

Разработка новых фотометрических эталонов на основе мощных светодиодов

Е.А. ИВАШИН^{1,3}, Б.Б. ХЛЕВНОЙ¹, С.С. ШИРОКОВ¹, Е.В. ТИЩЕНКО²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений (ФГУП «ВНИИОФИ»), г. Москва

² Московский государственный университет имени Ломоносова, г. Москва

E-mail: ivashin@vniiofi.ru

Аннотация

Приведено описание конструкции и результатов исследований стабильности и фотометрических характеристик новых мощных (> 10 Вт) термостабилизированных светодиодных источников света для передачи единиц силы света, светового потока и, в перспективе, полного потока излучения.

Ключевые слова: светодиод, сила света, пространственное распределение силы света, световой поток, стабилизация температуры с обратной связью.

1. Введение.

Для передачи размера единиц силы света и светового потока в настоящее время используются лампы накаливания. Использование ламп накаливания общего назначения и галогенных ламп накаливания сопряжено с рядом трудностей: сложность поиска и отбора стандартных образцов с требуемыми параметрами стабильности и уровня силы света или светового потока; невозможность использования для различных уровней светового потока одного стандартного образца при различных параметрах электропитания; постоянное сокращение объёмов производства ламп накаливания в связи

с развитием светодиодной промышленности [1]. Применение термостабилизированных светодиодов (СД) имеет важное преимущество для производств, выпускающих продукцию на основе СД. При контроле качества продукции на основе СД калибровка оборудования по СД с аналогичным спектральным составом излучения позволяет повысить точность измерений, не требуя при этом длительных по времени спектральных измерений, а, следовательно, не увеличивая время на обработку результатов [2–4].

В качестве замены ламп типа СИС 40–100, СИС 107–500, СИС 107–1000, СИП 24–10, СИП 107–500, СИП 107–1000 и СИП 107–1500 предлагаются разработанные во ВНИИОФИ источники света (ИС) на основе термостабилизированных СД.

2. Отбор светодиодов

Конструкция термостабилизирующего корпуса СД разрабатывалась таким образом, чтобы в случае изменения типов СД, применяемых при производстве продукции заводом-изготовителем, была возможность замены используемого в данный момент СД на другой СД. Это позволит в кратчайшие сроки изменять набор стандартных калибровочных образ-

цов у производителей осветительных и иных устройств на основе СД.

В качестве экспериментальных образцов были отобраны СД разной мощности и спектрального состава.

Эксперименты по исследованию стабильности световых параметров проводились на образцах со следующими электрическими мощностями: 1, 10, 36 и 78 Вт. Кроме того, образцы были отобраны таким образом, чтобы охватить различные типы теплоотводящих оснований: СД мощностью 1 и 10 Вт были выбраны для установки на алюминиевом теплоотводе, а светодиоды мощностью 36 и 78 Вт – на керамическом теплоотводе. Перед сборкой термостабилизированных ИС СД подверглись предварительному отжигу в течение 250 ч [5, 6]. После окончательной сборки СД дополнительно отжигались в течение 100 ч в рабочем режиме (со стабилизацией температуры).

3. Конструкция

3.1. Источник света

Конструкция ИС предусматривает 2 стандартных варианта: с применением оптических элементов, гомогенизирующих пространственное распределение спектральной плотности силы излучения, и без них. Необходимость применения оптических элементов для уменьшения неоднородности пространственного распределения спектральной плотности силы излучения обусловлена необходимостью калибровки гониофотометров по этим стандартным образцам.

В качестве датчика системы контроля температуры диода было выбрано платиновое термосопротивление Pt-1000, что обусловлено высокой ста-

Рис. 1. Устройство термостабилизированных ИС на основе COB (chip-on-board) СД с оптическими элементами (слева) и без оптических элементов (справа). 1 – COB СД; 2 – элемент Пельтье; 3 – медное основание для элемента Пельтье; 4 – радиатор; 5 – вентилятор; 6 – диафрагма; 7 – матовое стекло; 8 – трубка из политетрафторэтилена; 9 – точка с известным тепловым сопротивлением до светодиодных кристаллов (в этой точке установлено термосопротивление)

