

Совершенствование эталонной базы в области оптико-физических измерений

С. С. ГОЛУБЕВ¹, В. Н. КРУТИКОВ², В. С. ИВАНОВ², Ю. М. ЗОЛОТАРЕВСКИЙ²,
Н. П. МУРАВСКАЯ², С. Н. НЕГОДА²

¹Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, Москва, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений,
Москва, Россия, e-mail: ymz@vniiofi.ru

Описана эталонная база ВНИИОФИ, состояние и калибровочные возможности государственных первичных эталонов, направление и дальнейшие перспективы их развития.

Ключевые слова: эталонная база, калибровочные возможности, государственный первичный эталон.

The reference database of All-Russian research institute for optical and physical measurements, state and calibration capabilities of state primary standards, direction and prospects of their further development are described.

Key words: reference database, calibration capabilities, optical and physical measurements.

По поручению Правительства Российской Федерации Росстандартом была разработана и утверждена «Стратегия обеспечения единства измерений в России до 2015 года» (далее — Стратегия) [1]. План мероприятий по реализации Стратегии учитывает также Концепцию долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. и закона «Об обеспечении единства измерений» [2].

Применительно к оптико-физическим измерениям Стратегия предусматривает:

совершенствование действующей эталонной базы РФ, а также разработку и реализацию программы ее перспективного развития;

выполнение заданий федеральных целевых и государственных программ, таких как «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012—2020 гг.», «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 гг.», «Развитие nanoиндустрии в Российской Федерации до 2015 года» и др.;

повышение эффективности работ по реализации Соглашения «О взаимном признании национальных эталонов и сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами» (CIPM MRA) в части более полной реализации калибровочных и измерительных возможностей (СМС) российских метрологических институтов;

проведение фундаментальных и прикладных исследований, направленных на реализацию новых подходов к перепределению единиц величин на основе фундаментальных физических констант (ФФК) и разработку нового поколения эталонов единиц оптико-физических величин.

Повышение качества жизни, глобализация экономических процессов, развитие международной торговли, повышение обороноспособности и безопасности государства, строительство, охрана окружающей среды, информатизация общества выдвигают новые и более высокие требования к системе обеспечения единства измерений (ОЕИ) в стране.

Для выполнения поставленных задач необходимо:

расширение диапазонов измерений как в нано-, так и в макроизмерениях при увеличении точности в 3—5 раз прежде всего при решении задач развития приоритетных отраслей реального сектора экономики, в социальном и оборонном комплексах;

расширение калибровочных возможностей научных метрологических институтов и региональных центров метрологии, сокращение отставания в этой части от наиболее развитых стран в таких важнейших отраслях, как здравоохранение, экология, оборона и безопасность государства;

повышение научно-технического и метрологического уровня эталонной базы России в результате усовершенствования и создания государственных первичных эталонов (ГПЭ) нового поколения, разработки государственных рабочих эталонов;

повышение качества метрологического сопровождения перспективных технологических направлений (новые производственные, в том числе аддитивные технологии, фотоника и интеллектуальные производства, нано-, био-, авиационно-космические технологии и др.).

Для достижения запланированных показателей необходимо активно проводить модернизацию эталонной базы. При этом развитие системы ОЕИ должно быть направлено на содействие разработке и освоению современных измерительных технологий в области оптико-физических измерений и гармонизацию их с технологиями других стран в соответствии с международными требованиями. Следует отметить, что эталонная база ВНИИОФИ к 1 февраля 2015 г. существенно увеличилась и насчитывает 27 ГПЭ (см. таблицу) по сравнению с 15 государственными эталонами в 2008 г. При этом 22 ГПЭ из 27 (т. е. более 80 %) имеют возраст менее 5 лет. За период 2008—2014 гг. во ВНИИОФИ разработаны 14 новых ГПЭ, усовершенствованы 9 и выведены из эксплуатации 2. Это свидетельствует об активной работе института в направлении совершенствования существующих и создания новых ГПЭ оптико-физических величин.

