

ЭТАЛОННАЯ БАЗА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОЙ РАДИОМЕТРИИ

Гальго А.В.¹, Хайрова Н.В.¹, Тарасова О.Б.¹, Длугунович В.А.²,
Исаевич А.В.², Никоненко С.В.², Снопко В.Н.²

¹ Белорусский государственный институт метрологии, Минск, Республика Беларусь

² Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Представлены результаты совместной деятельности БелГИМ и Института физики НАН Беларуси по созданию и модернизации эталонов единиц физических величин в области оптической радиометрии, а также установок высокой точности, позволяющих измерять энергетические, временные, пространственные, спектральные и поляризационные характеристики лазерного излучения и калибровать средства измерения энергетических характеристик лазерного излучения.

Введение

Конкуренция товаров и технологий в условиях рыночной экономики выдвигает повышенные требования к вопросам сертификации как продукции, так и производственной базы. Лазерные и оптические приборы, системы, комплексы находят все более широкое применение в различных видах обработки и маркировки материалов, в медицине и косметологии, в телекоммуникационных технологиях, системах оптической памяти, регистрации и обработки изображений, дальнометрии, измерении скорости и дальности [1]. Широкий спектр областей применения лазерно-оптической техники, быстро растущий рынок лазерных и оптических изделий не могут развиваться без современного метрологического обеспечения [2, 3].

В Республике Беларусь приступили к формированию системы обеспечения единства измерений в области оптической радиометрии в середине 90-х гг. прошлого века одновременно с началом создания национальной системы эталонов единиц физических величин. Ведущая роль в этой работе принадлежит Белорусскому государственному институту метрологии (БелГИМ), на который, в соответствии с Законом Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений», Госстандартом Республики Беларусь возложены функции главного центра национальных эталонов. В работах по созданию системы обеспечения единства измерений в области оптической радиометрии БелГИМ

тесно сотрудничает с Институтом физики НАН Беларуси, являющимся ведущим научным учреждением в области лазерной физики и оптики. В 2000 г. во исполнение поручений Президента и Совета Министров Республики Беларусь в Институте физики создана лаборатория, осуществляющая метрологическое обеспечение лазерной техники, разрабатываемой, создаваемой и используемой в Республике Беларусь.

Национальные и исходные эталоны физических единиц в области лазерной техники и оптики

Основой системы обеспечения единства измерений в любой области измерений служат эталонная база страны и регламентированный порядок воспроизведения и передачи размеров единиц соответствующих величин до уровня рабочих средств измерений (СИ).

Ни одно участвующее в измерениях техническое средство не является СИ, пока не получит размер единицы от вышестоящего по поверочной схеме СИ, т.е. от эталона, что осуществляется путем проведения поверки или калибровки. Согласно определению, данному в СТБ П 8021-2003, «Эталон физической величины (эталон) – средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержден-

ное в качестве эталона в установленном порядке».

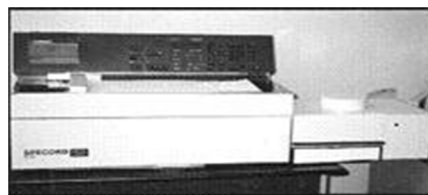
Можно встретить и другие определения, которые будут несколько отличаться от приведенного, но содержать все основные функции, для выполнения которых и существуют эталоны, – хранение, воспроизведение и передача размера единицы физической величины.

Цветовые характеристики несамосвещающихся объектов, а также спектральные коэффициенты направленного пропускания и диффузного отражения играют важную роль при оценке качества выпускаемой продукции в полиграфии, текстильной и пищевой промышленности и т.д.

В 2000 г. БелГИМ были завершены работы по созданию национального эталона единиц цвета и спектральных коэффициентов направленного пропускания и диффузного отражения в диапазоне длин волн от 0,2 до 2,5 мкм (рисунок 1) [4]. Калибровочные и измерительные возможности этого эталона представлены в таблице 1.

Создание эталона позволило обеспечить систему передачи размеров соответствующих единиц, посредством аттестованных наборов мер, калибруемым и поверяемым СИ: различным типам фотометров, спектрофотометров, колориметров и другим фотометрическим приборам и установкам.

