

# Определение характеристик спектрорадиометров для оценки фотобиологической безопасности светотехнических изделий

Ц. ЛИ, Т. МОУ<sup>1</sup>, Л. ЧЭН

Компания *SENSING Instruments Co., Ltd*; Таможенная инспекция и карантинное бюро провинции Чжэцзян, Ханчжоу, КНР

## Аннотация

Опасность актиничного УФ излучения, ближнего УФ излучения и синего света – три основные опасности, связанные с источниками света общего назначения. Для оценки характеристик спектрорадиометров были выбраны пять типичных таких источников. Полученные результаты показали, что результаты измерений так называемой актиничной УФ облучённости очень чувствительны к рассеянному свету и что спектрорадиометры с монохроматором и нечувствительным к видимому излучению фотоумножителем могут решать проблемы оценки фотобиологической безопасности светотехнических изделий.

**Ключевые слова:** фотобиологическая безопасность, спектрорадиометр, актиничная УФ облучённость, рассеянный свет.

## 1. Введение

В настоящее время для освещения общего назначения обычно используются галогенные лампы накаливания (ГЛН), разрядные лампы и СД-источники света. Помимо видимого света, эти источники могут генерировать и небольшое количество УФ и ИК излучений. Авторами была оценена степень безопасности излучения этих изделий. Предельные уровни излучения и классификация опасности излучения приводятся в *IEC 62471/CIE S009* [1]. Однако уровни ИК излучения источников света (ламп) общего назначения (ЛОН) обычно невелики и не могут считаться опасными. Поэтому в плане опасности оптического излучения ЛОН рассматривается только возможное фотобиологическое действие актиничного УФ излучения, ближнего УФ излучения и синего (голубого) света. Для оценки опасности оптического излучения ЛОН требуется измерить *актиничную УФ облучённость от них  $E_{ss}$ , облучённость от них в области ближнего УФ (УФ-А) излучения  $E_{UVA}$  и их физиологически эффективную яркость опасного (для сетчатки) синего излучения  $L_b$* ; но широкополосные

приёмники излучения сложно согласовывать со спектральной чувствительностью фотобиологических эффектов. Классификацию источников света по безопасности проводят с помощью разных спектрорадиометров, в том числе сканирующих с монохроматором и ПЗС-матричных [2–4]. Из-за большого разброса характеристик современных коммерческих спектрорадиометров – таких как дешёвые ПЗС-спектрометры, хорошо сконструированные матричные спектрорадиометры или спектрорадиометры с одинарным или двойным монохроматором – трудно выбрать приемлемые по цене и качеству практичные приборы для получения достоверных оценок безопасности источников света.

## 2. Условия проведения оценки

Сканирующие спектрорадиометры с монохроматором позволяют вести измерения в широком диапазоне длин волн при разных выделяемых щелями спектральных интервалах и с хорошей линейностью. Они всё ещё широко используются во многих областях применения. Благодаря совершенствованию ПЗС-матричных приёмников и мультихроматоров ПЗС-матричные спектрорадиометры всё больше подходят для разных применений.

При измерениях спектральных распределений облучённости и энергетической яркости ширина входной и выходной щелей должна быть одной и той же – чтобы график функции спектральной чувствительности спектрорадиометра представляла собой равнобедренный треугольник; это играет огромную роль в случае очень узких спектральных линий измеряемых разрядных ламп. Спектро-

<sup>1</sup> По материалам доклада на конференции МКО «*Lighting Quality & Energy Efficiency*». 23–26.04.2014, Куала-Лумпур, Малайзия.  
E-mail: mou@sensingm.com.  
Перевод с англ. Е.И. Розовского

