

Сергей Никифоров, к. т. н. | [sgnikiforov@arhighlight.ru](mailto:sgnikiforov@arhighlight.ru)

# Исследование фотобиологической опасности популярных источников света: от ламп накаливания до Солнца

В статье рассмотрены вопросы оценки фотобиологической безопасности наиболее популярных источников света — ламп различных типов и поколений, используемых преимущественно в потребительском и бытовом секторе. Представлены результаты лабораторных исследований и измерений соответствующих параметров ламп по методикам, описанным в стандарте IEC 62471:2006. Приведено сравнительное описание характеристик, основанное на объективных полученных данных как для ламп КЛЛ от ведущих производителей (OSRAM, Philips, торговых марок «Эра», «Космос», «Старт»), так и для самых бюджетных версий с параметрами ламп накаливания и светодиодных. Исследование проведено по инициативе светотехнической лаборатории «АРХИЛАЙТ», с использованием ее сертифицированного оборудования. Материал может быть использован разработчиками, проектировщиками и потребителями соответствующей светотехнической продукции или устройств на ее основе, а также всеми заинтересованными сторонами при возникновении вопросов оценки фотобиологической безопасности конкретной продукции.

## Необходимость исследований

Горячие споры о вреде или безвредности для здоровья используемых в настоящее время и наиболее популярных в повсеместном применении источников света находятся на одной из самых высоких точек актуальности не только среди специалистов, но и в быту. Безусловно, на различных уровнях обсуждения этой проблемы приводятся совершенно разные аргументы «за» или «против» использования какого-либо источника, начиная со стоимости в магазине, долговечности эксплуатации и заканчивая тем, какая угроза здоровью исходит от него. Широта такого обсуждения приобрела небывалый размах еще и потому, что в настоящее время одновременно в применении находятся практически все результаты достижений человечества в области преобразования какой-либо энергии в свет: от свечи, производящей свет как результат горения стеарина, до светодиодной лампы, в которой свет образуется при соответствующей рекомбинации носителей заряда в активной области гетероперехода. Как известно, помимо указанных по принципу времени разработки источников для современного освещения также широко используются различные газоразрядные лампы — линейные и компактные люминесцентные (КЛЛ), металлогалогенные, ртутные

и натриевые, дуговые — ксеноновые, лампы накаливания — газонаполненные и вакуумные, светодиодные — матричные и с удаленным люминофором. Вся эта продукция занимает свое место на потолках и полках магазинов, улицах городов, в квартирах жильцов, офисах фирм, учебных и лечебных заведениях и везде, где есть необходимость искусственного освещения. Однако также каждая из них, помимо прямого назначения — генерации света, так или иначе воздействует на человека, его физическое и эмоциональное здоровье. В настоящей работе мы попытались оценить степень этого воздействия от самых «зловонных» источников, ведущих настоящую борьбу за существование на светотехническом рынке, — ряда КЛЛ, ламп накаливания (ЛН) и светодиодных, используя рекомендации стандарта IEC 62471:2006 и его отечественного прообраза ГОСТ Р МЭК 62471–2006 «Светобиологическая безопасность ламп и ламповых систем», находящегося в стадии рождения. В представляемой работе, содержащей результаты исследований и измерений большого комплекса параметров указанных типов ламп, предлагается сравнить их реальные технические показатели, выраженные в объективных цифрах, и, таким образом, внести некоторую ясность в общую картину глобального спора о приоритетах технологий.

## Стандарты и методы измерений

Опасности оптического излучения (ОИ) оцениваются в соответствии с руководящими указаниями Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений (МКЗНИ, ICNIRP), которые устанавливают пределы времени воздействия (экспозиции) и рассматривают вопросы оценки опасностей ОИ для глаз и кожи, отдельно для лазеров и некогерентных широкополосных источников оптического излучения (ИИ). Эти пределы были положены в основу соответствующей директивы Европейского Союза (ЕС) [1].

Международная комиссия по освещению (МКО, CIE) (Отделение 6) совместно с Международной электротехнической комиссией (МЭК, IEC) разработала для ламп методы оценки и классификации рисков со стороны синего и ИК-излучений. Эти методы приведены в стандарте МКО CIE S009 [2], затем принятого МЭК в качестве стандарта IEC 62471 [3].

Так как конкретное использование ИИ обычно неизвестно, стандарты по безопасности продукции требуют определения некоторых радиометрических параметров для сравнения их с пределами этих параметров [4]. Эти пределы соответствуют одному из классов опасности (или группе риска), каждый из которых отражает традиционную философию безопасности. В этих стандартах указываются и необходимые условия измерения этих параметров, основанные на учете наиболее тяжелых условий экспозиции.