Проведенные международные сличения обеспечили международное признание этого эталона.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Национальный эталон единиц цвета и спектральных коэффициентов направленного пропускания и диффузного отражения в диапазоне длин волн (0,2 – 2,5) мкм: а – спектрофотометр «SPECORD-M40»; б – спектрофотометр «CARY-500 SCAN»; в – наборы мер спектральных коэффициентов направленного пропускания и спектральных коэффициентов диффузного отражения в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра и набор цветных прозрачных и светоотражающих мер координат цвета X , Y , Z и координат цветности x , y

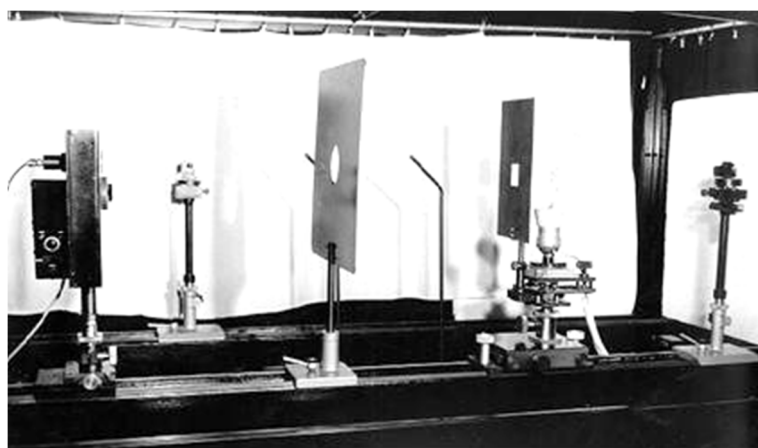


Рисунок 2 – Национальный эталон единиц силы света и освещенности

Калибровочные и измерительные возможности БелГИМ в области измерения спектральных коэффициентов диффузного отражения включены в приложение С «Соглашения о взаимном признании национальных эталонов, сертификатов калибровки и измерений» (CIPM MRA) и опубликованы на сайте Международного бюро мер и весов (BIMP) <http://kcdb.bipm.org/appendixC/> (Calibration and Measurement Capabilities – CMCs).

Единица измерения силы света – кандела, является одной из основных единиц Международной системы единиц SI. Институтом физики совместно с БелГИМ разработан и создан эталон единиц силы света и освещенности (рису-

нок 2), который в 2002 г. постановлением Госстандарта Республики Беларусь утвержден в качестве национального эталона [5].

Эталон является основой обеспечения единства измерений в фотометрии и предназначен для хранения и воспроизведения размера единиц силы света, освещенности и цветовой температуры (таблица 2).

Ряд проведенных международных сличений также позволил получить международное признание: калибровочные и измерительные возможности БелГИМ в области измерений силы света и освещенности включены в приложение С CIPM MRA и опубликованы на сайте BIMP [6–8].

Таблица 1

Калибровочные и измерительные возможности национального эталона единиц цвета и спектральных коэффициентов направленного пропускания и диффузного отражения

Измеряемая величина, калибруемая мера	Диапазон значений	Расширенная неопределённость (P=0,95; k=1,65)
Спектральные коэффициенты диффузного отражения, %	от 1,0 до 100,0	0,5 %
Спектральные коэффициенты направленного пропускания, %	от 1,0 до 99,0	0,12 %
Координаты цвета светоотражающих образцов, единиц цвета	X от 2,5 до 109,0 Y от 1,4 до 98,0 Z от 1,7 до 107,0	0,25 единиц цвета
Координаты цвета прозрачных образцов, единиц цвета	X от 2,5 до 109,0 Y от 1,4 до 98,0; Z от 1,7 до 107,0	0,1 единиц цвета
Координаты цветности светоотражающих образцов, единиц цветности	x от 0,0039 до 0,1000 y от 0,0048 до 0,1000	0,0007 единиц цвета
Координаты цветности прозрачных образцов, единиц цветности	x от 0,0039 до 0,1000 y от 0,0048 до 0,1000	0,0070 единиц цвета