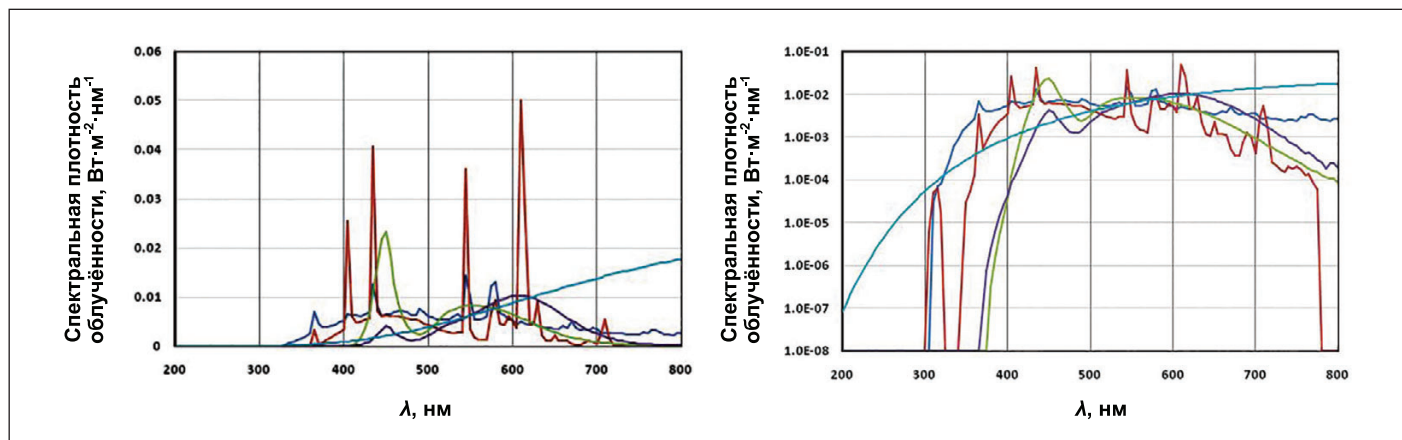


Рис. 1. Спектральные распределения облучённости от типичных источников света

## Влияние рассеянного света

Рассеянный свет	МГЛ	ЛЛ	СД холодно-белого света	СД тепло-белого света	ГЛН (2856 К)
$E_s$					
0	$2,64 \cdot 10^{-5}$	$1,18 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-8}$	$1,62 \cdot 10^{-8}$	$8,30 \cdot 10^{-4}$
$1,0 \cdot 10^{-6}$	$2,64 \cdot 10^{-5}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$	$8,35 \cdot 10^{-5}$	$7,41 \cdot 10^{-5}$	$9,98 \cdot 10^{-4}$
$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,65 \cdot 10^{-5}$	$9,73 \cdot 10^{-4}$	$8,34 \cdot 10^{-4}$	$7,41 \cdot 10^{-4}$	$2,52 \cdot 10^{-3}$
$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,34 \cdot 10^{-4}$	$9,62 \cdot 10^{-3}$	$8,34 \cdot 10^{-3}$	$7,41 \cdot 10^{-3}$	$1,77 \cdot 10^{-2}$
$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,07 \cdot 10^{-1}$	$9,61 \cdot 10^{-2}$	$8,34 \cdot 10^{-2}$	$7,41 \cdot 10^{-2}$	$1,69 \cdot 10^{-1}$
$E_{UVA}$					
0	$2,43 \cdot 10^{-1}$	$8,48 \cdot 10^{-2}$	$3,20 \cdot 10^{-4}$	$1,61 \cdot 10^{-3}$	$3,75 \cdot 10^{-2}$
$1,0 \cdot 10^{-6}$	$2,43 \cdot 10^{-1}$	$8,44 \cdot 10^{-2}$	$4,74 \cdot 10^{-4}$	$5,77 \cdot 10^{-4}$	$3,79 \cdot 10^{-2}$
$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,43 \cdot 10^{-1}$	$8,61 \cdot 10^{-2}$	$1,94 \cdot 10^{-3}$	$1,88 \cdot 10^{-3}$	$4,08 \cdot 10^{-2}$
$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,43 \cdot 10^{-1}$	$1,03 \cdot 10^{-1}$	$1,67 \cdot 10^{-2}$	$1,49 \cdot 10^{-2}$	$7,06 \cdot 10^{-2}$
$1,0 \cdot 10^{-3}$	$4,53 \cdot 10^{-1}$	$2,72 \cdot 10^{-1}$	$1,64 \cdot 10^{-1}$	$1,46 \cdot 10^{-1}$	$3,68 \cdot 10^{-1}$
$L_b$					
0	9,80	11,77	12,81	2,61	2,96
$1,0 \cdot 10^{-6}$	9,80	11,77	12,82	2,61	2,97
$1,0 \cdot 10^{-5}$	9,80	11,80	12,84	2,63	3,01
$1,0 \cdot 10^{-4}$	9,80	12,06	13,07	2,83	3,47
$1,0 \cdot 10^{-3}$	13,02	14,65	15,32	4,83	8,02

радиометры с двойным монохроматором характеризуются очень низким уровнем рассеянного света, что очень важно для измерений в УФ области спектра.

