), NMIJ (Япония), NMISA (ЮАР), NPL (Великобритания), NRC (Канада) и PTB (Германия). Головной организацией в сличениях выступил MSL (Новая Зеландия).

В ходе сличений ГЭТ 156–2015 показал результаты на уровне лучших зарубежных аналогов. На рисунке показан пример сходимости результатов измерений СКНП с помощью ГЭТ 156–2015 на длине волны 0,6 мкм, где *DoE* – степень эквивалентности.

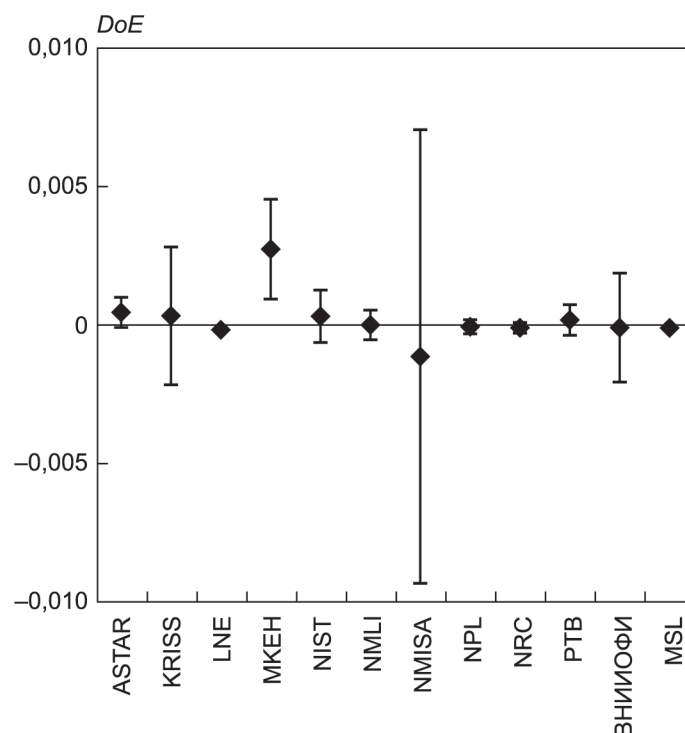
Отчёт по сличениям опубликован в конце 2017 г. [4].

Результаты, полученные ВНИИОФИ в ходе сличений, показали необходимость внесения изменений в существующие калибровочные и измерительные возможности (СМС), опубликованные в базе данных на веб-сайте МБМВ. Опыт работы в области оптико-физических измерений показал, что в настоящее время ГЭТ 156–2015 является одним из самых востребованных оптических государственных первичных эталонов в Российской Федерации, имеющим показатели точности на уровне лучших зарубежных аналогов.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования высокоточных измерительных технологий в области фотоники, созданного на базе ФГУП «ВНИИОФИ» и поддержанного Минобрнауки России в рамках выполнения соглашения № 14.595.21.0003 от 28.08.2017 г. (уникальный идентификатор RFMEFI59517X0003).

Литература

1. Erb W. Diffuse-directional radiance factor of reflection standards // Metrologia. 1997. No. 34. P. 431–432.
2. Leonard M. Hanssen, Keith A. Snail. Integrating Spheres for Mid- and Near-infrared Reflection Spectroscopy. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2002.
3. ГОСТ 8.557–2007. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральных, интегральных и редуцированных коэффициентов направленного пропускания и оптической плотности в диапазоне длин волн от 0,2 до 50,0 мкм, диффузного и



Результаты международных ключевых сличений CCPR-K6.2010 на длине волны 0,6 мкм

зеркального отражений в диапазоне длин волн от 0,2 до 20,0 мкм.

4. Koo A. Report on the consultative committee for photometry and radiometry key comparison of regular spectral transmittance 2010 (CCPR-K6.2010) // Metrologia. Tech. Suppl. 2017. V. 54. 02001. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/54/1A/02001>.

Дата принятия: 08.06.2018.