Таблица 2

Калибровочные и измерительные возможности национального эталона единиц силы света и освещенности

Измеряемая величина, калибруемая мера	Диапазон величины	Расширенная неопределённость (P=0,95; k=1,65)
Сила света, кд	от 5 до 1 000	1,5 %
Освещенность, лк	от 1 до 2 000	2,0 %
Цветовая температура, К	от 2 360 до 2 860	15 К

В 2010 г. БелГИМ совместно с Институтом физики завершает модернизацию этого эталона, в результате которой будут расширены его функциональные возможности, что позволит обеспечить в Республике Беларусь единство измерений фотометрических и колориметрических характеристик не только ламп накаливания, но и других типов источников освещения, в том числе энергосберегающих.

Интенсивное развитие лазерной техники сопровождается не менее интенсивным развитием средств измерений характеристик лазерного излучения (ЛИ), что в свою очередь требует создания соответствующей эталонной базы и, в первую очередь, в области измерений основных энергетических величин ЛИ. В Институте физики разработан и создан эталон единицы средней мощности ЛИ (ЭСМЛИ) (рисунок 3), который приказом Госстандарта в 2006 г. утвержден в качестве исходного эталона Республики Беларусь. ЭСМЛИ предназначен для обеспечения единства измерений средней мощности непрерывного ЛИ в спектральном диапазоне от 0,4 до 12,0 мкм, хранения и воспроизведения размера единицы средней мощности непрерывного ЛИ в диапазоне от 50 до 1300 мВт и передачи эталонам более низкого разряда на фиксированных длинах волн.

В 2006–2007 гг. БелГИМ совместно с Институтом физики разработан и создан эталон единиц белизны (рисунок 4), который приказом Госстандарта утвержден в 2008 г. в качестве исходного эталона Республики Беларусь [9].

Калибровочные и измерительные возможности эталона (таблица 3) подтверждаются через прослеживаемость к международной единице белизны – эталону первого уровня ISO IR1.



а)



б)

Рисунок 3 – Исходный эталон единицы средней мощности лазерного излучения: а – общий вид эталона, б – оптико-механический блок эталона

Создание эталона обеспечивает единство измерений единиц индексов белизны на предприятиях бумажной, текстильной и химической промышленности республики в соответствии с отечественными стандартами, гармонизованными с международными нормами. Это позволяет повысить качество выпускаемой продукции, способствует ее выходу на международный рынок и повышает конкурентоспособность товаров белорусского производства.

Таблица 3

Метрологические характеристики исходного эталона единиц белизны

Измеряемая величина, калибруемая мера	Диапазон значений	Расширенная неопределённость (P=0,95; k=1,65)	
		для материалов, не содержащих ФОВ	для материалов, содержащих ФОВ
Яркость по ИСО R457, единиц белизны	от 0 до 200	0,5 единиц белизны	1,0 единиц белизны
Индекс белизны по МКО W10, единиц белизны	от 0 до 200	0,5 единиц белизны	1,0 единиц белизны

