

# Референсные светодиодные источники излучения для ультрафиолетовых диапазонов спектра СIE В и С

С.В. Никоненко, А.В. Данильчик, Е.В. Луценко

Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости, 68–2, 220072, Минск, Республика Беларусь  
s.nikonenko@dragon.bas-net.by

## Аннотация

Статья посвящена референсным источникам излучения для ультрафиолетовых (УФ) диапазонов спектра СIE В и С. УФ излучение широко используется для решения различных прикладных и научных задач. Эффективность, качество и безопасность работ, выполняемых с использованием УФ излучения, в значительной мере определяются качеством метрологического обеспечения этих работ.

В метрологическом обеспечении в УФ диапазоне спектра существует ряд проблем. Во-первых, это существенное снижение точности передачи размера единиц от национальных эталонов соответствующих оптических величин рабочим средствам измерения в диапазонах УФ излучения СIE А (от 400 до 315 нм) и особенно В (от 315 до 285 нм) и С (от 285 до 200 нм). Во-вторых, при измерении в диапазонах СIE А, В и С необходимо использовать приемник с постоянной спектральной чувствительностью внутри этих диапазонов и нулевой вне ее, что весьма проблематично из-за отсутствия качественных УФ фильтров. В-третьих, точность результатов измерения оптических характеристик УФ излучения существенно снижается из-за отличия спектральных распределений интенсивности излучения испытуемого и эталонного (референсного) источников излучения. В-четвертых, можно прогнозировать, что в ближайшие 5 лет традиционные источники УФ излучения будут заменены на УФ светодиоды во многих приложениях. Однако традиционные методы измерения характеристик и параметров оптического излучения, разработанные ранее, не в полной мере применимы к излучению светодиодов.

Одним из перспективных способов повышения точности измерений в УФ диапазоне спектра является применение референсных источников излучения, созданных на основе светодиодов, вследствие их стабильности и большого времени жизни. В Институте физики НАН Беларуси разработаны референсные светодиодные источники излучения для УФ диапазонов спектра СIE В и С.

Приведено описание конструкции созданных референсных источников. Рассматриваются результаты исследования спектральных, энергетических и пространственных характеристик излучения референсных источников излучения, а также влияние на эти характеристики конструктивных элементов.

**Ключевые слова:** ультрафиолет, измерение, светодиоды, референсный источник излучения СIE.

Получено: 05.02.2019

Отредактировано: 11.03.2019

Одобрено к печати: 18.03.2019

## Введение

Ультрафиолетовое (УФ) излучение широко используется для решения различных прикладных и научных задач: идентификации химических веществ и биологических объектов; проверки подлинности документов и денег; в полиграфии и производстве изделий из фотополимеров; в искусствоведении; в экологическом мониторинге; при производстве люминесцентных ламп и красок; в тепличном хозяйстве и т. п. Особенно актуально применение УФ излучения для медицины и связанной с ней санитарии и косметологии, а также пищевой промышленности. Благодаря различным механизмам воздействия на живые организмы (инактивация, денатурация и коагуляция белков,

фотолиз, фотооксидация, фотосинтез, фотоизомеризация и др.) УФ излучение существенно влияет на процессы, протекающие в живом организме. Однако воздействие УФ излучения на человека может быть крайне опасным, вызывать повреждение ДНК и раковые заболевания, подавлять иммунитет. При этом относительные отличия в уровне мощности, длительности воздействия и спектральном распределении мощности УФ излучения при полезном или отрицательном, а зачастую и фатальном воздействии могут не превышать нескольких процентов [1, 2]. Поэтому эффективность, качество и безопасность работ, выполняемых с использованием УФ излучения, в значительной мере определяются качеством метрологического обеспечения этих работ.