Оценка и контроль опасности оптического излучения от ламп и ламповых систем намного сложнее, чем подобные задачи для одноволновой лазерной системы. В исследования вводятся необходимые радиометрические измерения, так как это касается не простой оптики точечного источника, а, скорее, распределенного источника, который может меняться диффузорами, рассеивателями, проекционной оптикой или не меняться совсем: часто можно наблюдать

использование ламп без какой-либо арматуры. Также и спектральное распределение лампы может изменяться от вспомогательных оптических элементов, диффузоров, линз и т. п., а также от изменений рабочих условий. Для оценки широкополосных оптических источников, таких как дуговая лампа, лампа накаливания, люминесцентная или светодиодная лампа, ряда ламп или ламповых систем, необходимо, во-первых, определить спектральное распределение оптического излучения источника в точке или точках, ближайших к наблюдателю. Во-вторых, размер источника или его проекции на сетчатку должен характеризоваться в опасной спектральной зоне чувствительности сетчатки. В-третьих, может потребоваться определение колебания облученности и эффективной энергетической яркости в зависимости от расстояния. Целью стандарта IEC 62471:2006 является обеспечение стандартной осветительной техники оценкой потенциальной опасности излучения, связанной с различными лампами или ламповыми системами. Гармонизированный ГОСТ Р МЭК 62471–2006, находящийся в разработке, содержит руководство по оценке светобиологической безопасности ламп и ламповых систем, включая светильники, устанавливает пределы облучения, предлагает справочную технику измерения и схему классификации для оценки и контроля светобиологической опасности от всех электрически не связанных широкополосных источников оптического излучения, включая светодиоды, кроме лазеров с длиной волны 200–3000 нм.

По данным Йордан В., Халбриттер В., Хорак В. [4], основным радиометрическим параметром при оценке фотобиологической опасности светильников является спектральное распределение их энергетической яркости. При измерении радиометрических характеристик источников должны строго соблюдаться условия, приведенные в документе «CIE S009/IEC 62471» [2]. Измерение радиометрических параметров излучения источников для общего освещения должно проводиться с расстояний, на которых они создают освещенность, равную 500 лк, при входном (апертурном) угле  $\gamma$ , определяемом конкретным видом опасности и группой риска. Или, если это условие выполняется при расстоянии меньше 200 мм, оно берется равным 200 мм.

Все исследования были проведены в лаборатории «АРХИЛАЙТ» с помощью установок «Флакс-20» и «Спекорд», позволяющих выполнять радиометрические измерения в диапазоне 180–1100 нм. С целью предотвращения вопросов о корректности проведенных исследований следует отметить, что все установки и использованные средства измерений (в указанном спектральном диапазоне) имеют соответствующие свидетельства о поверке, внесены в Государственный реестр средств измерений, а область аккредитации лаборатории также распространяется на сертификационные испытания источников и оптических материалов в этом диапазоне. Используемые в исследовании радиометры имеют рекомендованный указанными выше стандартами [3] размер диаметра чувствительного элемента датчика

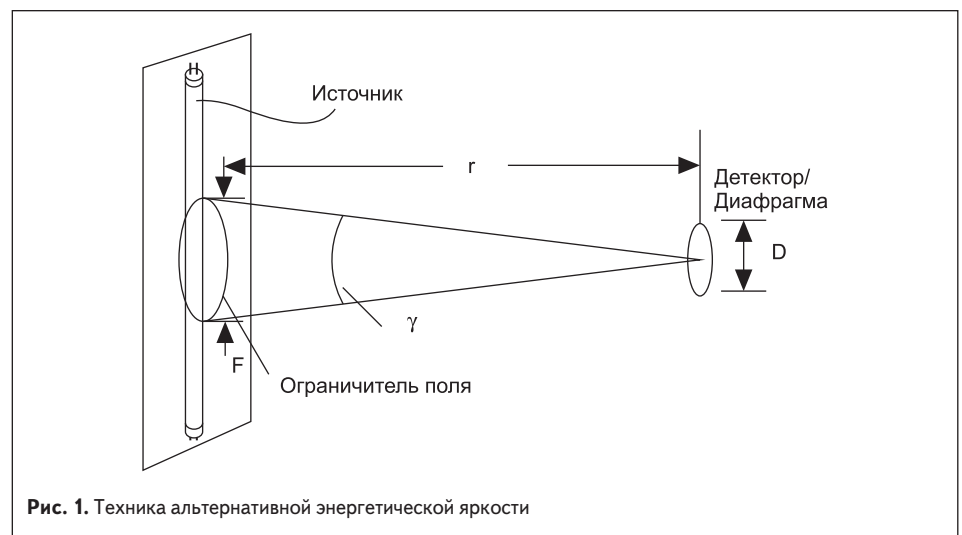
7 мм, эквивалентный максимально открытому зрачку, как самому экстремальному условию наблюдения источника глазом. В [3] это условие описано с точки зрения физики воздействия излучения на глаз: лучистый поток, входящий в глаз и поглощаемый сетчаткой (300–1400 нм), пропорционален площади зрачка. Известно, что диаметр зрачка уменьшается от около 7 мм при очень низкой яркости ( $<0,01$  кд/м<sup>2</sup>) до около 2 мм при значениях яркости порядка 10 000 кд/м<sup>2</sup>. Слабым визуальным стимулом определяется здесь стимул с максимальной яркостью (усредненной для кольцевого поля обзора в 0,011 радиан) менее 10 кд/м<sup>2</sup>. Для данной яркости значительно отличаются диаметры конкретных зрачков. Поэтому для установления этих пределов облучения оцениваются только два различных диаметра зрачков:

- Когда яркость источника достаточно высока (10 кд/м<sup>2</sup>), а продолжительность облучения более 0,25 с, например при опасном синем свете или тепловой опасности для сетчатки, используют для установления предела облучения диаметр зрачка 3 мм (площадь 7 мм<sup>2</sup>).
- Когда яркость источника мала, например инфракрасное излучение с небольшим или отсутствующим светом, тогда предел облученности основан на диаметре зрачка 7 мм (площадь 38,5 мм<sup>2</sup>). Диаметр 7 мм также принимают при оценке светобиологической опасности от импульсных источников и/или для облучения продолжительностью менее 0,25 с.
- В тех случаях, когда источник с ближним ИФ-излучением используют с высокими световыми уровнями, может приниматься диаметр зрачка 3 мм, а пределы облучения могут быть приведены к более высоким значениям квадрата отношений зрачков. При этом пределы облучения могут быть увеличены на коэффициент  $(7/3) \times 2 = 5,5$ . Рассчитанный коэффициент преобразования радиометра для каждого конкретного источника учитывал спектральную чувствительность фотодиода вплоть до 1100 нм, однако для большинства ламп выводы по термической безопасности воздействия излучения сделаны до 1400 нм. Данное утверждение не находится в противоречии с корректностью выводов ввиду

абсолютно отсутствующего (или очень малого значения) их излучения в диапазоне более 900 нм, что можно заметить на рис. 4, где приведены относительные спектры распределения мощности излучения исследуемых образцов. Лишь для одного источника — лампы накаливания — некоторые пункты (опасность инфракрасного облучения для глаз, опасность теплового облучения кожи), нормативы по которым установлены вплоть до 3000 нм, сделаны с оговоркой на возможности измерительного оборудования. Поэтому результаты приведены лишь по факту измеренных в обозначенном диапазоне характеристик. Однако стандарт [3] также содержит некоторые рекомендации к трактовке методов измерений в самом длинном диапазоне: измерения спектральной облученности с использованием монохроматора трудно провести в ИК-области, особенно между 2500 и 3000 нм из-за отсутствия восприятия сигнала и трудности получения калиброванных источников. Однако не взвешенная функция определяется при длинах волн более 1400 нм. Таким образом, измерения ширины полосы для длин волн 1400–3000 нм пригодны для оценки условий ИК-опасности для глаз и кожи в этой области.

Описание последовательности измерений и техники анализа результатов в прикладном варианте и с использованием описанного измерительного оборудования подробно изложено в [5], однако для более корректного рассмотрения и сопоставления полученных результатов следует привести оригинальное описание так называемого альтернативного метода по [3, 4], который лежит в основе этих исследований.

Измерения энергетической яркости могут быть приняты как измерения облученности, выполненные с хорошо определенным полем зрения, где измеренное значение облученности делится на измеренное поле зрения для получения значения энергетической яркости. Альтернативно к установленной изображаемой энергетической яркости измерение облученности, проведенное с круглым ограничением поля, размещенном на источнике, может быть использовано для измерений энергетической яркости (рис. 1). Размер ограничения



поля  $F$  и расстояние от него до диафрагмы  $r$  определяют поле зрения, т. е.:

$$\gamma = F/r. \quad (1)$$

Эта установка предполагает, что ограничение поля может быть установлено достаточно близко к видимому источнику для получения требуемого поля зрения. Зависимость между измеренной облученностью  $E$  и энергетической яркостью источника  $L$  для нахождения нормали к площади источника для малых углов дается так:

$$E = L \times \Omega, \quad (2)$$

где  $\Omega$  — угол поля зрения в стерadians, т. е. телесный угол, образованный плоскостным углом  $\gamma$  в радианах (рис. 1). Кроме того, для небольших углов зависимость между плоскостным углом  $\gamma$  и телесным углом  $\Omega$  будет такая:

$$\Omega = \pi\gamma^2 / 4. \quad (3)$$

Таким образом, используя размеры на рис. 1, облученность в терминах энергетической яркости источника описывается формулой:

$$E = L \times \pi\gamma^2/4 = L \times \pi F^2/4r^2. \quad (4)$$

При использовании измерений облученности для получения значений энергетической яркости, чтобы сравнить с данной опасностью, диаметр ограничения поля  $F$  должен быть таким, чтобы:

$$\gamma = \alpha_{эфф} \quad (5)$$

где  $\alpha_{эфф}$  — угол усредненного поля зрения, используемый в основном методе измерений по [3], идея которого рассмотрена на рис. 2.