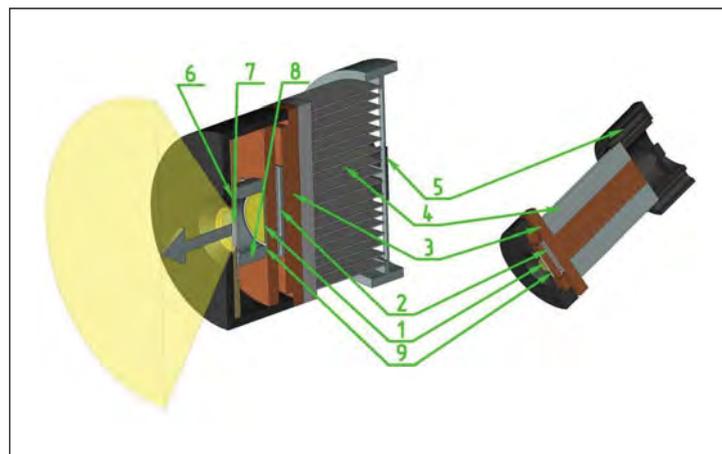


Рис. 2. Блок-схема устройства управления ИС

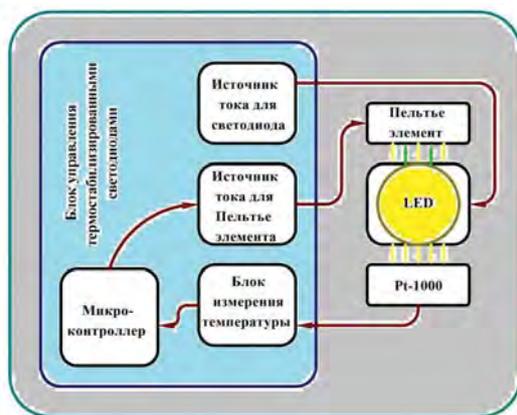
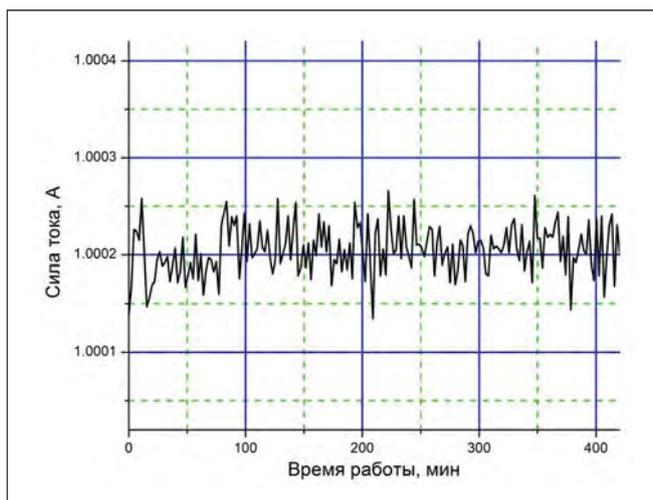


Рис. 3. Стабильность источника тока, питающего СД



бильностью и воспроизводимостью датчиков данного типа. Для активной стабилизации по температуре применяется элемент Пельтье.

Радиаторы были подобраны из промышленно-изготавливаемых в соответствии с ожидаемой рассеиваемой мощностью; далее, в процессе сборки конструкции, они проходят доработку. Внутренние теплопроводящие элементы изготавливаются из меди. Выходная диафрагма выполнена из латуни. Внешний корпус изготавливается из пластика.

Конструкции ИС с использованием оптических элементов и без использования оптических элементов представлены на рис. 1.

СД 1 располагается на медной пластине, которая выполняет роль теплового аккумулятора с целью улучшения параметров термостабилизации и плавности изменения температуры самого СД. Для обеспечения угловой однородности спектральных характеристик излучения в конструкции ИС первого типа (рис. 1, слева) применены специальные оптические элементы в виде тубуса из политетраф-

торэтилена (фторопласта) 8 и стекла марки МС-23 с матированием 7. Выходным окном ИС является диафрагма 6. В конструкции с дополнительными оптическими элементами (рис. 1, справа) диаметр выходного окна составляет 20 мм; во втором варианте исполнения диаметр выходного окна зависит от применяемого СД. Медная пластина с СД располагается на элементе Пельтье 2, при помощи которого осуществляется регулировка температуры СД. Сам элемент Пельтье установлен на медную пластину 3 с радиатором 4 с активным охлаждением вентилятором 5. Площадь поверхности радиатора зависит от мощности стабилизируемого СД и применяемого элемента Пельтье.