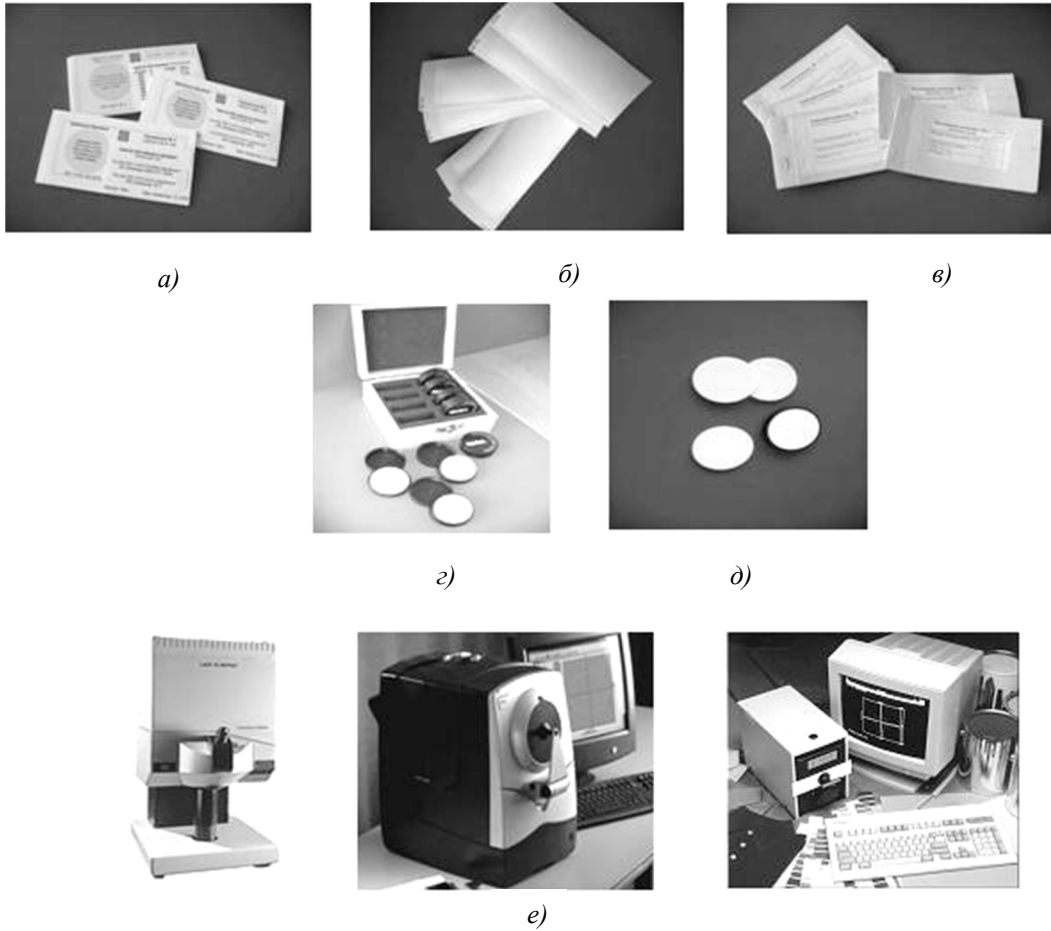


Рисунок 4 – Исходный эталон единиц белизны: *а* – комплекты исходных эталонов ISO IR3, выполненные из бумаги, не содержащей флуоресцентных оптических отбеливателей; *б* – нефлуоресцентный исходный эталон, включающий 10 мер белизны, изготовленных из молочного стекла MC-20; *в* – флуоресцентный исходный эталон, включающий 6 мер белизны, изготовленных из молочного стекла MC-20 с нанесенным флуоресцирующим покрытием; *г* – спектрофотометр «Elgrho 071» (измерительная геометрия d/0); *д* – спектрофотометр «X –Rite, серии 8400» (измерительная геометрия d/8); *е* – спектрофотометр «Color Eye – 2145» (измерительная геометрия 45/0)

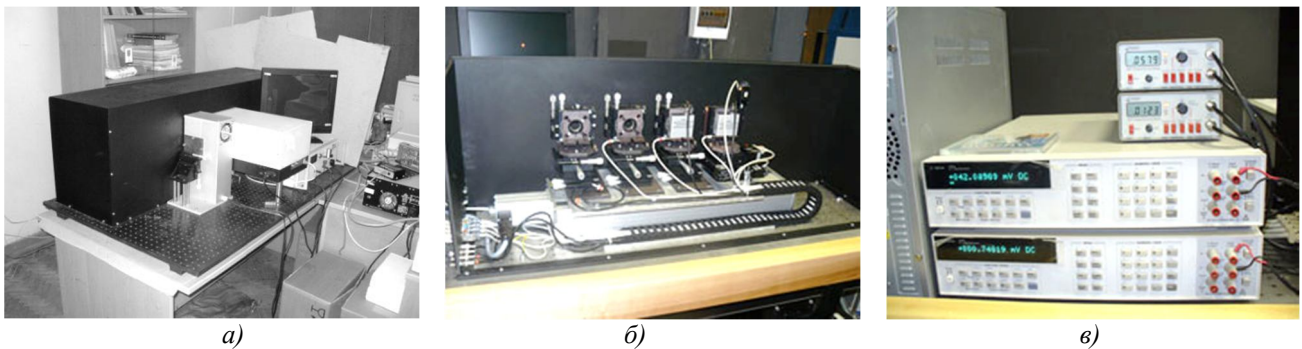


Рисунок 5 – Национальный эталон единицы спектральной чувствительности приемников излучения: *а* – общий вид эталона, *б* – блок калибруемых приемников и эталонный трап-детектор, *в* – регистрирующая аппаратура