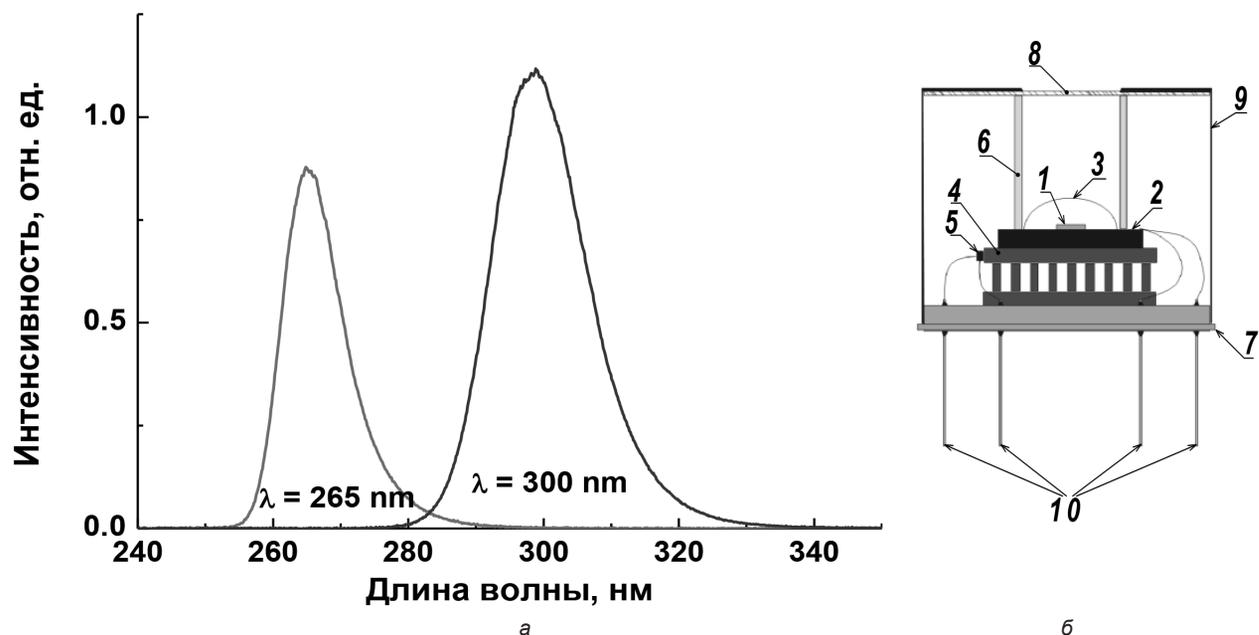


Рис. 1: а – спектральное распределение излучения референсных источников, излучающих на длинах волн 265 и 300 нм при токе 100 мА; б – конструкция референсного СИД монохромного излучения

### Проблемы измерения оптических величин в УФ диапазоне спектра

Одной из наиболее важных задач в области оптической радиометрии является совершенствование эталонной и методической базы для УФ диапазона спектра, что обусловлено рядом проблем. Во-первых, это проблема точности передачи размера единиц от национальных эталонов соответствующих оптических величин рабочим средствам измерения в диапазонах УФ излучения СИЕ: А (от 400 до 315 нм), В (от 315 до 285 нм) и С (от 285 до 200 нм). Во-вторых, общим недостатком при использовании в калибровочных процедурах ламп является то, что при калибровке в диапазонах СИЕ А, В и С необходимо использовать приемник с постоянной спектральной чувствительностью внутри этих диапазонов и нулевой вне ее, что весьма проблематично из-за отсутствия качественных УФ фильтров. В-третьих, на точность результатов измерения оптических характеристик УФ излучения оказывает влияние отличие спектральных распределений мощности излучения испытуемого и эталонного (референсного) источников излучения [3]. В-четвертых, появление твердотельных источников излучения — УФ светодиодов (СИД) позволяет прогнозировать замену во многих приложениях в ближайшие 5 лет традиционных источников УФ излучения на СИД, которые характеризуются высокими уровнями мощности излучения и высокой стабильностью излучения. Однако традиционные методы измерения характеристик и параметров оптического излучения, разработанные ранее [4, 5], не в полной мере применимы к излучению СИД и даже в видимом диапазоне имеют значимые от-

личия. Для решения такой проблемы СИЕ в 2016 г. создал новый технический комитет ТК 2–87, основной целью которого является подготовка рекомендаций по методам характеристики и калибровке широкополосных УФ радиометров в спектральном диапазоне от 320 до 420 нм для промышленных применений. Одним из способов реализации этой цели является стандартизация требований к референсному твердотельному источнику излучения и стандартизация процедуры его применения при калибровке радиометров.

Таким образом, так как ламповые источники УФ излучения не обеспечивают необходимый уровень точности при проведении калибровочных работ в УФ диапазонах спектра СИЕ А, В и С, для повышения точности и соответственно качества этих работ требуется создание новых типов эталонных (референсных) источников излучения.