Эталонная база ВНИИОФИ

№ эталона по реестру	Наименование эталона	Характеристики эталона
ГЭТ 5—2012	Государственный первичный эталон единицы силы света и светового потока непрерывного излучения	Диапазон измерения силы света 35—1000 кд Диапазон измерения светового потока 50—2500 лм Пространственное распределение силы света 35—1000 кд Коррелированная цветовая температура 2000—7000 К Суммарная стандартная неопределенность $u_c=0,14 \cdot 10^{-2}$
ГЭТ 28—2013	Государственный первичный эталон единицы средней мощности лазерного излучения	Диапазон значений средней мощности лазерного излучения $5 \cdot 10^{-3}$ —2 Вт на длинах волн 0,532; 0,912; 1,053; 1,064 и 10,6 мкм Спектральный диапазон воспроизведения единицы 0,3—12 мкм Диапазон выходной мощности лазерного излучения $1 \cdot 10^{-4}$ —10 Вт u_c не более 0,016 %
ГЭТ 50—2008	Государственный первичный эталон единицы угла вращения плоскости поляризации	Диапазон значений угла вращения плоскости поляризации $-70...+70^\circ$ для излучения с длиной волны 632,9914 нм в вакууме или $-90...+90^\circ$ для излучения с длиной волны 546,2271 нм в вакууме $u_c=0,0005^\circ$
ГЭТ 81—2009	Государственный первичный специальный эталон единиц координат цвета и координат цветности	Диапазоны измерений: координаты цвета и цветности пропускающих образцов несамосветящихся объектов $X=2,5...109,0$; $Y=1,4...95,0$; $Z=1,7...107,0$ ($u_c(X)=0,0112$; $u_c(Y)=0,0510$; $u_c(Z)=0,0806$); координаты цвета и цветности отражающих образцов несамосветящихся объектов $X=2,5...109,0$; $Y=1,4...95,0$; $Z=1,7...107,0$ ($u_c(X)=0,1508$; $u_c(Y)=0,508$; $u_c(Z)=0,201$); координат цветности самосветящихся объектов: $x=0,0039...0,7347$; $y=0,0048...0,8338$ ($u_c(x)=0,00064...0,00117$; $u_c(y)=0,00050...0,00150$)
ГЭТ 84—2012	Государственный первичный эталон единиц спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности потока излучения, спектральной плотности энергетической освещенности, спектральной плотности силы излучения, потока и силы излучения в диапазоне длин волн 0,001—1,600 мкм	Диапазоны воспроизведения: спектральной плотности энергетической яркости 10^8 — 10^{14} Вт/(ср·м ³) ($u_c=0,6 \cdot 10^{-2} ... 1,42 \cdot 10^{-2}$); спектральной плотности потока излучения 10 — 10^6 Вт/м ($u_c=0,17 \cdot 10^{-2} ... 1,42 \cdot 10^{-2}$); спектральной плотности энергетической освещенности 10^4 — 10^{10} Вт/м ³ ($u_c=0,6 \cdot 10^{-2} ... 1,42 \cdot 10^{-2}$); спектральной плотности силы излучения 10^3 — 10^9 Вт/(ср·м) ($u_c=0,023 \cdot 10^{-2} ... 0,064 \cdot 10^{-2}$); потока излучения $1 \cdot 10^{-6}$ — $2 \cdot 10^{-2}$ Вт ($u_c=0,25 \cdot 10^{-2} ... 0,94 \cdot 10^{-2}$); силы излучения $1 \cdot 10^{-3}$ — $1 \cdot 10^2$ Вт/ср ($u_c=0,25 \cdot 10^{-2} ... 0,94 \cdot 10^{-2}$)
ГЭТ 86—2010	Государственный первичный эталон единиц спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения, спектральной плотности энергетической освещенности, силы излучения и энергетической освещенности в диапазоне длин волн 0,2—25,0 мкм	Диапазоны воспроизведения: спектральной плотности энергетической яркости $1 \cdot 10^5$ — $1 \cdot 10^{12}$ Вт/(ср·м ³) ($u_c=0,03...0,67$ %); спектральной плотности силы излучения $1 \cdot 10^2$ — $1 \cdot 10^{10}$ Вт/(ср·м) ($u_c=0,10...0,67$ %); спектральной плотности энергетической освещенности $1 \cdot 10^2$ — $1 \cdot 10^{10}$ Вт/м ³ ($u_c=0,10...0,67$ %); силы излучения 10 — 100 Вт/ср ($u_c=0,09$ %); энергетической освещенности 10 — 2000 Вт/м ² ($u_c=0,09$ %)
ГЭТ 90—85	Государственный первичный специальный эталон единицы мощности импульсного лазерного излучения в диапазоне длин волн 0,4—10,6 мкм	Диапазоны значений мощности импульсного лазерного излучения P_i на длине волн: от 10^{-3} до 10^{-2} Вт — 0,5 мкм; от 10^{-5} до 10^{-3} Вт — 0,63 мкм; от 10^{-4} до 10^{-2} Вт — 0,85 мкм; от 10^{-2} до 10^{-1} Вт — 1,06 мкм; от 10^{-1} до 1 Вт — 10,6 мкм. u_c не более $2,3 \cdot 10^{-2}$
ГЭТ 138—2010	Государственный первичный эталон единицы показателя преломления	Диапазоны значений показателя преломления n , воспроизводимых эталоном, составляет 1,0—3,0 u_c для: твердых тел $1,5 \cdot 10^{-6}$; жидкостей $7,6 \cdot 10^{-7}$; твердых и жидких микрообъектов $1,4 \cdot 10^{-5}$.