В 2007–2009 гг. БелГИМ и Институтом физики разработан и создан эталон единицы спектральной чувствительности приемников излучения (СЧПИ), который постановлением Госстандарта утвержден в 2010 г. в качестве национального эталона Республики Беларусь (рисунок 5) [10].

С помощью эталона осуществляются воспроизведение, хранение и передача в спектральном диапазоне от 350 до 1100 нм размера единицы СЧПИ подчиненным эталонам и рабочим средствам измерений. Расширенная неопределенность измерений единицы СЧПИ не превышает 1 %. Эталон предназначен для исследования метрологических характеристик фотометров, люксметров, колориметров, применяемых в приборостроении, машиностроении, медицине, телевизионной технике, строительстве, а также для проведения научно-исследовательских работ в области спектрофотометрии и колориметрии.

Установки для метрологического обеспечения лазерной техники

В течение 2001–2009 гг. в Институте физики НАН Беларуси был создан комплекс установок высокой точности для измерения характеристик ЛИ при аттестации лазерных изделий и калибровки СИ характеристик ЛИ [2, 11–13]. Установки располагаются в научно-испытательной лаборатории лазерной техники и поляриметрии Института физики НАН Беларуси, аккредитованной в качестве испытательной (аттестат аккредитации ВУ/112 02.1. 0.0421) и в качестве калибровочной (аттестат аккредитации ВУ/112 02.5.0.0013) лаборатории. Основные характеристики ЛИ, которые должны указываться в технической документации на лазеры, определены в СТБ ИСО 11252-2005. Их можно разделить на пять групп: энергетические, временные, пространственные, спектральные и поляризационные.

Установка для измерения мощности ЛИ и калибровки СИ мощности ЛИ позволяет проводить измерения средней мощности ЛИ непрерывных и импульсно-периодических лазеров в динамическом диапазоне от 10^{-7} до 100 Вт с относительной стандартной неопределенностью, не превышающей 2 % в спектральной области от 0,4 до 10,6 мкм (рисунок 6).



Рисунок 6 – Установка для измерения мощности ЛИ и калибровки СИ мощности ЛИ

Передача размера единицы мощности ЛИ калибруемым СИ осуществляется на длинах волн 0,4; 0,53; 0,63; 0,81; 0,98; 1,06; 1,56 и 10,6 мкм. В режиме калибровки СИ установка работает по последовательной схеме, когда излучение поочередно подается на эталонное и калибруемое средство измерений.

Измерение энергии импульсных лазеров в спектральном диапазоне от 0,4 до 10,6 мкм осуществляется на установке для измерения энергии ЛИ и калибровки соответствующих СИ (рисунок 7).



Рисунок 7 – Установка для измерения энергии импульсов ЛИ и поверки СИ энергии импульсов ЛИ

Динамический диапазон измеряемой энергии от 10^{-8} до 100 Дж, диапазон воспроизведения размера единицы энергии от $5 \cdot 10^{-3}$ до 10 Дж.

Относительная стандартная неопределенность измерений энергии ЛИ для всех диапазонов не более 3 %, а передачи размера единицы энергии – не более 2 %.



Рисунок 8 – Установка для измерения временных характеристик импульсного ЛИ

В соответствии с требованиями стандарта ГОСТ ИСО 11554-2007 созданы установки для измерения стабильности мощности и энергии ЛИ. Стабильность мощности ЛИ определяется на основе расчета относительной статистической флуктуации мощности непрерывного ЛИ, измеряемой с заданной частотой за установленный промежуток времени, а стабильность энергии ЛИ – на основе измерений энергии 100 последовательных импульсов. Порог чувствительности в определении стабильности мощности ЛИ составляет 0,04 %, энергии импульсов – 0,09 %.

Установка для измерения временных характеристик ЛИ (рисунок 8) позволяет контролировать основные параметры импульсных лазеров в диапазонах длин волн и энергий от 0,4 до 1,7 мкм и от 10^{-3} до 0,1 Дж соответственно, при длительности импульсов излучения от 10^{-8} до 10^{-3} с.

Данная установка обеспечивает измерение пиковой мощности, длительности импульса, частоты следования импульсов и определение формы импульса ЛИ. Временное разрешение установки составляет $2 \cdot 10^{-9}$ с. Относительная стандартная неопределенность измерения временных характеристик импульсного ЛИ не превышает 5 %.

Динамические диапазоны измерений, проводимых на разных установках, можно расширить за счет ослабления излучения с помощью калиброванных ослабителей ЛИ. Для калибровки таких ослабителей создана установка, в которой коэффициенты ослабления определяются из соотношения многократно измеренной за выбранный интервал времени мощности ЛИ, падающего и прошедшего через ослабитель. Предельная относительная погрешность изме-

рения коэффициента ослабления не превышает 3 % в диапазоне его значений от 1 до 100.

Установка для определения пространственных характеристик ЛИ (рисунок 9) в соответствии с требованиями СТБ ИСО 11146-2006 обеспечивает измерение распределения плотности мощности или энергии в поперечном сечении лазерного пучка; вычисление координат энергетического центра (центроида); вычисление гауссовой аппроксимации профиля пучка и параметров корреляции с гауссовым пучком; определение диаметра и ширины пучка на основании вычислений вторых моментов функции распределения плотности мощности (энергии) ЛИ, а также с использованием трех альтернативных методов; измерение углов расходимости ЛИ и параметра качества пучка M^2 ; определение положения оси диаграммы направленности излучения, местоположения перетяжки и диаметра (ширины) пучка в перетяжке; вычисление параметров однородности пучка; статистическую обработку измеряемых параметров, их запоминание, отображение информации на дисплее ПК [2, 11, 10].

Установка позволяет проводить измерение пространственных характеристик ЛИ в спектральном диапазоне от 0,4 мкм до 1,8 мкм. Относительная стандартная неопределенность измерений пространственных характеристик ЛИ не превышает: для пространственного распределения мощности (энергии) – 3,9 %; диаметра пучка – 1,8 %; ширины пучка – 2,4 %; угла расходимости – 0,6 %; параметра качества пучка – 1,3 %.

Комплекс аппаратуры для измерения спектральных характеристик ЛИ (рисунок 10) в соответствии с требованиями СТБ ИСО 13695-2005 включает три установки, содержащие в

качестве основных спектральных приборов спектрограф с двойной дисперсией, дифракционный монохроматор на основе эшелле-решетки, измеритель длин волн на базе интерферометров Физо, сканирующие интерферометры Фабри-Перо [13].

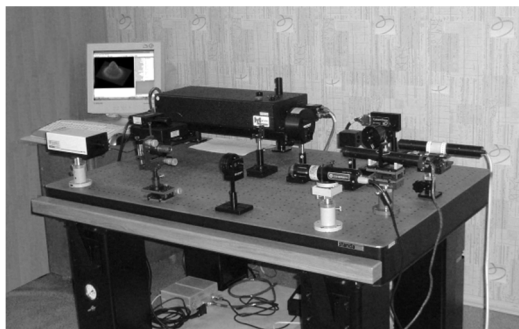
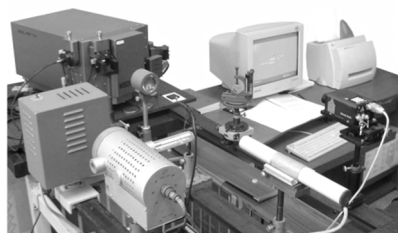
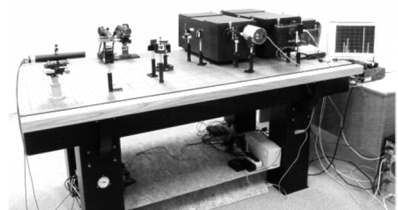