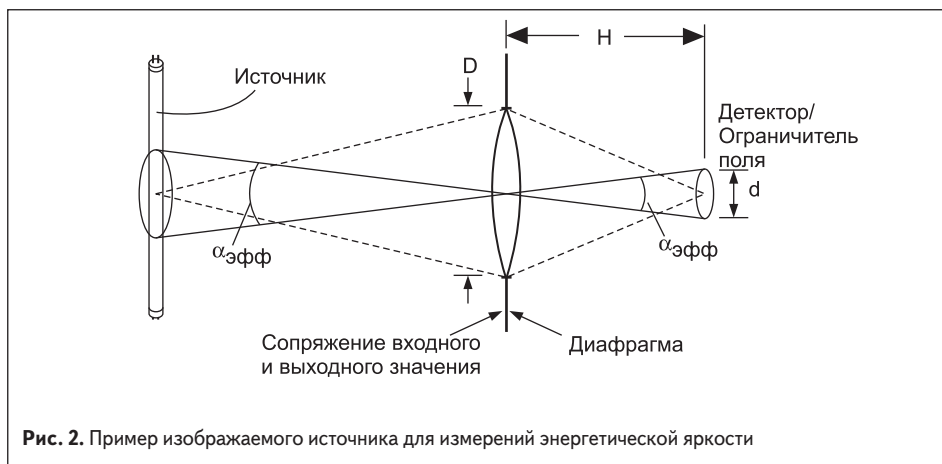


Рис. 3. Образцы ламп КЛЛ

### Анализ и описание результатов

Поскольку основной целью исследования, с одной стороны, было выяснение степени соответствия различных источников света стандарту [3] и ответа на вопросы о фотобиологической безопасности их излучения, а с другой — практическая проверка

корректности нормативов и требований самого стандарта, к сравнению также были приложены различные спектральные и фотометрические параметры, характеризующие цветопередачу и соотношение с естественными источниками света. В таблице 1 приведены все типы риска от излучения и их степень, регламентированные [3],

а также формулы для их расчета и количественные пределы. Для исследования были подобраны наиболее распространенные в торговых сетях компактные люминесцентные лампы средней мощности (9–20 Вт) (самые популярные по продажам) и приблизительно одинаковой цветности, фотографии которых представлены на рис. 3.

Таблица 1. Типы риска от излучения

Наименование опасности	Соответствующее уравнение	Диапазон длин волн, нм	Продолжительность облучения, с	Ограничивающее отверстие, радиан (градус)	Предел облучения в терминах постоянной облученности, Вт/м²
Синий свет	$LB = \sum L_i B(\lambda) \Delta\lambda$	300–700	0,25–10	$0,011 \times \sqrt{(t/10)}$	$106/t$
			10–100	0,011	$106/t$
			100–10000	$0,0011 \times \sqrt{t}$	$106/t$
			10000	0,1	100
Тепловая для сетчатки	$LR = \sum L_i R(\lambda) \Delta\lambda$	380–1400	<0,25	0,0017	$50000/(0,25t\alpha)$
			0,25–10	$0,011 \times \sqrt{(t/10)}$	$50000/(0,25t\alpha)$
Тепловая для сетчатки (слабый визуальный стимул)	$L/R = \sum L_i R(\lambda) \Delta\lambda$	780–1400	>10	0,011	$6000/\alpha$
Актиничный УФ для кожи и глаз	$ES = \sum E_i S(\lambda) \Delta\lambda$	200–400	<30000	1,4(80)	$30/t$
УФ-А для глаз	$EUVA = \sum E_i \Delta\lambda$	315–400	1000	1,4(80)	$10000/t$
			>1000		10
Небольшой источник синего света	$EB = \sum E_i B(\lambda) \Delta\lambda$	300–700	≤1000	<0,011	$100/t$
			>1000		1
ИК для глаз	$EIR = \sum E_i \Delta\lambda$	780–3000	1000	1,4(80)	$18000/0,75t$
			>1000		100
Тепловая для кожи	$EH = \sum E_i \Delta\lambda$	380–3000	<10	$2\pi$ ср	$20000/0,75t$