В компактных матричных спектро-радиометрах дифрагированное вогнутой голографической решёткой излучение фокусируется на матричном приёмнике, и необходимость устранения спектра высокого порядка и рассеянного света осложняет оценку фотобиологической безопасности. Ширина входной щели спектро-радиометра определяется компромиссом между его чувствительностью и спектральным разрешением.

Для определения влияния характеристик спектро-радиометра на оценку фотобиологической безопасности источников света были выбраны пять источников света трёх вышеупомянутых типов, включающие в себя МГЛ, ЛЛ, СД холодно-белого света, СД тепло-белого света и кварцевую ГЛН,

спектры излучения которых приведены на рис. 1. Однако в первую очередь они использовались как объекты измерений соответствующих  $E_s$ ,  $E_{UVA}$  и  $L_b$ .

В плане фотобиологической безопасности группа риска, к которой относится определённый источник света, зависит от условий его применения (то есть условий наблюдения). Согласно требованиям [1], опасность ЛОН следует оценивать при уровне освещённости от них в 500 лк. Поэтому здесь значения  $E_s$  и  $E_{UVA}$  будут определяться при этом условии, тогда как измерение  $L_b$  будет производиться при яркости ЛОН в 10000 кд/м<sup>2</sup>.

### 3. Влияние основных характеристик

Доля рассеянного света, точность определения длины волны и степень линейности фотоэлектрической характеристики – вот три основные ха-

рактеристики спектро-радиометра. В случае сканирующего спектро-радиометра с двойным монохроматором доля рассеянного света может быть меньше  $10^{-6}$ , тогда как в случае небольшого спектро-радиометра на ПЗС, имеющего малое фокусное расстояние, она может составлять от  $10^{-3}$  до  $10^{-4}$ . При этом лежащие между  $10^{-6}$  и  $10^{-5}$  доли рассеянного света позволяют оценивать его влияние на результаты измерений фотобиологических параметров. На рис. 2 приведены спектральные характеристики источников света, полученные при разных долях рассеянного света. Соответствующие фотобиологические параметры приведены в табл. 1, из которой следует, что результаты измерения  $E_s$  очень чувствительны к рассеянному свету в спектро-радиометре. Если его доля превышает  $10^{-4}$ , это приводит к тому, что группа риска  $RGI$  будет присвоена изделию, относящемуся к группе риска  $RGO$ . Так