Рисунок 9 – Установка для измерения пространственных характеристик ЛИ



а)



б)



в)

Рисунок 10 – Комплекс установок для измерения спектральных характеристик широкополосных (а), многомодовых (б) и одночастотных (в) лазеров

Установки комплекса позволяют определять спектральное распределение мощности (энергии) ЛИ и измерять основные спектраль-

ные характеристики (среднюю взвешенную, центральную длину волны, длину волны пиковой интенсивности, спектральную ширину, среднеквадратическую спектральную ширину полосы, спектральную ширину линии, межмодовое расстояние, число продольных мод, коэффициент подавления боковой моды, дисперсию Алана, зависимости смещения длины волны от условий работы) широкополосных (рисунок 10, а), многомодовых (рисунок 10, б) и одночастотных (рисунок 10, в) лазеров в спектральном диапазоне от 300 до 1700 нм. Относительная стандартная неопределенность измерения длины волны в зависимости от типа лазеров составляет от 10^{-7} до 10^{-3} .

Установка для определения поляризационных характеристик ЛИ (рисунок 11) позволяет проводить измерение степени и азимута поляризации, угла эллиптичности ЛИ, а также разности фаз ортогонально поляризованных компонент излучения, возникающей при прохождении излучения через анизотропные оптические элементы в спектральном диапазоне от 400 до 1600 нм.



Рисунок 11 – Установка для измерения поляризационных характеристик ЛИ

Стандартная неопределенность измерения степени поляризации ЛИ и разности фаз ортогонально поляризованных компонент излучения не превышает 0,015 и 0,05 радиан соответственно.

В настоящее время создается установка для измерения пространственного распределения излучения лазерных диодов и силы света светодиодов и светодиодных осветителей в соответствии с требованиями публикации Международной комиссии по освещению № 127 «Measurement of LEDs» 2007 г.

Развитие эталонно-измерительной базы метрологического обеспечения лазерной и оптической техники

В связи с непрерывным совершенствованием и созданием новых типов лазерных и оптических приборов, а также СИ параметров и характеристик оптического, в том числе ЛИ, возникает необходимость как в разработке и изготовлении новых эталонов и высокоточных измерительных установок, так и в их модернизации. Так, в ближайшие пять лет необходимо расширить динамические и спектральные диапазоны измерений ряда существующих установок. В 2011–2014 гг. планируется создание эталона единиц средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптических систем связи и передачи информации (ВОСП).

Эталон предназначен для воспроизведения, хранения и передачи размера единицы средней мощности излучения от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ Вт с относительной стандартной неопределенностью, не превышающей 0,002, единицы ослабления в диапазоне от 0,05 до 60,00 дБ со стандартной неопределенностью, не превышающей 0,2 дБ, единицы длины волны оптического излучения в спектральной области от 0,85 до 1,70 мкм с относительной стандартной неопределенностью, не превышающей 10^{-7} .

В 2012–2015 гг. планируется создание эталона единицы светового потока, который позволят воспроизводить, хранить и передавать размер единицы светового потока в диапазоне от 500 до 1500 лм, при относительном среднем квадратическом отклонении результатов измерений не хуже $0,2 \cdot 10^{-2}$.

Создание новых эталонов, модернизация существующих измерительных установок позволит расширить номенклатуру измеряемых, хранимых и передаваемых физических величин, динамический, спектральный и временной диапазоны измерительных установок, в более полном объеме удовлетворять потребности организаций Республики Беларусь в метрологическом обеспечении лазерно-оптической техники.

Заключение

Проведенные исследования состояния метрологического обеспечения в области оптической радиометрии позволяют сделать вывод,

что в Республике Беларусь создана основа эталонной базы в данной области. Для улучшения качества выпускаемых в республике высокотехнологичных оптико-механических и оптико-электронных приборов, изделий, узлов и лазерных систем, для повышения конкурентоспособности товаров белорусского производства на международном рынке необходимо дальнейшее развитие и модернизация этой базы.

Список цитируемых источников

1. Крутиков, В. Н. Нормативное и метрологическое обеспечение лазерной техники / В. Н. Крутиков // Лазерная индустрия: материалы симпозиума, Москва, 3-5 июля 2002 г. – М., 2002. – С. 6–7.
2. Длугунович, В. А. Метрологическое обеспечение лазерной техники в Республике Беларусь / В. А. Длугунович, В. Н. Снопко // Наука и инновации. – 2007. – № 7 (53). – С. 27–32.
3. Livigni, D. L. High accuracy laser power and energy meter calibration service / D. L. Livigni // NIST Spec. Publ. – 2003. – No 250–62. – P. 1 – 144.
4. Хайрова, Н. В. Национальный эталон координат цвета и спектральных коэффициентов направленного пропускания и диффузного отражения / Н. В. Хайрова, О. Б. Тарасова // Метрология и приборостроение. – 2001. – № 3/4. – С. 15 – 18.
5. Плюта, В. Е. Национальный эталон единицы силы света и освещенности / В. Е. Плюта [и др.] // Метрология и приборостроение. – 2002. – № 3/4. – С. 15 – 17.
6. Никоненко, С. В. Двухсторонние сличения единицы силы света на эталонах Беларуси и Польши / С. В. Никоненко [и др.] // Светотехника. – 2006. – №3. – С. 41 – 43.
7. Тарасова, О. Б. Двухсторонние сличения по освещенности национальных эталонов силы света Республики Беларусь и Украины / О. Б. Тарасова, А.Д. Купко, С.В. Никоненко// Метрология и приборостроение. – 2004. – № 3. – С. 12 – 14.
8. Тарасова, О. Б. О ходе работ по проведению сличений силы света на эталонах БелГИМ (Беларусь), ВНИИОФИ (Россия) и SMU (Словакия) / О. Б. Тарасова, С. В. Никоненко// Метрология и приборостроение. – 2008. – № 1. – С. 6 – 7.
9. Исходный эталон единиц белизны Республики Беларусь / Т. В. Атамась [и др.] // Забезпечення єдності вимірювань фізико-хімічних та оптико-фізичних величин: ХІММЕТ-3-2008: Матеріали ІІІ Міжнар. наук.-практ. конф.,

(Киев, 11 – 13 листопада 2008 р.) / уклад.: М.С.Рожнов, М.М.Урда. – К.: ТОВ «АВЕГА», 2008. – С. 40–42.

10. *Тарасова, О. Б.* Национальный эталон единицы спектральной чувствительности приемников излучения /О. Б. Тарасова [и др.]/ Метрология и приборостроение. – 2010. – № 2. – С. 6 – 12.
11. *Длугунович, В. А.* Техническая основа метрологического обеспечения лазерной техники в Республике Беларусь /В. А. Длугунович, А. В. Исаевич, В. Н. Снопко // КАЧЕСТВО, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА: Материалы 8-й Междунар. науч.-практ. конф., 23 – 26 сентября 2008 г.,

Ялта. – Киев : АТМ Украины, 2008. – С. 44–46.

12. *Исаевич, А. В.* Измерение пространственных характеристик лазерного излучения / А. В. Исаевич // Метрология и метрологическое обеспечение. Тезисы докл. Межд. научно-техн. конф. / Под общ. Ред. В. Н. Корешкова и др. – Мн.: БелГИМ, 2007.– С. 226–230.
13. *Исаевич, А. В.* Комплекс установок для измерения спектральных характеристик лазерного излучения / А. В. Исаевич, А. В. Холенков, В. С. Черников // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. физ.-мат. науки. – 2008. – № 6. – С. 137–145.

Galygo A. V., Hairova N. V., Tarasova O. B., Dlugunovich V. A., Isaevich A. V., Nikanenka S. V., Sнопко V. N.

State standards of the Republic of Belarus in optical radiometry

The results of joint activities of the BelGIM and the Institute of Physics of the NAS of Belarus on the construction and modernization of state standards of the physical units in optical radiometry, as well as the high accuracy measurement facilities for test the energy, temporal, spatial, spectral and polarization characteristics of laser equipments and calibration of devices for measuring the energy characteristics of laser radiation are presented.

Поступила в редакцию 12.11.2010.