Таблица 2. Результаты измерений и расчетов величин

Общие условия измерения по IEC 62471:2006 (ГОСТ Р МЭК 62471–2006)	ЛН, 100 Вт	Светодиодная, 6,5 Вт	КЛЛ OSRAM Duluxstar Compact, 11 Вт	КЛЛ Philips, 11 Вт	КЛЛ «Эра», 11 Вт	КЛЛ Supermax («Космос»), 20 Вт	КЛЛ «Эконом» («Старт»), 9 Вт	КЛЛ Fix Price, 7,5 Вт	Солнце (средняя полоса, июль, 15 ч)
Расстояние до источника, м	0,469	0,284	0,302	0,304	0,342	0,405	0,336	0,259	
Угловой размер источника $\alpha$ , рад	0,0101	0,0227	0,0091	0,0106	0,0137	0,0162	0,0151	0,0129	
Эффективное облучение сетчатки (синий свет) $L_B$ (параметры $L_B$ 300–700 нм)									
Доля энергии в диапазоне спектра, %	23,2	94,8	94,1	95,1	96,0	95,7	94,6	93,2	
Угол наблюдения $\gamma$ , рад	0,10								
Диаметр диафрагмы, м	0,046943	0,028414	0,030258	0,030423	0,034263	0,040555	0,033614	0,025906	
Телесный угол $\Omega$ , ср	0,007854	0,007854	0,007854	0,007854	0,007854	0,007854	0,007854	0,007854	
$L_B$ , Вт/м <sup>2</sup> ср	0,098	0,277	0,902	1,023	0,787	0,569	0,424	0,458	
Предельное значение, Вт/м <sup>2</sup> ср	100								
Заключение по $L_B$	Полное отсутствие риска								
Эффективное облучение сетчатки (тепловое поражение) $L_R$ (параметры $L_R$ 380–1400 нм)									
Доля энергии в диапазоне спектра, %	99,4	100,0	97,9	97,8	98,0	98,2	96,9	96,0	прибл. 75
Угол наблюдения $\gamma$ , рад	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	
Диаметр диафрагмы, м	0,005160	0,003123	0,003326	0,003344	0,003766	0,004457	0,003694	0,002847	
Телесный угол $\Omega$ , ср	0,000095								
$L_R$ , Вт/м <sup>2</sup> ср	19494,6	1506,2	2165,8	3369,3	1576,0	1545,4	1156,3	1080,8	
Предельное значение, Вт/м <sup>2</sup> ср	2776567	1232822	3087192	2631807	2044722	1727474	1852640	2163469	
Заключение по $L_R$	Полное отсутствие риска								
Эффективное облучение сетчатки (тепловое поражение — слабый визуальный стимул) $L_{IR}$ (параметры $L_{IR}$ 780–1400 нм) для яркости поля < 10 кд/м <sup>2</sup>									
Доля энергии в диапазоне спектра, %	61,2	0,8	3,1	2,3	1,5	1,8	1,7	4,9	
Угол наблюдения $\gamma$ , рад	0,011								
Диаметр диафрагмы, м	0,005160	0,003123	0,003326	0,003344	0,003766	0,004457	0,003694	0,002847	
Телесный угол $\Omega$ , ср	0,000095								
$L_{IR}$ , Вт/м <sup>2</sup> ср	6802,564	3,154	9,991	9,540	2,676	3,674	3,786	5,845	
Предельное значение, Вт/м <sup>2</sup> ср	594979	264176	661541	563959	438155	370173	396994	463600	
Заключение по $L_{IR}$	Полное отсутствие риска								
Эффективная облученность (тепловая для кожи) $E_H$ (параметры $E_H$ 380–1100 нм)									
Доля энергии в диапазоне спектра, %	99,4	100,0	97,9	97,8	98,0	98,2	96,9	96,0	прибл. 70
$E_H$ , Вт/м <sup>2</sup>	2,219	0,334	0,717	0,844	0,809	0,847	0,856	0,175	600
Предельное значение, Вт/м <sup>2</sup>	3557								
Заключение по $E_H$	Полное отсутствие риска								
Эффективная облученность сетчатки (небольшой источник синего света) $E_B$ (параметры $E_B$ 300–700 нм)									
Доля энергии в диапазоне спектра, %	23,2	94,8	94,1	95,1	96,0	95,7	94,6	93,2	
Угол наблюдения $\gamma$ , рад	0,011								
Размер источника/корректность расчета $E_B$ , корректно	Небольшой/корректно	Большой/некорректно	Небольшой/корректно			Большой/некорректно			
Максимальное время облучения, с	более 100								
Полученное время облучения, с	4	37	151	101	199	210	590	277	
$E_B$ , Вт/м <sup>2</sup>	28,357	2,682	0,661	0,988	0,502	0,475	0,170	0,361	
Предельное значение, Вт/м <sup>2</sup>	1								
Заключение по $E_B$	Высокий риск	Низкий риск	Полное отсутствие риска						
Эффективная облученность (актиничный УФ для кожи и глаз) $E_S$ (параметры $E_S$ 200–400 нм)									
Доля энергии в диапазоне спектра, %	0,3	0,0	2,4	2,4	2,3	2,3	3,4	6,0	6
$E_S$ , Вт/м <sup>2</sup>	0,000002	0,000001	0,000006	0,000009	0,000006	0,000004	0,000034	0,000017	40–45
Предельное время экспозиции, ч	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	
Полученное допустимое время, ч	474,4	1341,6	144,7	90,8	129,2	222,1	24,7	50,4	
Заключение по $E_S$	Полное отсутствие риска								
Эффективная облученность (УФ-А для глаз) $E_{UVA}$ (параметры $E_{UVA}$ 315–400 нм)									
Доля энергии в диапазоне спектра, %	0,3	0,0	2,4	2,4	2,3	2,3	3,2	5,6	
$E_{UVA}$ , Вт/м <sup>2</sup>	0,007	0,000	0,017	0,020	0,018	0,019	0,027	0,010	
Предельное значение, Вт/м <sup>2</sup>	10								
Заключение по $E_{UVA}$	Полное отсутствие риска								
Эффективная облученность (ИК для глаз) $E_{IR}$ (параметры $E_{IR}$ 780–1100 нм)									
Доля энергии в диапазоне спектра, %	61,2	0,8	3,1	2,3	1,5	1,8	1,7	4,9	
$E_{IR}$ , Вт/м <sup>2</sup>	1,371	0,003	0,022	0,020	0,012	0,015	0,015	0,009	
Предельное значение, Вт/м <sup>2</sup>	100								
Заключение по $E_{IR}$	Полное отсутствие риска								