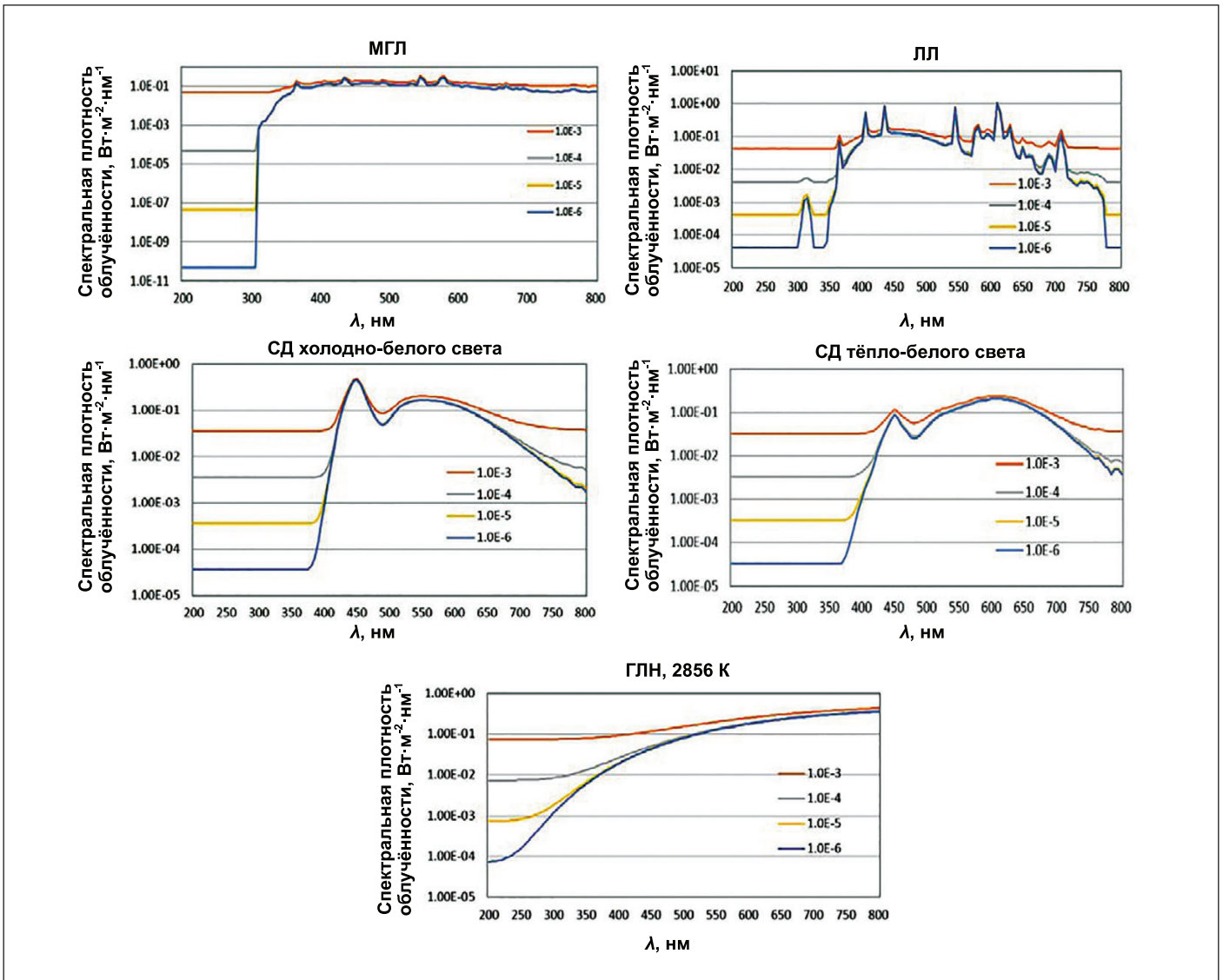


Рис. 2. Спектральные распределения облучённости от типичных источников света с учётом рассеянного света

что при измерении источника света со слабым излучением в УФ области, такого как приведённая в табл. 1 ЛН с цветовой температурой 2856 К, доля рассеянного света не должна превышать  $10^{-6}$ . Однако при оценке опасности синего света для сетчатки для обеспечения не более 5%-ного изменения оцениваемого параметра доля рассеянного света не должна превышать  $10^{-4}$ .

ЛОН преимущественно излучают в видимой области спектра и очень мало в УФ области. Поэтому к влиянию рассеянного видимого излучения на точность измерения в УФ области следует относиться серьёзно. Альтернативным методом устранения влияния рассеянного света может послужить сочетание фотоумножителя, нечувствительного к видимому свету и чувствительного только к коротковолновому УФ излучению

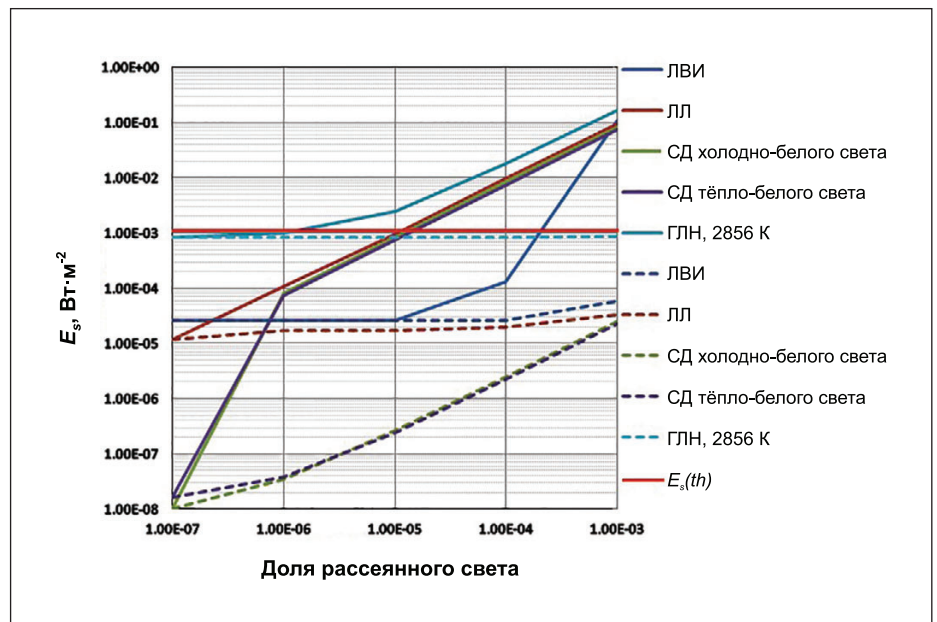


Рис. 3. Сравнение изменений актиничной УФ облучённости ( $E_s$ ) от типичных источников света