### Модель референсного источника монохроматического УФ излучения

Отметим, что в настоящее время создан ряд эталонных (референсных) источников излучения для диапазона СИЕ А на основе СИД, которые, несмотря на существенные отличия конструкции, обеспечивают основные требования по стабильности, мощности излучения, равномерности распределения излучения и времени жизни [6–9]. Вместе с тем до недавнего времени для диапазонов СИЕ В и С создание референсных источников излучения на основе СИД было затруднено из-за отсутствия пригодных для этого СИД.

В Институте физики НАН Беларуси ранее была предложена конструкция референсного мо-

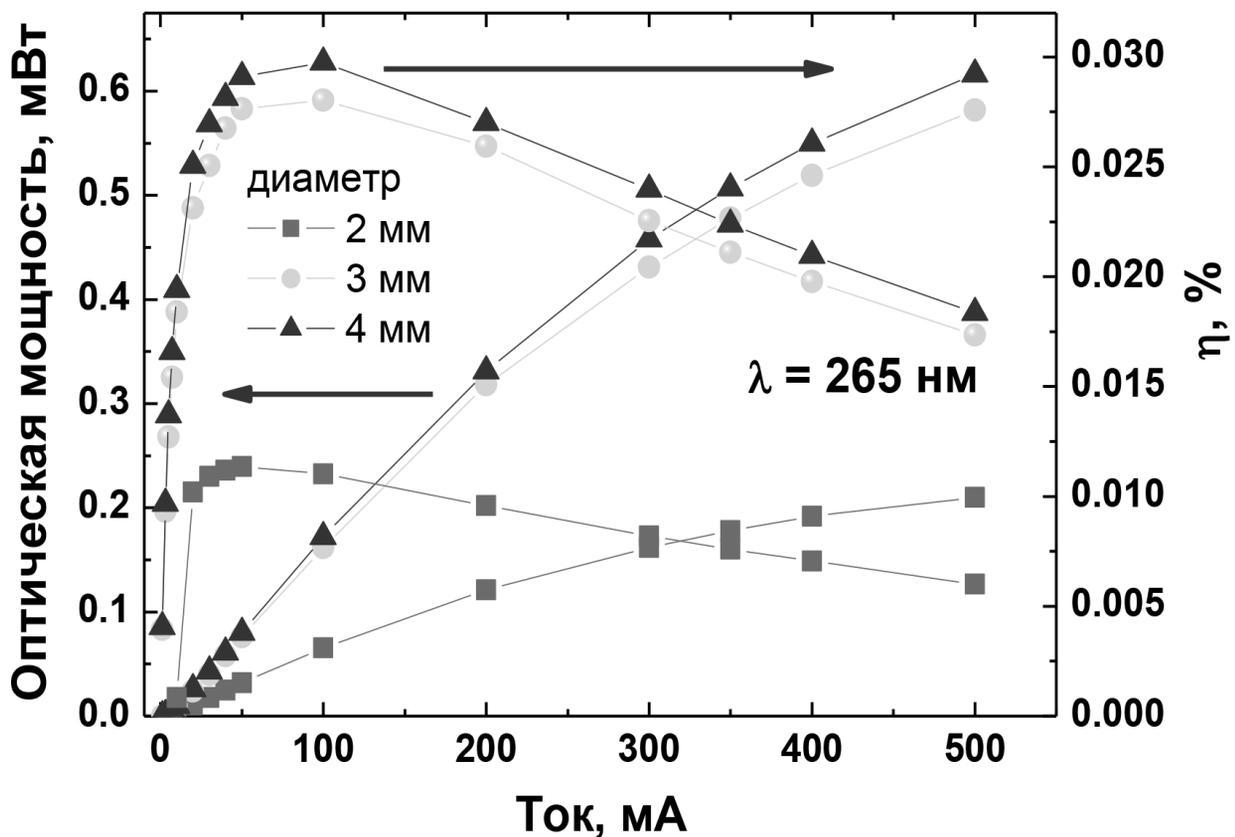


Рис. 2. Оптическая мощность и эффективность референсного источника излучения с различным диаметром диффузного отражателя в зависимости от тока инжекции ( $\lambda \sim 265$  нм)

нохромного источника излучения [10], которая представлена на рис. 1б.

В предложенной конструкции референсного источника излучения равномерность излучения достигается при помощи диффузного отражателя 5, обеспечивающего на полупрозрачном рассеивателе 7 однородную засветку. К отличительным особенностям данной конструкции относится обеспечение постоянной температуры корпуса СИД с помощью элемента Пельтье. В качестве полупрозрачной рассеивающей пластины 7 применяется УФ голографический фильтр с углом рассеяния  $5^\circ$ . Диффузный отражатель 5 изготовлен из спектралона, при этом диаметр отверстия варьируется от 2 до 5 мм для достижения оптимального соотношения между равномерностью распределения получаемого излучения и выходной мощностью устройства. Толщина диффузного отражателя составляет не менее 8 мм.

В созданных на основе предложенной модели источниках референсного излучения использовались УФ светодиоды, излучающие на различных длинах волн. Светодиоды VPC131 и VPS1A1, излучающие на длинах волн 265 и 300 нм соответственно, имеют максимальную оптическую мощность излучения порядка 12 мВт ( $\lambda = 265$  нм) и 25 мВт ( $\lambda = 300$  нм) при токе 500 мА. Светодиоды NC4U133A-E “Nichia” использовались в референсном источнике

с длиной волны излучения 365 нм, при этом максимальная оптическая мощность таких светодиодов составляет  $\sim 2000$  мВт при токе 700 мА. Спектры излучения используемых светодиодов представлены на рис. 1а при токе 100 мА.

#### Референсные источники излучения для УФ диапазонов спектра СИЕ В и С

На рис. 2 и 3 представлены результаты измерений выходной оптической мощности и эффективности излучения референсных источников с пиковой длиной волны 265 и 300 нм. Измерения проводились непосредственно с поверхности изделий. Для диаметра отверстия диффузного отражателя 2 мм оптическая мощность, а также эффективность излучения в 3–4 раза меньше, чем для диаметров 3 и 4 мм. Несмотря на то, что интенсивность излучения с диаметром рассеивателя 4 мм незначительно больше, чем с диаметром 3 мм, плотность мощности излучения одинакова в каждом случае. Таким образом, диаметр 3 мм был выбран для дальнейшего использования с точки зрения получения меньшего угла расходимости излучения с высокой однородностью.

Результаты измерения распределения интенсивности излучения от угла регистрации референсных источников с диаметром диффуз-

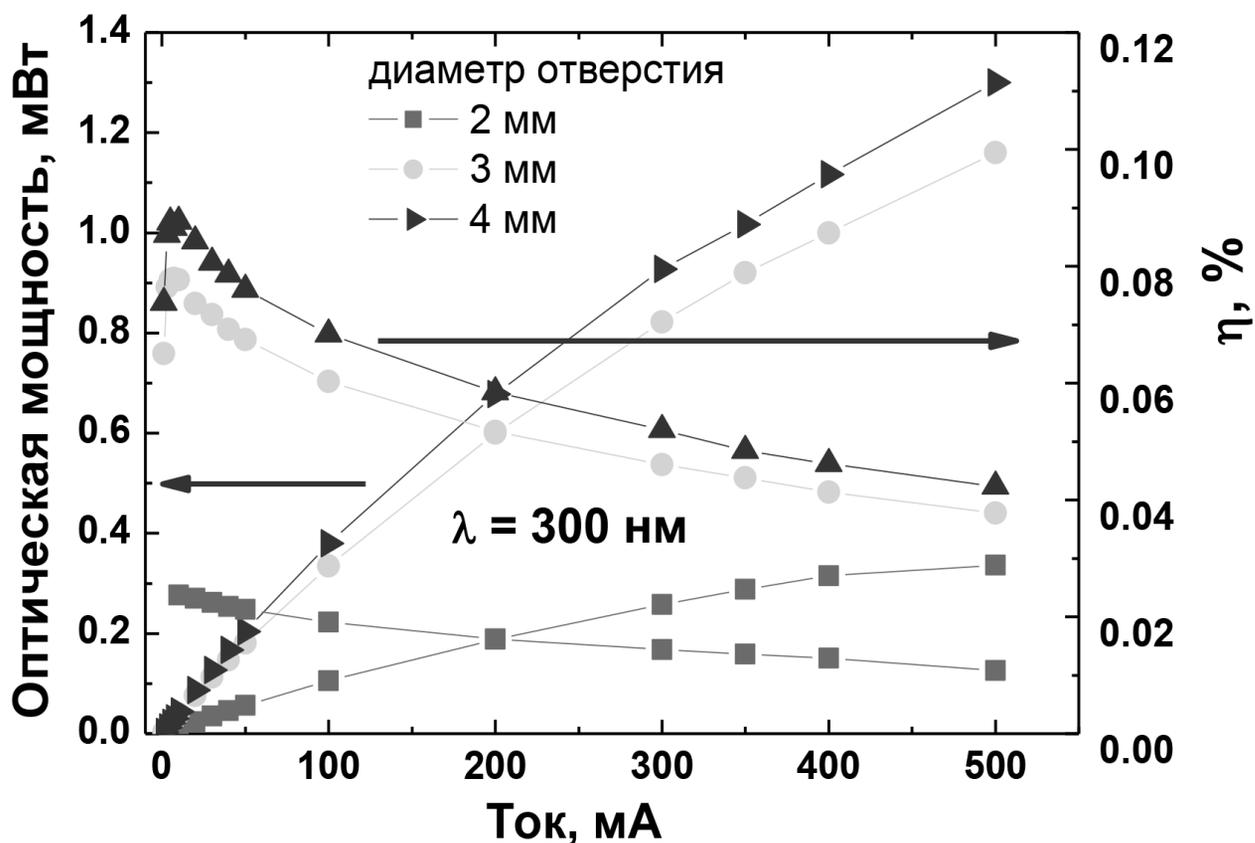


Рис. 3. Оптическая мощность и эффективность референсного источника излучения с различным диаметром диффузного отражателя в зависимости от тока инжекции ( $\lambda \sim 300$  нм)

ного отражателя 3 мм представлены на рис. 4 и 5. Максимум пространственного распределения силы света референсного СИД находится в пределах  $\pm 10^\circ$  от оси. Однако распределение является недостаточно гладким и равномерным. Применение УФ голографического фильтра (рис. 4б и 5б) позволяет значительно сгладить данную зависимость, при этом потери излучения составляют около 20 %.

#### Заключение

Разработаны референсные светодиодные источники УФ излучения для УФ диапазонов СIE В и С. Показано, что их мощность излучения около 1 мВт, что достаточно для процедуры калибровки УФ радиометров. На основании полученных угловых зависимостей оптической мощности излучения референсных источников от диаметра отверстий выбраны оптимальные

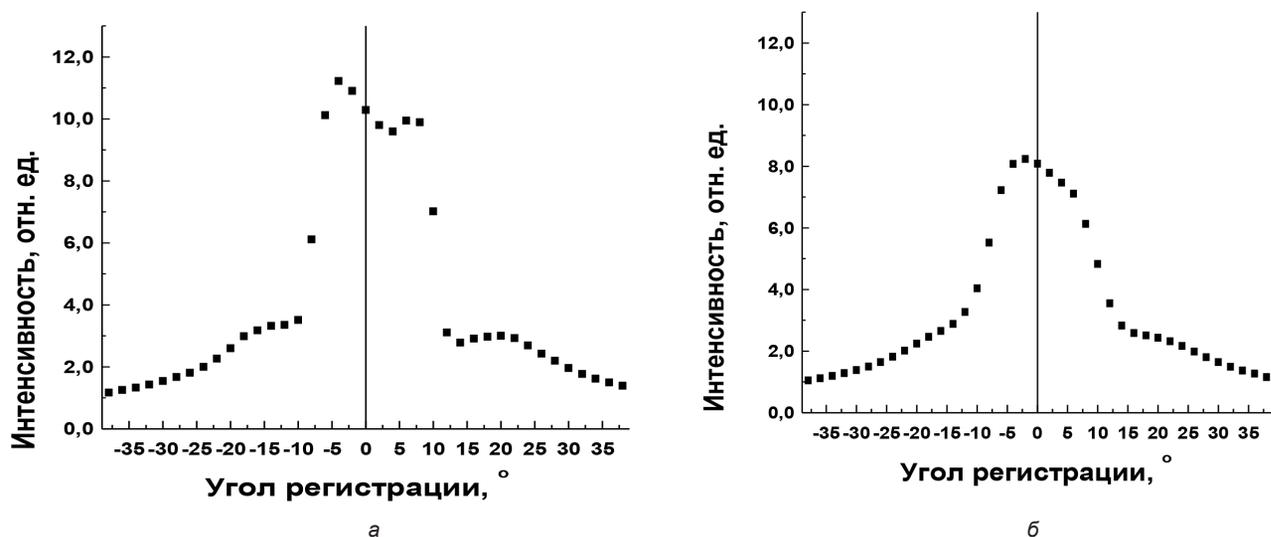


Рис. 4. Угловое распределение интенсивности излучения 265 нм референсного источника излучения с диаметром диффузного отражателя 3 мм, при токе 100 мА: а – без и б – с рассеивателем

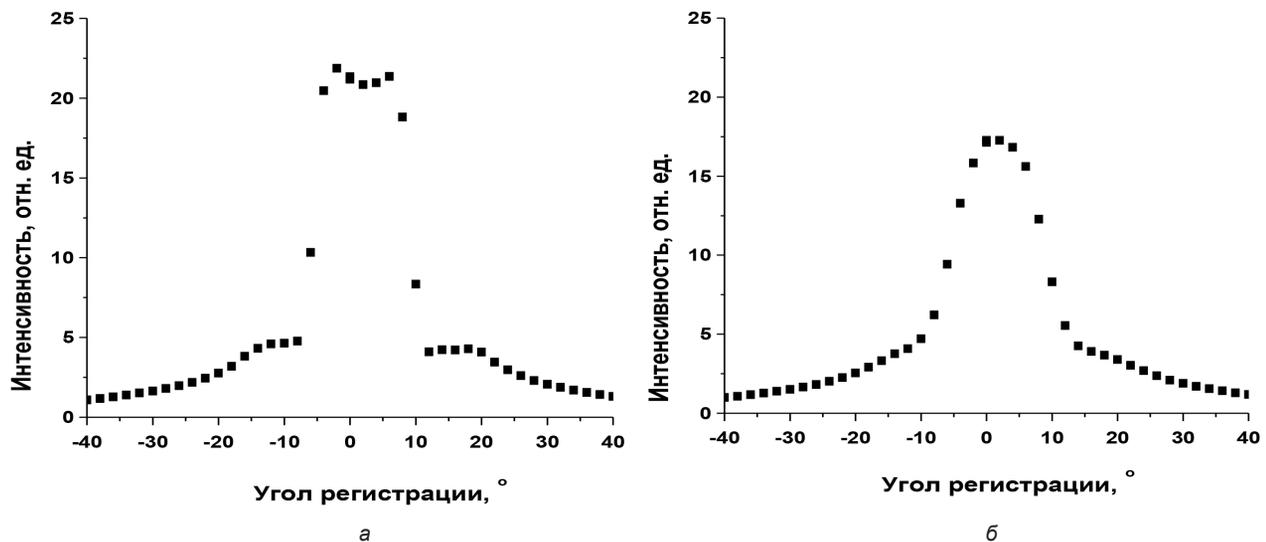


Рис. 5. Угловое распределение интенсивности излучения 300 нм референсного источника излучения с диаметром диффузного отражателя 3 мм, при токе 100 мА: а – без и б – с рассеивателем

размеры диффузного отражателя. Показано, что возможно получить угол расходимости пучка излучения порядка  $\pm 10^\circ$  с достаточно высокой угловой однородностью. Применение УФ голо-

графического фильтра в качестве рассеивателя позволяет улучшить угловое распределение интенсивности излучения референсных светодиодных источников.

## Референсні світлодіодні джерела випромінювання для ультрафіолетових діапазонів спектру СІЕ В та С

С.В. Ніконенко, О.В. Данільчик, Є.В. Луценко

Інститут фізики НАН Білорусі, пр. Незалежності, 68–2, 220072, Мінськ, Республіка Білорусь  
s.nikonenko@dragon.bas-net.by

### Анотація

Статтю присвячено референсним джерелам випромінювання для ультрафіолетових (УФ) діапазонів спектру СІЕ В та С. УФ випромінювання широко використовується для вирішення різних прикладних і наукових завдань. Ефективність, якість та безпека робіт, що виконуються з використанням УФ випромінювання, значною мірою визначаються якістю метрологічного забезпечення цих робіт.

У метрологічному забезпеченні в УФ діапазоні спектру існує ряд проблем. По-перше, це суттєве зниження точності передачі розміру одиниць від національних еталонів відповідних оптичних величин робочим засобам вимірювання в діапазонах УФ випромінювання СІЕ А (від 400 до 315 нм) і особливо В (від 315 до 285 нм) та С (від 285 до 200 нм). По-друге, при вимірюванні в діапазонах СІЕ А, В і С необхідно використовувати приймач із постійною спектральною чутливістю всередині цих діапазонів і нульовий поза нею, що вельми проблематично через відсутність якісних УФ фільтрів. По-третє, точність результатів вимірювання оптичних характеристик УФ випромінювання суттєво знижується внаслідок відмінності спектральних розподілів інтенсивності випромінювання вимірюваного та еталонного (референсного) джерел випромінювання. По-четверте, поява УФ світлодіодів дозволяє прогнозувати заміну в багатьох застосуваннях у найближчі 5 років традиційних джерел УФ випромінювання, проте традиційні методи вимірювання характеристик і параметрів оптичного випромінювання, що були розроблені раніше, не повною мірою можна застосовувати до випромінювання світлодіодів.

Одним із перспективних способів підвищення точності вимірювань в УФ діапазоні спектру є застосування референсних джерел випромінювання, створених на основі світлодіодів, унаслідок їх стабільності та тривалого терміну експлуатації. В Інституті фізики НАН Білорусі розроблено референсні світлодіодні джерела випромінювання для УФ діапазонів спектру СІЕ В та С.

Наведено опис конструкції створених референсних джерел. Розглядаються результати дослідження спектральних, енергетичних і просторових характеристик випромінювання референсних джерел випромінювання, а також вплив на ці характеристики конструктивних елементів.

**Ключові слова:** ультрафіолетове випромінювання, вимірювання, світлодіоди, референсне джерело випромінювання CIE.

## Reference UVB and UVC LED sources

S. Nikanenka, A. Danilchuk, E. Lutsenko

*Institute of Physics of the NAS of Belarus, Nezavisimosti Ave., 68–2, 220072, Minsk, Republic of Belarus  
s.nikonenko@dragon.bas-net.by*

### Abstract

This article is devoted to investigations of ultraviolet (UV) reference radiation sources for the CIE B and C spectral ranges. UV radiation is widely used to solve various engineering and scientific problems. Efficiency, quality and safety of work performed using UV radiation is largely determined by the quality of the preliminary metrological support of these works.

There are a number of problems in metrological support in the UV spectral range. First of all, it is a significant reduction in the accuracy of the transfer of size of the units from the national measurement standards of the corresponding optical quantities to working measuring instruments in the CIE A UV radiation range (from 400 to 315 nm) and especially B (from 315 to 285 nm) and C (from 285 to 200 nm). Second, when measuring in the CIE A, B and C ranges, it is necessary to use a power meter with constant spectral sensitivity inside these ranges and zero one outside it, which is very problematic due to the lack of high-quality UV filters. Third, the accuracy of the results of measuring optical characteristics of UV radiation is reduced significantly due to the difference in spectral distributions of the radiation intensity of the test and reference radiation sources. Then it can be predicted that in the next 5 years, traditional sources of UV radiation will be replaced by UV LEDs in many applications. However, the previously developed methods of measuring the characteristics and parameters of optical radiation are not fully applicable to the LEDs emission.

One of the promising ways to improve the accuracy of measurements in the UV spectral range is the use of reference radiation sources created on the basis of LEDs, due to their stability and long lifetime. The Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus has developed reference radiation sources for the CIE B and C UV ranges based on LEDs.

The article describes the design of the created reference sources. The results of the study of the spectral, energy and spatial characteristics of the radiation of the reference radiation sources, as well as the impact on these characteristics of structural elements, are considered.

**Keywords:** ultraviolet, measurement, LEDs, CIE reference radiation source.

### Список литературы

1. Бадтиев А. К. Влияние ультрафиолетового излучения средневолнового диапазона на эмбриональное развитие амфибий. Автореф. дис. 2009. 23 с.
2. Потапенко А. Я. Ультрафиолетовое излучение Солнца и здоровье человека. *Соросовский образовательный журнал*. 2004. № 3. С. 1–9.
3. Eppeldauer G. P. Standardization of broad-band UV measurements for 365 nm LED sources. *J. Res. NIST*, 2012, vol. 117, no. 1, pp. 96–103.
4. CIE. Publ. № 53. Methods of Characterizing the Performance of Radiometers and Photometers. Vienna, CIE Central Bureau, 1982. 35 p.
5. CIE Publ. № 069. Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters: Performance, characteristics and specifications. Vienna, CIE Central Bureau, 1987. 48 p.
6. Kinoshita K. Development of standard led for UV-LEDs and establishment of calibration service for total radiant flux of UV-LED at NMIJ. *CIE 216:2015. Proceedings of 28th Session of the CIE*. Manchester, UK, 28 June — 4 July 2015, vol. 1, part 2, pp. 1338–1342.
7. Eppeldauer G. P. Calibration procedure for UV-365 integrated irradiance measurements. *CIE 216:2015. Proceedings of 28th Session of the CIE*. Manchester, UK, 28 June — 4 July 2015, vol. 1, part 2, pp. 1351–1364.
8. Nikanenka S. V. A practical method for determination of averaged spectral radiance of UV LED. *CIE 216:2015. Proceedings of 28th Session*

- of the CIE. Manchester, UK, 28 June — 4 July 2015, vol. 1, part 2, pp. 1396–1400.
9. Nikanenka S.V. Reference UV LED Sources. *Smart Lightning for Better Life. Proceedings of the Conference at the CIE Midterm Meeting 2017*. Jeju Island, Republic of Korea, 20–28 October 2017, pp. 984–989.
  10. Данильчик А.В., Луценко Е.В., Никоненко С.В. Эталонный монохромный светодиод. Пат. № 115889, Российская Федерация, МПКG01J1/00. Заявл. 28.12.2011.
- ### References
1. Badtiev A.K. *Vlijanie ultrafioletovogo izluchenia srednevolnovogo diapazona na embrionalnoe razvitie amfibi* [The influence of UV radiation of the mid-wave range on the embryonic development of amphibians]. Abstract of thesis, 2009. 23 p. (in Russian).
  2. Potapenko A. Ja. Ultrafioletovoe izluchenie Solnca i zdorovie cheloveka [UV radiation of the Sun and human health]. *Soros Educational Journal*, 2004, no. 3, pp. 1–9 (in Russian).
  3. Eppeldauer G.P. Standardization of broad-band UV measurements for 365 nm LED sources. *J. Res. NIST*, 2012, vol. 117, no. 1, pp. 96–103.
  4. CIE. Publ. № 53. Methods of Characterizing the Performance of Radiometers and Photometers. Vienna, CIE Central Bureau, 1982. 35 p.
  5. CIE Publ. № 069. Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters: Performance, characteristics and specifications. Vienna, CIE Central Bureau, 1987. 48 p.
  6. Kinoshita K. Development of standard led for UV-LEDs and establishment of calibration service for total radiant flux of UV-LED at NMIJ. *CIE 216:2015. Proceedings of 28th Session of the CIE*. Manchester, UK, 28 June — 4 July 2015, vol. 1, part 2, pp. 1338–1342.
  7. Eppeldauer G.P. Calibration procedure for UV-365 integrated irradiance measurements. *CIE 216:2015. Proceedings of 28th Session of the CIE*. Manchester, UK, 28 June — 4 July 2015, vol. 1, part 2, pp. 1351–1364.
  8. Nikanenka S.V. A practical method for determination of averaged spectral radiance of UV LED. *CIE 216:2015. Proceedings of 28th Session of the CIE*. Manchester, UK, 28 June — 4 July 2015, vol. 1, part 2, pp. 1396–1400.
  9. Nikanenka S.V. Reference UV LED Sources. *Smart Lightning for Better Life. Proceedings of the Conference at the CIE Midterm Meeting 2017*. Jeju Island, Republic of Korea, 20–28 October 2017, pp. 984–989.
  10. Danilchuk A.V., Lutsenko E.V., Nikanenka S.V. Etalonnyi monochromnyy svetodiod [Reference monochrome LED]. Patent № RU115889 U1, Russia (in Russian).