3.2. Устройство управления

3.2.1. Конструкция

Блок-схема устройства управления термостабилизированными светодиодами ИС приведена на рис. 2.

Устройство управления состоит из источника тока, питающего СД, источ-

ника питания для элемента Пельтье, блока измерения температуры и блока управления, регулирующего параметры питания элемента Пельтье в зависимости от температуры СД.

Устройство управления имеет возможность подключения к персональному компьютеру для реализации дополнительных алгоритмов стабилизации ИС. Кроме того, при подключении к персональному компьютеру есть возможность программного управления источником тока для питания СД, источником питания элементов Пельтье и блоком измерения температуры датчиком типа Pt-1000.

3.2.2. Основные параметры.

Источник тока, питающий СД, является стабилизированным источником с дискретностью установки тока $30 \cdot 10^{-6}$ А. Стабильность источника тока составляет 10^{-4} А за 10 ч непрерывной работы. Точность установки тока равна 10^{-4} А. Дискретность установки силы тока источника питания элемента Пельтье составляет $50 \cdot 10^{-6}$ А. Малый шаг установки тока элемента Пельтье обеспечивает высокоточную стабилизацию температуры СД даже при незначительном изменении температуры окружающей среды. Дискретность измерения температуры при помощи термосопротивления составляет $0,01$ °С. Устройство управления генерирует управляющий сигнал для источника питания элемента Пельтье на основе данных об изменении температуры СД.

Стабильность источника тока для питания СД исследовалась при помощи измерения падения напряжения на внешнем шунтирующем сопротивлении. Для измерения напряжения был выбран вольтметр модели 3458А компании Agilent. В качестве шунта использовалась катушка электрического сопротивления P310 с номинальным сопротивлением 0,1 Ом. Для исключения погрешности, связанной с нагревом шунта, его температура в процессе измерения контролировалась. График стабильности источника тока для питания СД представлен на рис. 3, и из него следует, что отклонение от среднего значения тока составляет $\pm 0,01$ %, и при этом нестабильность в течение 7 ч работы составляет менее чем 0,005 %. Стабильность температуры СД, обеспечиваемая описанным устройством управления, составляет

$\pm 0,01$ °C при температуре помещения 22 ± 2 °C.

4. Исследование фотометрических параметров термостабилизированных светодиодов при питании специально разработанным устройством управления

В данной статье отражены исследования фотометрических параметров светодиодного ИС, имеющего конструкцию первого типа (с применением тубуса из политетрафторэтилена и матового стекла).

Выход на рабочий режим, включая время на стабилизацию температуры, составляет не более чем 0,5 ч. График выхода СД на рабочий режим при номинальном токе 1 А и температуре стабилизации 36 °C представлен на рис. 4а. Стабильность силы света светодиодных ИС отражена на рис. 4б, и она составляет $\pm 0,02$ % на протяжении 7 ч непрерывной работы ИС.

Воспроизводимость по силе света составляет менее чем 0,02 % за более чем 30 циклов включения и переюстировки. Сила света образца составляет 631 кд [7].

Стабильность и воспроизводимость по световому потоку аналогична стабильности и воспроизводимости по силе света, поскольку единица светового потока передаётся гониофотометрическим методом [7–9]. Величина светового потока данного образца составляет 1500 лм.

На рис. 5а приведено пространственное распределение силы света ИС, позволяющее сделать вывод об однородности фотометрического тела ИС, которая обеспечивается вставкой из фторопласта и матовым стеклом. Неоднородность силы света в различных меридиональных плоскостях для азимутальных углов в диапазоне $\pm 70^\circ$ относительно фотометрической оси ИС составляет не более 2 %.

На рис. 5б приведены зависимости координат цветности ИС от угла наблюдения. Изменение координат цветности в зависимости от угла наблюдения составляет $\Delta x = 0,006$ и $\Delta y = 0,005$, что позволяет говорить о высокой спектральной однородности фотометрического тела ИС. Спектральная однородность ИС позволяет минимизировать погрешность, связанную с неточностью коррекции фотометров под кривую видности че-

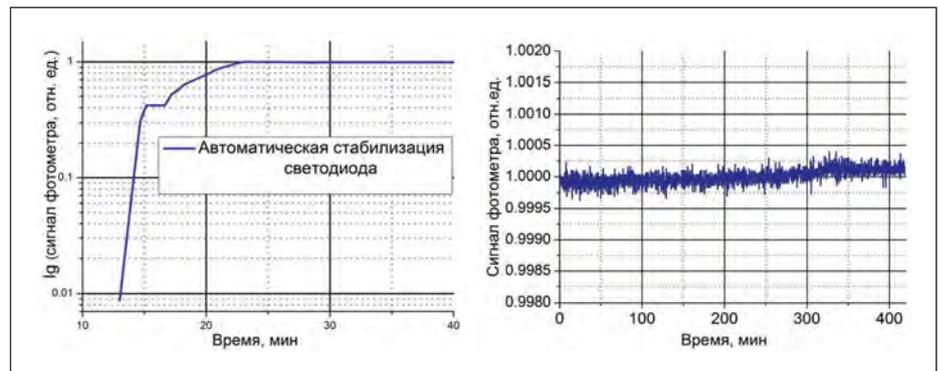


Рис. 4. Выход ИС на рабочий режим (а) и стабильность силы света источника на протяжении 7 ч непрерывной работы (б)

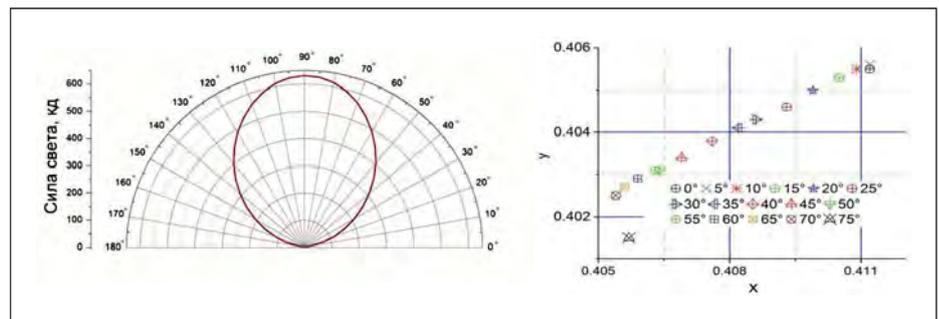


Рис. 5. Пространственное распределение силы света ИС (а) и зависимость координат цветности излучения ИС от угла наблюдения (б)

ловеческого глаза. Коррелированная цветовая температура ИС составляет 3500 К.

5. Заключение

В работе представлены разработанные и исследованные во ФГУП «ВНИИОФИ» эталонные термостабилизированные ИС на основе мощных СД. Их особенностью является электрическая мощность стабилизируемых СД, которая может достигать 78 Вт, тогда как ранее термостабилизированные СД имели мощность не более чем 5 Вт [5, 6]. В ходе работы были разработаны и исследованы образцы со световыми потоками в диапазоне от 10 до 2500 лм. Результаты исследований продемонстрировали высокую стабильность и воспроизводимость новых ИС. В дальнейшем планируется введение этих ИС в государственный реестр средств измерений с целью применения их для поверки и калибровки фотометрических комплексов, используемых для измерения параметров СД и продукции на их основе.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования высокоточных измерительных технологий в обла-

сти фотоники (срк.vniiofi.ru), 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).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zwinkels, L.C.* CCPR Activities Related to LED-based Calibration Standards // CIE Lighting Quality and Energy Efficiency Conference. Melbourne, Australia, 2016. https://www.researchgate.net/publication/298212170_CCPR_Activities_Related_to_LED-based_Calibration_Standards.
2. *Blattner, P.* CIE report to CCPR2016. https://www.bipm.org/cc/CCPR/Allowed/23/CCPR16_42_CIE_report_to_CCPR.pdf
3. *Ohno, Y. et al.* LED Sources in Photometry at NIST // Report to CCPR2016. https://www.bipm.org/cc/CCPR/Allowed/23/CCPR16_47_Y_Ohno_LED_sources_in_photometry_at_NIST_for_CCPR_2016-11-07.pdf
4. *Zama, T.* NMIJ Research Activities relevant to LED Sources for Photometry // Report to CCPR2016. https://www1.bipm.org/cc/CCPR/Allowed/23/CCPR16_46_NMIJ_Activities_LED_sources_Photometry.pdf
5. *Gerloff, T., Lindemann, M., Shirokov, S., Taddeo, M., Pendsa, S., Sperling, A.* Develop-

ment of a new high-power LED transfer standard // CIE Proceedings 2012. https://www.researchgate.net/publication/293172050_Development_of_a_new_high-power_LED_transfer_standard.

6. Lindemann, M., Maass, M. Photometry and Colorimetry of Reference LEDs by Using a Compact Goniophotometer // MAPAN – Journal of Metrology Society of India – Vol. 24, No. 3.

7. CIE127; 2007 (2nd edition); Measurement of LEDs.

8. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. / М.: Знак. 2006. – 972 с.

9. Тиходеев П.М. Световые измерения в светотехнике / М. – Л.: Государственное энергетическое издательство, 1962. – 464 с.

Краткое сообщение

О разработке профессиональных стандартов в области светотехники

В 2017–2018 гг. для предприятий nanoиндустрии разрабатываются профессиональные стандарты: «Специалист по разработке световых приборов со светодиодами» и «Специалист по световому дизайну и проектированию инновационных осветительных установок». Это первые профессиональные стандарты в области светотехники. Профессиональный стандарт – характеристика квалификации, необходимой работнику для осуществления определённого вида профессиональной деятельности, в том числе выполнения определённой трудовой функции.

Профессиональные стандарты разрабатываются и применяются согласно статье 195.2 и статье 195.3 Трудового кодекса Российской Федерации. Профессиональные стандарты являются основой для разработки профессиональных государственных образовательных стандартов (ФГОС).

Этапы разработки стандартов:

I этап 10 мая 2017 года – 19 сентября 2017 года

Разработка квалификационной структуры квалификационных требований

Проведение исследования видов трудовой деятельности

Разработка проектов квалификационных требований

Проведение профессиональной (непубличной) экспертизы

II этап 02 октября 2017 года – 05 декабря 2017 года

Преобразование квалификационных требований в формат профессиональных стандартов в макете Минтруда России

Проведение профессиональной (публичной) экспертизы

III этап 18 декабря 2017 года – 06 апреля 2018 года

Проведение профессионально-общественного обсуждения

Сопровождение, доработка и согласование проектов профессиональных стандартов по результатам профессионально-общественного обсуждения

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении, высказать свои пожелания и оказать поддержку представленным проектам. Стандарты размещены на сайте ООО «ВНИСИ» www.vnisi.ru, а также на официальных сайтах:

– Министерства труда и социальной защиты РФ <http://www.rosmintrud.ru>;

– Всероссийского научно-исследовательского института труда Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации <http://www.vcot.info>;

– Национального Агентства Развития Квалификаций (НАРК) <http://www.nark-rspp.ru>;

– Межотраслевого объединения nanoиндустрии <http://www.monrf.ru>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 12 апреля 2013 г. № 148н «Об утверждении уровней квалификации в целях разработки проектов профессиональных стандартов»,

2. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29 апреля 2014 г. № 170н «Об утверждении методических рекомендаций по разработке профессионального стандарта»,

3. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29 сентября 2014 г. № 665н «О внесении изменений в Макет профессионального стандарта, утверждённый приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 12 апреля 2013 г. № 147н»,

4. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29 сентября 2014 г. № 666н «Об утверждении методических рекомендаций по организации профессионально-общественного обсуждения и экспертизы проектов профессиональных стандартов»,

5. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29 сентября 2014 г. № 667н «О реестре профессиональных стандартов (перечне видов профессиональной деятельности)»,

6. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 30 сентября 2014 г. № 671н «Об утверждении методических рекомендаций по организации профессионально-общественного обсуждения и экспертизы проектов профессиональных стандартов».

к.т.н. Юшков Д.Д.



Ивашин Евгений Андреевич. Окончил МГТУ «Станкин». Ведущий инженер ФГУП «ВНИИОФИ»



Хлевной Борис Борисович, кандидат техн. наук. Окончил МГУ им. М.В. Ломоносова. Начальник лаборатории ФГУП «ВНИИОФИ»



Широков Станислав Сергеевич. Окончил МГУ им. М.В. Ломоносова. Инженер 1 категории ФГУП «ВНИИОФИ»



Тищенко Евгений Викторович. Окончил МГУ им. М.В. Ломоносова. Учится в магистратуре МГУ им. М.В. Ломоносова