Влияние рассеянного света на актиничную УФ облучённость (при нечувствительном к видимому излучению фотумножителе)

Рассеянный свет	МГЛ	ЛЛ	СД холодно-белого света	СД тепло-белого света	ГЛН (2856 К)
0	$2,64 \cdot 10^{-5}$	$1,18 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-8}$	$1,62 \cdot 10^{-8}$	$8,30 \cdot 10^{-4}$
$1,0 \cdot 10^{-6}$	$2,64 \cdot 10^{-5}$	$1,69 \cdot 10^{-5}$	$3,54 \cdot 10^{-8}$	$3,85 \cdot 10^{-8}$	$8,30 \cdot 10^{-4}$
$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,64 \cdot 10^{-5}$	$1,71 \cdot 10^{-5}$	$2,62 \cdot 10^{-7}$	$2,39 \cdot 10^{-7}$	$8,30 \cdot 10^{-4}$
$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,65 \cdot 10^{-5}$	$1,97 \cdot 10^{-5}$	$2,52 \cdot 10^{-6}$	$2,25 \cdot 10^{-6}$	$8,35 \cdot 10^{-4}$
$1,0 \cdot 10^{-3}$	$5,87 \cdot 10^{-5}$	$3,40 \cdot 10^{-5}$	$2,51 \cdot 10^{-5}$	$2,23 \cdot 10^{-5}$	$8,81 \cdot 10^{-4}$

Таблица 3

Влияние смещения длины волны спектрометра

Длина волны	МГЛ	ЛЛ	СД холодно-белого света	СД тепло-белого света	ГЛН (2856 К)
$E_s$					
0	$2,64 \cdot 10^{-5}$	$1,18 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-8}$	$1,62 \cdot 10^{-8}$	$8,30 \cdot 10^{-4}$
-0,1	$2,68 \cdot 10^{-5}$	$1,24 \cdot 10^{-5}$	$1,07 \cdot 10^{-8}$	$1,79 \cdot 10^{-8}$	$8,34 \cdot 10^{-4}$
-0,2	$2,71 \cdot 10^{-5}$	$1,29 \cdot 10^{-5}$	$1,11 \cdot 10^{-8}$	$1,82 \cdot 10^{-8}$	$8,38 \cdot 10^{-4}$
-0,3	$2,75 \cdot 10^{-5}$	$1,35 \cdot 10^{-5}$	$1,15 \cdot 10^{-8}$	$1,85 \cdot 10^{-8}$	$8,43 \cdot 10^{-4}$
-0,5	$2,82 \cdot 10^{-5}$	$1,46 \cdot 10^{-5}$	$1,23 \cdot 10^{-8}$	$1,92 \cdot 10^{-8}$	$8,51 \cdot 10^{-4}$
+0,1	$2,64 \cdot 10^{-5}$	$1,18 \cdot 10^{-5}$	$1,03 \cdot 10^{-8}$	$1,75 \cdot 10^{-8}$	$8,30 \cdot 10^{-4}$
+0,2	$2,63 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-8}$	$1,74 \cdot 10^{-8}$	$8,26 \cdot 10^{-4}$
+0,3	$2,61 \cdot 10^{-5}$	$1,16 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$8,23 \cdot 10^{-4}$
+0,5	$2,60 \cdot 10^{-5}$	$1,14 \cdot 10^{-5}$	$9,9 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$8,19 \cdot 10^{-4}$
$L_b$					
0	9,80	11,77	12,81	2,61	2,96
-0,1	9,80	11,77	12,81	2,61	2,96
-0,2	9,80	11,78	12,80	2,61	2,96
-0,3	9,80	11,79	12,78	2,60	2,95
-0,5	9,80	11,79	12,77	2,60	2,95
+0,1	9,80	11,77	12,83	2,61	2,97
+0,2	9,80	11,76	12,84	2,62	2,97
+0,3	9,80	11,76	12,85	2,62	2,97
+0,5	9,81	11,75	12,87	2,63	2,98

на длинах волн 200–320 нм и фотумножителя, чувствительного к видимому излучению. В табл. 2 показано, что при использовании нечувствительно-

го к видимому излучению фотумножителя влияние рассеянного света на результаты измерений  $E_s$  существенно уменьшается. На рис. 3 эти

результаты (пунктирная линия) приведены вместе с результатами, полученными с помощью обычного спектрометра (сплошная линия).  $E_s(th)$



представляет собой предельный уровень  $E_s$  для группы риска  $RG0$  для опасности актиничного УФ излучения. В данном случае классификация этих пяти типичных источников света в соответствии с группами риска не изменится.