№ эталона по реестру	Наименование эталона	Характеристики эталона
ГЭТ 156—91	Государственный первичный эталон единиц спектральных 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—2,5 мкм	Диапазоны воспроизведения единицы: спектрального коэффициента направленного пропускания 0,01—0,95 на длинах волн 0,2—20,0 мкм ($u_c=0,3 \cdot 10^{-3} \dots 0,6 \cdot 10^{-3}$); оптической плотности 0,01—2,00 Б в спектральном диапазоне 0,2—20,0 мкм ($u_c=0,12 \cdot 10^{-3} \dots 1,3 \cdot 10^{-3}$); спектрального коэффициента диффузного отражения 0,02—1,00 в спектральном диапазоне 0,2—20,0 мкм ($u_c=3,0 \cdot 10^{-3}$); спектрального коэффициента зеркального отражения 0,01—0,95 в спектральном диапазоне 0,2—20,0 мкм ($u_c=0,06 \cdot 10^{-3} \dots 1,0 \cdot 10^{-3}$)
ГЭТ 157—92	Государственный специальный эталон единицы энергетической освещенности малых уровней в диапазоне длин волн 1,0—50,0 мкм	Диапазоны воспроизводимых значений энергетической освещенности от 1 до $1 \cdot 10^{-3}$ Вт/м ² ($u_c=0,027 \cdot 10^{-2} \dots 4,0 \cdot 10^{-2}$)
ГЭТ 148—2013	Государственный первичный специальный эталон единиц напряжений импульсных электрических и магнитного полей с длительностью фронта импульсов в диапазоне 0,1—10,0 нс	Диапазоны значений напряженностей импульсных электрического E и магнитного H полей с длительностью фронта импульса в диапазоне 0,1—10,0 нс для разной формы импульса экспоненциальной $E=10^4 \dots 2 \cdot 10^5$ В/м, $H=26 \dots 530$ А/м, длительность фронта не более $8 \cdot 10^{-9}$ с, длительность спада не менее $1,5 \cdot 10^{-4}$ с (u_c для электрического и магнитного полей соответственно 0,5; 0,9 %) ступенчатой $E=20 \dots 10^5$ В/м, $H=5 \cdot 10^5 \dots 260$ А/м, длительность фронта $0,3 \cdot 10^{-9} \dots 1,0 \cdot 10^{-9}$ с, длительность импульса $1 \cdot 10^{-8} \dots 1,0 \cdot 10^{-7}$ с (u_c для электрического и магнитного полей соответственно 2,5—3,4; 2,6—3,4 %)
ГЭТ 162—2012	Государственный первичный эталон единиц потока излучения, энергетической освещенности, спектральной плотности энергетической освещенности и энергетической экспозиции в диапазоне длин волн 0,0004 — 0,4 мкм	Диапазоны воспроизведения: потока излучения $1 \cdot 10^{-11} \dots 1 \cdot 10^2$ Вт; энергетической освещенности $10^{-7} \dots 10^3$ Вт/м ² ; спектральной плотности энергетической освещенности $10^3 \dots 10^{11}$ Вт/м ³ ; энергетической экспозиции $10^{-8} \dots 10^{-5}$ Дж/м ² ; $u_c=0,36 \cdot 10^{-2} \dots 1,284 \cdot 10^{-2}$
ГЭТ 170—2011	Государственный первичный специальный эталон единиц длины и времени распространения сигнала в световоде, средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем связи и передачи информации	Диапазоны воспроизводимых значений: средней мощности $1 \cdot 10^{-4} \dots 5 \cdot 10^{-3}$ Вт на фиксированных длинах волн в диапазоне длин волн 0,6—1,7 мкм ($u_c=0,023 \cdot 10^{-2}$); ослабления 0,05—90,00 дБ на фиксированных длинах волн в диапазоне 0,85—1,70 мкм ($u_c=4,5 \cdot 10^{-3} \dots 8,3 \cdot 10^{-2}$ дБ); времени распространения сигнала $1 \cdot 10^{-7} \dots 5 \cdot 10^{-3}$ с на фиксированных длинах волн в диапазоне 0,85—1,70 мкм ($u_c=0,32 \cdot 10^{-9} \dots 1,9 \cdot 10^{-9}$); длины распространения сигнала $10 \dots 6 \cdot 10^5$ м на фиксированных длинах волн в диапазоне 0,85—1,70 мкм ($u_c=3,2 \cdot 10^{-2} \dots 0,19$ м)
ГЭТ 178—2010	Государственный первичный специальный эталон единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей с длительностью фронта импульсов до 20 пс	Напряженности импульсных электрического и магнитного полей с длительностью фронта импульсов до 20 пс $1 \cdot 10^{-1} \dots 3 \cdot 10$ В/м и $2,6 \cdot 10^{-4} \dots 7,9 \cdot 10^{-2}$ А/м Минимальная длительность фронта воспроизводимых импульсов напряженностей электрического и магнитного полей составляет $20 \cdot 10^{-12}$ с Максимальная длительность воспроизводимых импульсов напряженностей электрического и магнитного полей $1 \cdot 10^{-9}$ с Частота следования воспроизводимых импульсов $1 \cdot 10^5$ Гц u_c не более 2,6 % в течение 150 пс от начала импульса и 1,4 % в установившемся режиме
ГЭТ 179—2010	Государственный первичный специальный эталон единиц спектральной плотности энергетической яркости и относительного спектрального распределения мощности излучения в диапазоне длин волн 0,3...25,0 мкм	Диапазоны воспроизведения единиц: спектральной плотности энергетической яркости $6 \cdot 10^4 \dots 8 \cdot 10^8$ Вт/(м ³ ·ср) на длинах волн 0,3—3,0 мкм ($u_c=0,5 \cdot 10^{-2} \dots 5,0 \cdot 10^{-2}$ %) и $7,8 \cdot 10^1 \dots 7,3 \cdot 10^7$ Вт/(м ³ ·ср) на длинах волн 3—25 мкм ($u_c=0,15 \cdot 10^{-2} \dots 4,3 \cdot 10^{-2}$ %); относительного спектрального распределения мощности излучения монохроматического источника в диапазоне 0,001—1,000 на длинах волн 0,3—3,0 мкм ($u_c=0,15 \dots 0,75$ %)

№ эталона по реестру	Наименование эталона	Характеристики эталона
ГЭТ 184—2010	Государственный первичный специальный эталон единиц хроматической дисперсии в оптическом волокне	Спектральный диапазон 1260—1650 нм Диапазон воспроизведения единицы хроматической дисперсии – 400...+ 400 пс/нм $u_c=0,33$ пс/нм
ГЭТ 185—2010	Государственный первичный специальный эталон единицы поляризации модовой дисперсии в оптическом волокне	Длина волны воспроизведения единицы в диапазоне 1260—1620 нм Диапазоны значений поляризационной модовой дисперсии в оптическом волокне: для поляризиметрического метода 0,05—0,5 пс (0,0036 пс); для интерферометрического метода 0,5—120 пс (0,005 пс для $\Delta\tau=0,5$ пс; 0,6 для $\Delta\tau=120$ пс)
ГЭТ 186—2010	Государственный первичный эталон единиц эллипсометрических углов	Диапазон значений эллипсометрического угла при 50 независимых измерениях: Дельта составляет 0—360° со средним квадратическим отклонением (СКО) не более 0,02°; Пси составляет 0—90° с СКО не более 0,01°
ГЭТ 187—2010	Государственный первичный специальный эталон единиц энергии, распределения плотности энергии, длительности импульса и длины волны лазерного излучения	Диапазон значений: энергии импульсного лазерного излучения $1 \cdot 10^{-2}$ — $5 \cdot 10^{-1}$ Дж на длинах волн 0,532; 1,064; 1,570 мкм (u_c не более 0,34 %); распределения плотности энергии $1 \cdot 10^{-4}$ — $1 \cdot 10^{-2}$ Дж/см ² на длинах волн 0,532 мкм; 1,064 мкм (1,1 %); длительности импульса лазерного излучения $1 \cdot 10^{-9}$ — $1 \cdot 10^{-6}$ (0,16 %)
ГЭТ 196—2011	Государственный первичный эталон единиц массовой (молярной) доли и массовой (молярной) концентрации компонентов в жидких и твердых веществах и материалах на основе спектральных методов	Диапазоны измерений, при которых воспроизводится единица массовой доли компонента $1 \cdot 10^{-8}$ — 99,99 % ($u_c=0,16...1$ %); молярной доли компонента $1 \cdot 10^{-6}$ — 99,9 % ($u_c=0,16...1$ %); массовой концентрации компонента $1 \cdot 10^{-8}$ — 99,9 г/дм ³ ($u_c=0,04...0,9$ %); молярной концентрации компонента $1 \cdot 10^{-8}$ — 2 моль/дм ³ ($u_c=0,04...0,9$ %)
ГЭТ 197—2011	Государственный первичный специальный эталон единицы плотности радиационного теплового потока в диапазоне 1000 — 5000 Вт/м ²	Диапазон воспроизведения единицы плотности радиационного теплового потока 1000—5000 Вт/м ² $u_c=0,35$ %
ГЭТ 202—2012	Государственный первичный специальный эталон единицы импульсного тока молниевых разряда в диапазоне от 1 до 100 кА	Диапазон воспроизведения значений амплитуд 1—8 кА в режиме 1 и 6—100 кА в режиме 2 Диапазон значений длительности фронта воспроизводимых импульсов тока молниевых разряда 0,14—0,4 мкс в режиме 1 и 9,2—10,0 мкс в режиме 2 Диапазон значений длительности воспроизводимых импульсов тока молниевых разряда 10—12 мкс в режиме 1 и 35—36 мкс в режиме 2 $u_c=1,5$ %
ГЭТ 203—2012	Государственный первичный эталон единицы комплексного показателя преломления	Диапазоны значений комплексного показателя преломления воспроизведения единицы: для действительной части n (показатель преломления) 0,5—5,0 ($u_c(n)=0,001$); для мнимой части k (главный показатель поглощения) 0,01—8,0 ($u_c(k)=0,002$)
ГЭТ 205—2013	Государственный первичный эталон единицы оптической силы очковой оптики	Диапазоны значений: вершинной рефракции эталонных мер для диоптриметров –30...+25 дптр (расширенная неопределенность ($k=2$) в интервале 0,0002—0,03 дптр); призматического действия эталонных мер для диоптриметров 0,5—12,0 пр дптр (0,01 пр дптр.); вершинной рефракции эталонных мер для авторефрактометров –20...+20 дптр. (0,05—0,12 дптр.)

№ эталона по реестру	Наименование эталона	Характеристики эталона
ГЭТ 206—2013	Государственный первичный эталон единицы оптической плотности	Диапазон значений диффузной оптической плотности в проходящем свете 0,01—6,30 Б Диапазон длин волн 0,34—0,77 мкм $u_c=0,0022$ Б
ГЭТ 213—2014	Государственный первичный эталон единиц величин абсолютной и относительной спектральной чувствительности в диапазоне длин волн от 0,25 до 14,00 мкм	ГПЭ состоит из установок: для воспроизведения и передачи единиц величин абсолютной и относительной спектральной чувствительности к потоку излучения в диапазоне длин волн 0,25—14,00 мкм (ГПЭ—I) (спектральный диапазон 0,25—14 мкм; динамический диапазон $1 \cdot 10^{-6}$ — 10 А/Вт; 1 — $1 \cdot 10^{16}$ В/Вт; 0,01—1,00 отн.ед; $u_c=8,8 \cdot 10^{-4}$... $1,9 \cdot 10^{-2}$); для передачи единиц величин абсолютной и относительной спектральной чувствительности к освещенности в диапазоне длин волн 0,35—2,50 мкм (ГПЭ—II) (спектральный диапазон 0,35—1,00 мкм; динамический диапазон $4 \cdot 10^{-16}$ — $4 \cdot 10^{-6}$ А·м ² /Вт; 0,01—1,00 отн.ед.; $u_c=1,12 \cdot 10^{-3}$)
ГЭТ 214—2014	Государственный первичный специальный эталон единицы силы света малых уровней в диапазоне 10^{-6} — 10 кд	Сила света 10^{-6} — 10 кд Яркость 10^{-4} — 100 кд/м ² Освещенность 10^{-6} — 10 лк $u_c=0,46 \cdot 10^{-2}$... $0,69 \cdot 10^{-2}$ % в зависимости от диапазона

О высоком научно-техническом уровне эталонов свидетельствует тот факт, что по результатам международных, в том числе ключевых, сличений в области оптико-физических измерений количество СМС России, признанных международным метрологическим сообществом, возросло с 35 в 2005 г. до 101 в 2014 г., что подтверждается публикацией СМС-таблицы на сайте Международного бюро мер и весов (МБМВ) [3].

Важнейшим направлением дальнейшего развития системы ОЕИ на ближайшие годы является планируемое Международным комитетом мер и весов (МКМВ) принятие новых определений основных единиц Международной системы единиц (СИ) на основе фиксации значений ряда ФФК. Также важную роль как для развития первичных эталонных комплексов, так и для передачи единиц СИ с помощью метрологических цепочек будут играть референтные методики (методы) измерений.

ВНИИОФИ совместно с ВНИИМ им. Д. И. Менделеева и ВНИИМС начали научные исследования в рамках международного проекта «Авогадро» по переопределению единицы массы.

Создание в России современных установок по воспроизведению новых определений основных единиц СИ является приоритетной задачей российской науки. Содействие модернизации и инновационному развитию высокотехнологической промышленности и современных наукоемких технологий требует разработки эталонных комплексов, основанных на новых физических принципах и современных технологиях. В связи с этим, а также с учетом нарастающих темпов развития эталонных баз таких стран, как Китай, Бразилия, США, ведущих стран ЕС, необходимо ускоренное перевооружение эталонной базы и развитие новых эталонных технологий, в частности физико-химических измерений.

Для успешного развития российской системы ОЕИ в условиях планируемого международным метрологическим

сообществом перехода на новые определения единиц СИ институт в кооперации с другими странами проводит теоретические и экспериментальные исследования принципов формирования эталонной базы единиц величин, их связи с ФФК.

Это позволит ВНИИОФИ:

обеспечить международную эквивалентность создаваемых новых и совершенствуемых ГПЭ России в сфере оптико-физических измерений;

значительно увеличить точность и расширить диапазоны измерений оптико-физических величин в области фотоники, чтобы на более высоком уровне осуществлять испытания, поверку и калибровку СИ;

повысить уровень метрологического обеспечения на ряде важнейших направлений науки, техники и технологий; значительно улучшить условия труда, охраны окружающей среды и техники безопасности, а также медицинского обслуживания населения;

повысить качество и конкурентоспособность отечественной продукции с учетом ее выхода на мировой рынок.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (соглашение № 14.592.21.0001 от 22.08.2014 г., уникальный идентификатор работ RFMEFI59214X0001).

Л и т е р а т у р а

1. **Приказ** Министерства промышленности и торговли РФ от 17 июня 2009 г. № 529 «Об утверждении Стратегии обеспечения единства измерений в России до 2015 года».
2. **Федеральный закон** от 26.06.2008 г. № 102-ФЗ (ред. от 21.07.2014) «Об обеспечении единства измерений».
3. **BIPM** [Офиц. сайт]. <http://www.bipm.org> (дата обращения 03.06.2015)

4. Крутиков В. Н., Кононогов С. А., Золотаревский Ю. М. Нормативно правовое обеспечение единства измерений. М.: Логос, 2014.

5. Кузнецов В. А., Исаев Л. К., Шайко И. А. Метрология. М.: Стандартиформ, 2005.

6. Квантовая метрология и фундаментальные константы: Сб. статей / Пер. с англ.; под ред. Р. Н. Фаустова, В. П. Шелеста. М.: Мир, 1981.

7. Пронкин Н. С. Основы метрологии: практикум по метрологии и измерениям. М.: Логос, 2007.

8. Сергеев А. Г. Метрология. М.: Логос, 2005.

9. Иванов В. С., Золотаревский Ю. М., Котюк А. Ф., Либерман А. А., Саприцкий В. И., Столяревская Р. И. Основы оптической радиометрии. М.: Физматлит, 2003.

10. Метрологическое обеспечение нанотехнологий и продукции наноиндустрии: учебное пособие. Под ред. В. Н. Крутикова. М.: Логос, 2011.

Дата принятия 03.09.2015 г.

553.535.2

Государственный первичный эталон единицы средней мощности лазерного излучения ГЭТ 28—2013

А. А. КОВАЛЕВ, А. А. ЛИБЕРМАН, А. С. МИКРЮКОВ, С. А. МОСКАЛЮК,
М. В. УЛАНОВСКИЙ

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

Описан усовершенствованный Государственный первичный эталон единицы средней мощности лазерного излучения ГЭТ 28—2013, позволяющий решать актуальные проблемы метрологического обеспечения единства измерений энергетических характеристик полупроводниковых лазеров и лазерных диодов, характерная особенность которых — большая расходимость и достаточно высокая нестабильность выходного излучения.

Ключевые слова: эталон, лазерное излучение, полупроводниковый лазер.

The state primary standard of unit of laser power GET 28—2013 is described. Advanced standard allows to solve actual problems of measurements of power characteristics of semiconductor lasers and laser diodes.

Key words: standard, laser radiation, semiconductor laser.

В настоящее время лазерная техника используется практически во всех сферах деятельности: медицине, технике, науке и на производстве. Диапазон мощностей распространяется от уровней счета фотонов до мегаватт, спектральный диапазон — от короткого ультрафиолетового до субмиллиметрового; неуклонно повышаются требования к точности рабочих средств измерений (СИ), парк которых представлен на рынке России как зарубежными фирмами, так и отечественными производителями.

Интенсивное развитие лазерных технологий привело к созданию полупроводниковых лазеров на квантоворазмерных структурах: квантовых ямах и точках. Полупроводниковые лазеры неуклонно вытесняют газовые, твердотельные и другие источники когерентного излучения из всех областей их практического применения. За последние годы в физике и технологии полупроводников сформировалось направление мощных полупроводниковых лазеров на базе асимметричных лазерных гетероструктур раздельного ограничения с малыми внутренними оптическими потерями [1]: мощность оптического излучения одиночного источника превышает

16 Вт, а коэффициент полезного действия достигает 75 % [2—4].

Усовершенствованный государственный первичный эталон (ГПЭ) единицы средней мощности лазерного излучения ГЭТ 28—2013 работает в широком динамическом диапазоне $5 \cdot 10^{-3} - 2$ Вт дополнительно на двух новых длинах волн 0,912 и 1,053 мкм. Разработанный алгоритм обработки результатов измерений позволил полностью сохранить его метрологические характеристики.

Структурная схема оптической системы ГПЭ 28—2013 представлена на рис. 1. Во время проведения измерений на длинах волн 0,532 и 1,064 мкм используется один и тот же оптический тракт. Излучение отражается от поворотных зеркал 5, 6, 11 и попадает на фокусирующую линзу 17, потом на плоскопараллельную пластину 19. Часть излучения проходит дальше и поступает на вход эталонного первичного измерительного преобразователя (ЭПИП) 24, а другая часть отражается на вход приемника 18, выступающего в качестве приемника-свидетеля, используемого для контроля нестабильности лазерного излучения. При измерениях на длине