Но для полноты исследования взяты также и образцы с другой коррелированной цветовой температурой. Именно в сравнении с ними в большинстве случаев приводятся характеристики светодиодных ламп, собирательный образ которых по совокупности параметров указанных выше КЛЛ был найден авторами в одном из бюджетных промышленных образцов, предлагаемых в тех же сетях, поэтому с большей вероятностью могущего попасть в бытовой сектор, и исследован по описанной программе. От светотехнического наследия, неотъемлемо связанного с отечественным потребителем, для сравнения представлены характеристики запрещенной законодательством лампы накаливания в 100 Вт, к фотометрическим и колориметрическим параметрам которой стараются приблизиться ее последователи на полках магазинов, с каждым годом увеличивающие свою кратность по отношению к ней в эффективности по потреблению электричества.

В таблице 2 помещены все результаты измерений и расчетов величин, а также промежуточные выводы по каждому из типов рисков для всех образцов. Практически по всем вариантам возможной опасности исследованные лампы являются безопасными и не представляют угрозы для здоровья с точки зрения воздействия их излучения. Более того, их «безобидность» в большинстве случаев составляет порядки величин от предельных значений, установленных стандартом [3], поэтому комментарии здесь излишни. Однако есть также и существенная деталь в полученных результатах, известная, конечно, и до этого — например, исследователям, принявшим участие в разработке этих методов [4], но в таком сравнении не существующая. Речь идет о лампе накаливания, которая полностью подходит под понятие «небольшого источника синего света». Небольшого — именно по размерам, которые позволяют спроецировать нить ее накала на сетчатку практически целиком, при этом выполнив условия в расстоянии

наблюдения, определяемом освещенностью в 500 лк. Для проверки этого условия в таблице 2 имеется графа «Размер ист./корректность расчета  $E_B$ ». Можно заметить, что параметр  $E_B$  существенно превышен у этой лампы, поэтому здесь ей и присвоен статус «высокий риск». Однако следует отметить, что для этого лампу необходимо рассматривать с расстояния порядка 47 см и смотреть при этом непосредственно на нить накала. Гораздо более «мягкая» ситуация, но также с претензией на риск, хотя и низкий, имеется и у светодиодной лампы. В то время как у ламп КЛЛ этот параметр не всегда с запасом, но выполняет норматив, да и размер их светящей поверхности не может соответствовать условиям небольшого источника. Объяснение этому было косвенно дано в [6], а также при обсуждении причин формирования требований по ограничению мощности светодиодов и неравномерности яркости светящей поверхности осветительных приборов, используемых в помещениях, и показателей дискомфорта. Здесь важно именно значение яркости попавшего в поле зрения светящего источника, потому как он однозначно проецируется на сетчатку глаза независимо от расстояния его наблюдения. С той лишь разницей, что его размер будет разным, а уровень эффективной облученности сетчатки при этом будет отличаться на порядки. Отсюда можно подтвердить вывод о том, что, как и в ситуации с показателем дискомфорта, никакой другой параметр, как яркость источника света, так кардинально не влияет на степень фотобиологического воздействия. Это можно также заметить, если сравнить не только резюме по уровню той или иной опасности в таблице 2, но и рассчитанные значения параметров, количественно характеризующих их. Результаты такого сравнения явно укажут на то, что светодиодный источник гораздо безопаснее аналогов, особенно это касается синей и ультрафиолетовой части спектра излучения (параметры  $E_S$ ,  $E_{UV(A)}$ ), опасность в которых традиционно

вменяется светодиодам как неприемлемая и чуть ли не приводящая к их запрету. Это также видно и из приведенных на рис. 4 диаграмм относительного спектрального распределения плотности энергетической яркости, подобные которым неоднократно публиковались и трактовались под различными «углами зрения». Для должной корректности такого сравнения и сопоставления значений параметров в таблице 3 приведены фотометрические и колориметрические характеристики всех исследуемых образцов. Следует отметить, что в синей и УФ-области спектра (200–400 нм) светодиодный источник содержит значительно меньшую долю мощности излучения даже относительно лампы накаливания (таблица 2), не говоря уже о лампах КЛЛ, где эта доля в сотни раз больше и доходит до 6% у ламп с высокой коррелированной цветовой температурой. Отсюда большинство рассуждений о кардинальном нарушении циркадных ритмов и прочих биологических механизмов человека при пользовании светодиодного освещения могут иметь неоправданную радикальность. При рассмотрении графиков на рис. 4 следует отметить и то, насколько беден спектр излучения КЛЛ по отношению к тому, что может видеть глаз: доля суммарного относительного энергетического спектра по отношению к интегралу кривой видности  $V(\lambda)$  приведена на сноске каждой диаграммы и для КЛЛ составляет 6–10%, в то время как светодиодный источник заполняет кривую видности на 70%, Солнце — на 94%. Это также говорит и о том, насколько несостоятелен индекс цветопередачи, как показатель «качества» света, по своей сути (его значения приведены в таблице 3) и как далек он от физических характеристик источников света.

В заключение можно сказать, что приведенная оценка фотобиологической опасности исследованных источников, имеющая, конечно, немало субъективных аспектов, отраженных в стандарте [3], и результаты которой в настоящей работе сведены в таблице 2, указы-

Таблица 3. Фотометрические и колориметрические характеристики

Вспомогательные параметры излучения	ЛН 100 Вт (дано до 1100 нм)	Светодиодная, 6,5 Вт	Osram, 11 Вт	Philips, 11 Вт	Эра, 11 Вт	Космос, 20 Вт	Старт, 9 Вт	КЛЛ FixPrice, 7,5 Вт	Солнце, 15 ч, июль	
Сила света по оптической оси излучения, кд	110	40,3	45,7	46,2	58,6	82,1	56,4	33,5	(дано до 1100 нм)	
Энергетическая освещенность по оптической оси излучения, Вт/м <sup>2</sup>	2,219	0,33	0,72	0,84	0,81	0,85	0,86	0,18	800	
Коррелированная цветовая температура, К	2713	2950,1	4096,5	4039,5	4135,9	3955,2	2692,2	8679,8	6130	
Максимальная длина волны, нм	1013	601,0	611,0	611,0	611,0	611,0	611,0	435,5	555	
Ширина спектра по уровню 0,5, нм	364,5	222,5	177,0	176,5	177,5	177,5	178,0	111,0	510	
Ширина спектра по уровню 0,1, нм	557,5	305,0	650,0	650,0	649,5	649,5	266,5	649,5	695	
Спектральная световая эффективность, лм/Вт	113,7	311,7	324,5	328,7	330,9	333,7	349,5	260,7	191	
Координаты цветности	X	0,4581	0,4354	0,3762	0,3793	0,3763	0,3838	0,4626	0,2834	0,3404
	Y	0,4107	0,3974	0,3761	0,3801	0,3819	0,3849	0,4157	0,3167	0,3529
	Z	0,1312	0,1673	0,2477	0,2406	0,2419	0,2313	0,1217	0,3999	0,3067
Индекс цветопередачи	98	81	82	84	82	82	83	72	98	

ваит на то, что и единственный естественный источник света Солнце, и использующиеся уже столетие лампы накаливания оказались самыми «вредными» для здоровья человека. Но, как ни парадоксально, именно им, а особенно первому — самому опасному — обязано своим существованием все живое на нашей планете, в том числе и человечество. Этот аргумент не может не обратить внимание разработчиков нормативных требований и стандартов, а также идеологов концепции применения источников искусственного

освещения на корректность зависящего от них направления вектора светотехнической индустрии.

### Литература

1. Richtlinie 2006/25/EG // Amtsblatt der Europäischen Union. 2006. Vol. 27, № 4.
2. CIE S009:2006. www.cie.co.at/cie/.
3. IEC 62471:2006. www.iec.ch/.
4. Йордан В., Халбриттер В., Хорак В. Метрологические требования к определению характе-

ристик фотобиологических опасностей ламп и светодиодов // Светотехника. 2009. № 5.

5. Мурашова М. А., Никифоров С. Г., Шищенко А. Исследование фотобиологической опасности светодиодных осветительных приборов для нужд железнодорожного транспорта // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 1.
6. Шаракшанэ А. Защита зрения при работе со светодиодами без рассеивателя. // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 6.

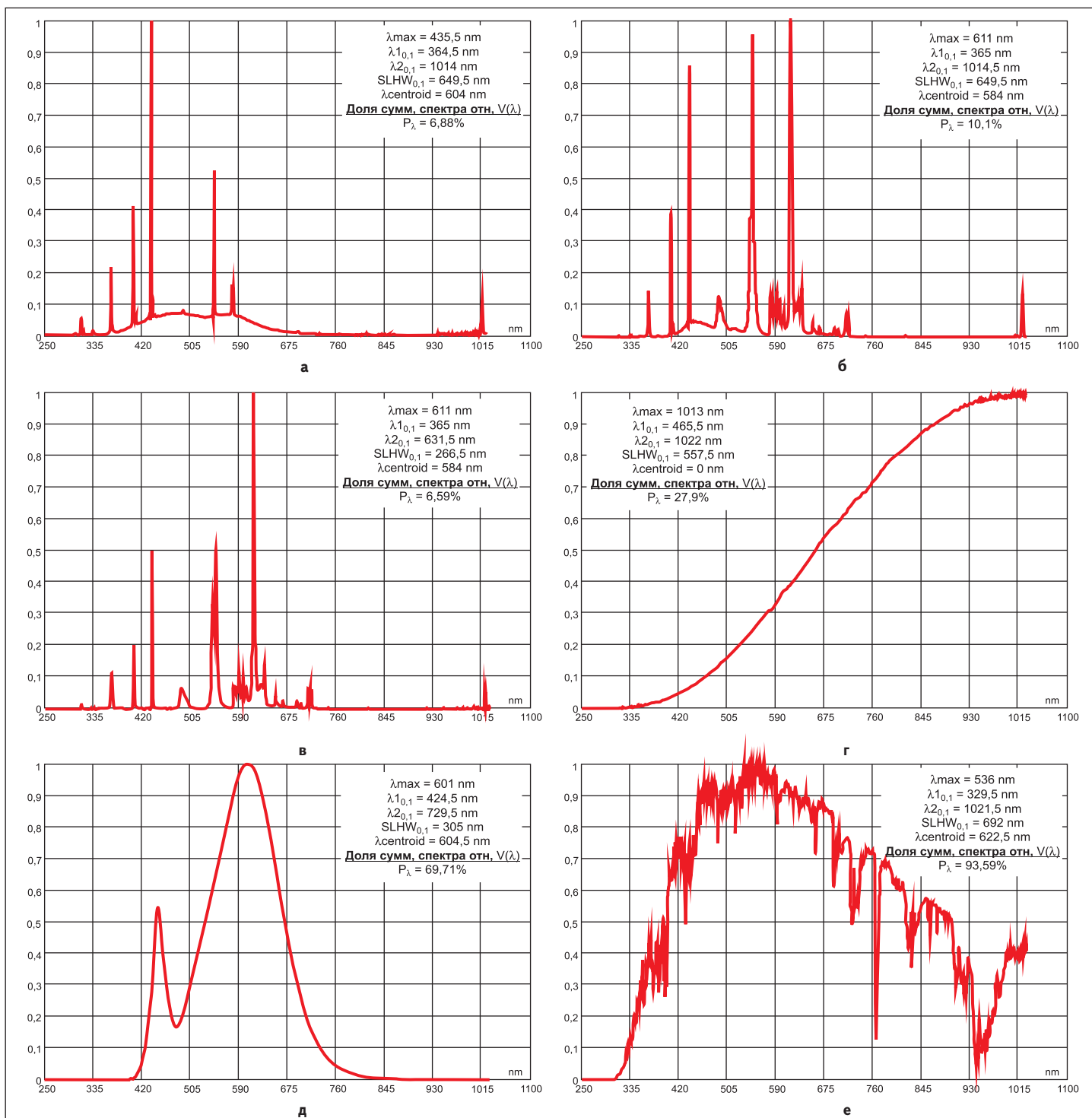


Рис. 4. Спектры исследуемых источников излучения: а) лампа КЛЛ (FixPrice, 37 руб.); б) лампа КЛЛ торговой марки «Эра»; в) лампа КЛЛ торговой марки «Эконом» («Старт»); г) лампа накаливания 100 Вт; д) светодиодная лампа; е) Солнце Средней полосы (июль, 15 ч)