В табл. 3 продемонстрировано влияние сдвига длины волны спектрорадиометра на параметры, на основании которых осуществляется классификация безопасности излучения источников света. Так как в интервале 300–320 нм весовая функция  $S_{UV}(\lambda)$  меняется резко (в 300 раз на 20 нм), то в случае ЛЛ влияние сдвига длины волны на  $E_s$  оказывается наибольшим – из-за наличия в спектре излучения ЛЛ линии 313 нм. Чтобы неопределённость не превышала 10%, сдвиг длины волны не должен быть большим 0,2 нм, а в случае источников света с непрерывными спектрами излучения – 0,3 нм. Что касается влияния сдвига длины волны на результаты измерения  $L_b$ , то в этом случае весовая функция в интервалах 390–415 и 480–500 нм изменяется вдвое через каждые 5 нм. Поэтому точность определения длины волны должна быть лучше  $\pm 0,5$  нм.

#### 4. Заключение

При оценке фотобиологической безопасности ключевым оборудованием является спектрорадиометр. Его характеристики непосредственно влияют на классификацию изделий по безопасности. Полученные на пяти типичных источниках света результаты говорят о том, что рассеиваемый в спектрорадиометре свет влияет на результаты измерений  $E_s$ . Системы с двойными монохроматорами и системы с одним монохроматором и нечувствительным к видимому излучению фотоумножителем могут применяться для классификации опасности УФ излучения ЛОН. Кроме того, точность установки длины волны спектрорадиометра должна быть не хуже  $\pm 0,2$  нм в УФ диапазоне и не хуже  $\pm 0,5$  нм в видимой области спектра.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IEC 62471–2006/CIE S009 «Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems».
2. *Tongsheng Mou*. The measurement of weighted LED radiance related to photobio-

logical safety based on the spectroradiometry and imaging methods // CIE Tutorial and Expert Symposium "Spectral and Imaging Methods for Photometry and Radiometry", August 2010, Bern, Switzerland. – P. 30–31.

3. *Stolyarevskaya, R.I., Bartsev, A.A.* Methodology of luminaire blue-light hazard measurements // CIE Conference on Lighting Quality & Energy Efficiency, September 19–21.2012, Hangzhou.

4. *Tongsheng Mou, Zhenjian Peng*. Measurement and standardization of eye safety for optical radiation of LED products // Proc. SPIE 8769, Singapore, 09.04.2013.



**Ли Цзюнькай (Junkai Li),**

инженер. Старший инженер компании SENSING Instruments Co. Ltd. Эксперт по освещению светодиодами Технического комитета TC110/

WG5 МЭК. Руководитель разработки нескольких китайских стандартов и участник разработки международных стандартов МЭК (IEC). Область научных интересов: фотометрия, колориметрия, фотобиологическая безопасность освещения и дисплеев



**Моу Туншэн (Tongsheng Mou).**

Профессор Университета провинции Чжэцзян. Главный научный сотрудник компании SENSING Instruments Co. Ltd. и директор Исследовательского

центра интеллектуального и здорового освещения. Руководитель разработки международных стандартов IEC 62341–6–3, IEC 61747–30–4 и IEC 62471–4. Председатель Технического комитета TC2–73 МКО. Лауреат премии МЭК



**Чэн Лилин (Liling Cheng),**

инженер, профессор. Окончила Университет электроники Ханчжоу. Директор лаборатории электробезопасности Академии

науки и техники провинции Чжэцзян. Область научных интересов: испытания электронных и электротехнических изделий на безопасность и электромагнитную совместимость, а также биологическая безопасность ламп и светильников

*Поздравляем с юбилеем!*



Редакция и редколлегия журнала, коллеги и друзья сердечно поздравляют с юбилеем известного специалиста в области практической светотехники, ведущего научного сотрудника лаборатории промышленного освещения ООО «Научно-исследовательский институт охраны труда в г. Иваново»

*Частухину  
Татьяну  
Николаевну*

и желают ей крепкого здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов