

## Методы и средства измерения характеристик фотобиологической опасности популярных источников света

Никифоров Сергей Григорьевич,  
к.т.н., ООО «Архилайт».  
sergnik71@mail.ru

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 для ламп КЛЛ от ведущих производителей (Осрам, Филипс, т.м. Эра, Космос, Старт), с параметрами ламп накаливания и светодиодных. Методики исследований и средства измерений для реализации оценки источников по указанному стандарту разработаны по инициативе аккредитованного испытательного центра «АРХИЛАЙТ». Материал может быть использован разработчиками, проектировщиками и потребителями соответствующей светотехнической продукции, а также всеми заинтересованными сторонами при возникновении вопросов оценки фотобиологической безопасности источников излучения.

Ключевые слова: фотобиологическая безопасность, радиометрический метод, светодиод, энергетическая яркость, радиометр, спектральная чувствительность, спектр излучения.

### Актуальность исследований

Горячие споры о вреде или безвредности для здоровья используемых в настоящее время и самых популярных в повсеместном применении источниках света находятся на одной из самых высоких точек актуальности не только среди специалистов, но и в быту. Как известно, для современного освещения широко используются различные газоразрядные лампы – линейные и компактные люминесцентные (КЛЛ), металлогалогенные, ртутные и натриевые, дуговые – ксенонные, лампы накаливания – газонаполненные и вакуумные, светодиодные – матричные и с удалённым люминофором. Вся эта продукция занимает своё 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 «злободневных» 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 – 2013 «Светобиологическая безопасность ламп и ламповых систем», вступающего в действие с начала 2015г.

### 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 учёте наиболее тяжёлых 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, т.к. это касается не простой оптики точечного источника, а 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.. 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 сетчатке 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 – 2013 содержит руководство по оценке светобиологической безопасности ламп и ламповых систем, устанавливает пределы облучения для всех электрически не связанных широкополосных источников оптического излучения, включая светодиоды, кроме лазеров с длиной волны от 200 нм до 3000 нм.

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

Все исследования были проведены в лаборатории «АРХИЛАЙТ» с помощью установок «Флак-20» и «Спекорд», позволяющих выполнять радиометрические измерения в диапазоне 180 – 1100нм. 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 - 7мм, эквивалентный максимально открытому зрачку, как самому экстремальному условию наблюдения источника глазом [7]. В [3] это условие описано с точки зрения физики воздействия излучения на

глаз: лучистый поток, входящий в глаз и поглощаемый сетчаткой (от 300 нм и до 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 10000 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 0,25с.

- в тех случаях, когда источник с ближним ИФ излучением используют с высокими световыми уровнями, может приниматься диаметр зрачка 3мм, а пределы облучения могут быть приведены к более высоким значениям квадрата отношений зрачков. При этом пределы облучения могут быть увеличены на коэффициент  $(7/3)^2=5,5$ .

Рассчитанный коэффициент преобразования радиометра для каждого конкретного источника учитывал спектральную чувствительность фотодиода вплоть до 1100нм, однако для большинства ламп, выводы по термической безопасности воздействия излучения сделаны до 1400нм. 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 рисунке 4, где приведены относительные спектры распределения мощности излучения исследуемых образцов. Лишь для одного источника – лампы накаливания некоторые пункты (опасность инфракрасного облучения для глаз, опасности теплового облучения кожи), нормативы по которым установлены вплоть до 3000нм, 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 от 1400 до 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 оборудо-

дования, подробно описано в [5], однако для более корректного рассмотрения и сопоставления полученных результатов, следует привести оригинальное описание т.н. 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 (рисунок 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:

$$E = L \cdot \Omega \quad (2)$$

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

$$\Omega = \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} \quad (3)$$

Таким образом, используя размеры на рисунке 1, облученность в терминах энергетической яркости источника дается формулой:

$$E = L \cdot \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} = L \cdot \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2} \quad (4)$$

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

$$\gamma = \alpha \text{эфф} \quad (5)$$

Где  $\alpha \text{эфф}$  – угол усреднённого поля зрения, используемый в основном методе измерений по [3], идея которого рассмотрена на рисунке 2.

### 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 расчёта и количественные пределы. Для исследования были подобраны наиболее распространённые в торговых сетях компактные люминесцентные лампы средней мощности (9 – 20Вт) (самые популярные по продажам) и приблизительно одинаковой цветности излучения.

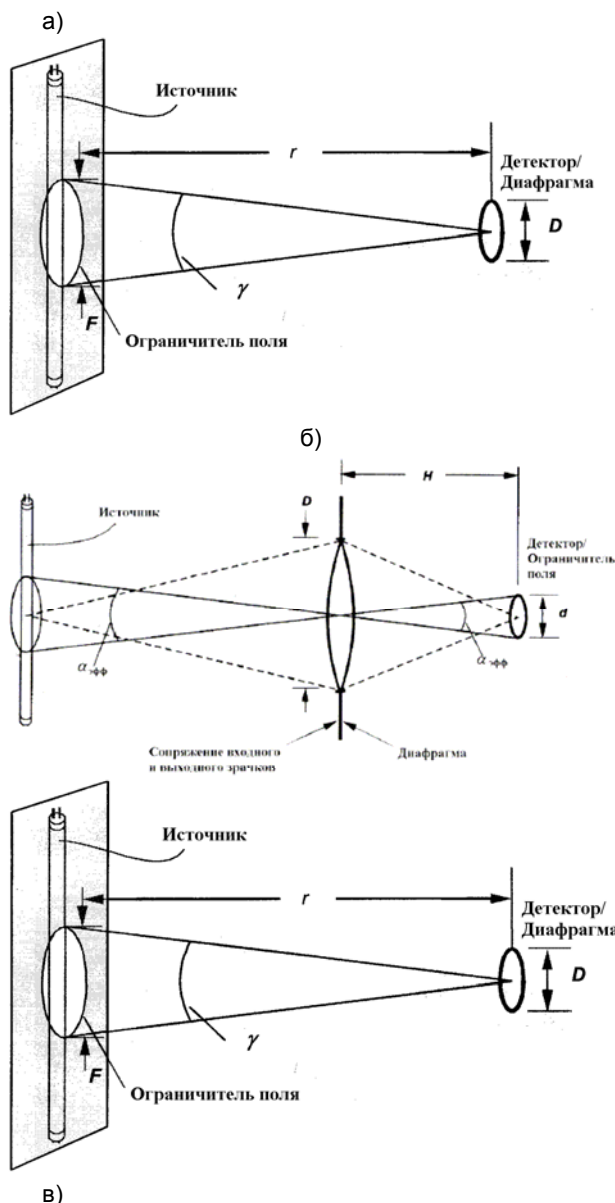


Рис. 1. а)-пример изображаемого источника для измерений энергетической яркости, б)-альтернативная техника измерений энергетической яркости.

Но для полноты исследования взяты также и образцы с другой коррелированной цветовой температурой. Именно в сравнении с ними в большинстве случаев приводят характеристики светодиодных ламп, собирательный образ которых по совокупности параметров указанных выше КЛЛ, был найден авторами в лице одного из бюджетных промышленных образцов и исследован по описанной программе. От светотехнического наследия, неотъемлемо связанного с отечественным потребителем, для сравнения представлены характеристики запрещённой законодательством лампы накаливания в 100Вт, к фотометрическим и колориметрическим параметрам которой стараются приблизиться её последователи на полках магазинов, с каждым годом прибавляющие свою кратность в световой эффективности по отношению к ней.

В таблице 2 помещены все результаты измерений и расчётов величин, а также промежуточные выводы по каждому из типов рисков для всех образцов. Практиче-

ски 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 и до этого исследователям, принявшим участие в разработке этих методов [4], но в таком сравнении не существующая. Речь идёт о лампе накаливания, которая полностью подходит под понятие «небольшого источника синего света». Небольшого – именно по размерам, которые позволяют спроецировать нить её накала на сетчатку практически целиком, при этом выполнив условия в расстоянии наблюдения, определяемом освещённостью в 500лк. Для проверки этого условия в таблице 2 имеется графа «Размер ист./корректность расчёта  $E_B$ ». 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 47см и смотреть при этом непосредственно на нить накала.

Таблица 1

Наименование опасности	Соответствующее уравнение	Диапазон длин волн нм	Продолжительность облучения	Ограничивающее отверстие, радиан (градус)	Предел облучения в терминах постоянной облучённости Вт·м <sup>-2</sup>
			с		
Синий свет	$LB = \sum L_{\lambda} \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300-700	0,25-10	$0,011 \cdot \sqrt{(t/10)}$	106/t
			10-100	0,011	106/t
			100-10000	$0,0011 \cdot \sqrt{t}$	106/t
			$\geq 10000$	0,1	100
Тепловая для сетчатки	$LIR = \sum L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	380-1400	<0,25	0,0017	$50000 / (\alpha \cdot t^{0,25})$
			0,25-10	$0,011 \cdot \sqrt{(t/10)}$	$50000 / (\alpha \cdot t^{0,25})$
Тепловая для сетчатки (слабый визуальный стимул)	$LIR = \sum L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	780-1400	>10	0,011	$6000/\alpha$
Активный УФ для кожи и глаз	$ES = \sum EI \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	200-400	<30000	1,4(80)	30/t
УФ-А для глаз	$EUVA = \sum EI \cdot \Delta\lambda$	315-400	$\leq 1000$	1,4(80)	10000/t
			>1000		10
Небольшой источник синего света	$EB = \sum EI \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	300-700	меньше-равно 100	<0,011	100/t
			>100		1
ИК для глаз	$EIR = \sum EI \cdot \Delta\lambda$	780-3000	$\leq 1000$	1,4(80)	$18000/t^{0,75}$
			>1000		100
Тепловая для кожи	$EH = \sum EI \cdot \Delta\lambda$	380-3000	<10	2р стерадиан	$20000/t^{0,75}$

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 показателе дискомфорта. Здесь важно именно значение яркости попавшего в поле зрения све-

тящего 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 облучённости 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  $E_s$ ,  $E_{UVA}$ ), опасность в которых традиционно вменяется светодиодам как неприемлемая и чуть ли не приводящая к их запрету. Это также видно и из приведённых на рисунке 4 диаграмм относительного спектрального распределения мощности излучения. Для должной корректности такого сравнения и сопоставления значений параметров в таблице 2, в таблице 3 приведены фотометрические и колориметрические характеристики всех исследуемых образцов. Следует отметить, что в синей и УФ области спектра (200-400нм) светодиодный источник содержит значительно меньшую долю мощности излучения даже относительно лампы накаливания (таблица 2), не говоря уже о лампах КЛЛ, где эта доля составляет 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 светодиодным освещением могут иметь неоправданно увеличенную радикальность. При рассмотрении графиков рисунка 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 далёк он от физических характеристик источников света.

**Заключение**

В заключении, можно сказать, что приведённая оценка фотобиологической опасности исследованных источников, имеющая, конечно, немало субъективных аспектов, отражённых в стандарте [3], и результаты которой в настоящей работе сведены в таблице 2, указывает на то, что как единственный естественный источник света - Солнце, так и использующиеся уже столетие источники-лампы накаливания, оказались самыми «вредными» для здоровья человека. Но как ни парадоксально, именно им, а особенно первому – самому опасному - обязано своим существованием всё живое на нашей планете, и в том числе, человечество. Этот аргумент не может не обратить внимание разработчиков нормативных требований и стандартов, а также идеологов концепции и применения источников искусственного освещения, на корректность зависящего от них направления вектора светотехнической индустрии.

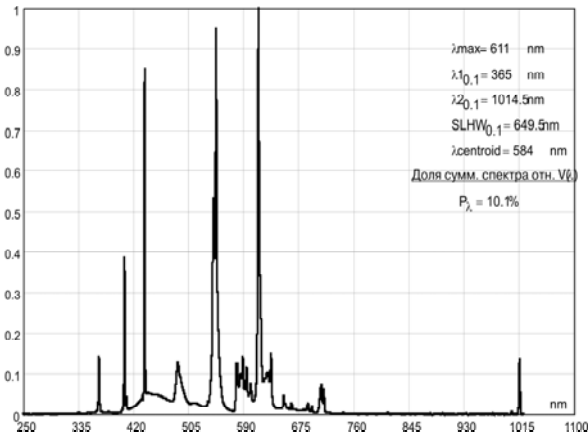


Таблица 2

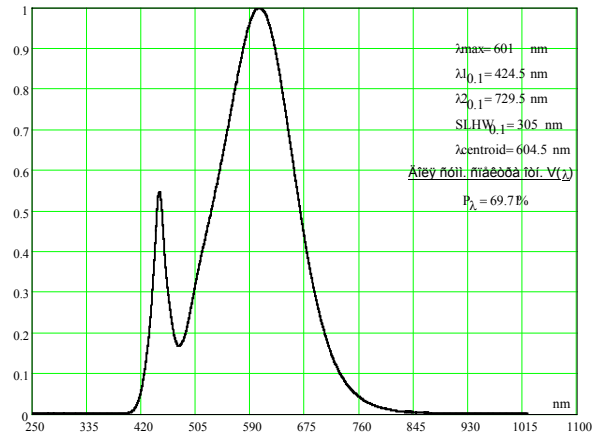
Общие условия измерения по IEC 62471:2006 (ГОСТ Р МЭК 62471 – 2013)	ЛН 100Вт	Светодиодная 6,5Вт	Osram Duluxstar Compact 11Вт	КЛЛ Philips 11Вт	КЛЛ Эра 11Вт	КЛЛ Supermax (Космос) 20Вт	КЛЛ Экономь (Старт) 9Вт	КЛЛ FxPrice 37 руб	Солнце средняя полоса 15ч, июль
Расстояние до источника	м	0,469	0,284	0,302	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 $L_B$ (300-700nm)									
Доля энергии в диап. спектра	%	23,2	94,8	94,1	95,1	96,0	95,7	94,8	93,2
Угол наблюдения, $\gamma$	рад	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	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	100	100	100	100	100	100	100
Заключение по $L_B$		Полное отсутствие риска							
Эффективное облучение сетчатки (тепловое поражение) $L_R$									
Параметры $L_R$ (380-1400nm)									
Доля энергии в диап. спектра	%	99,4	100,0	97,9	97,8	98,0	98,2	96,9	96,0
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	0,000095	0,000095	0,000095	0,000095	0,000095	0,000095	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 $L_{IR}$ (780-1400nm) для ярк. поля <10кд/м <sup>2</sup>									
Доля энергии в диап. спектра	%	61,2	0,8	3,1	2,3	1,5	1,8	1,7	4,9
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	0,000095	0,000095	0,000095	0,000095	0,000095	0,000095	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 $E_H$ (380-1100nm)									
Доля энергии в диап. спектра	%	99,4	100,0	97,9	97,8	98,0	98,2	96,9	96,0
$E_H$	Вт/м <sup>2</sup>	2,219	0,334	0,717	0,844	0,809	0,847	0,856	0,175
Предельное значение	Вт/м <sup>2</sup>	3557	3557	3557	3557	3557	3557	3557	3557
Заключение по $E_H$		Полное отсутствие риска							
Эффективная облученность сетчатки (небольшой источник синего света) $E_B$									
Параметры $E_B$ (300-700nm)									
Доля энергии в диап. спектра	%	23,2	94,8	94,1	95,1	96,0	95,7	94,8	93,2
Угол наблюдения, $\gamma$	рад	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
Размер ист./корректность расч. $E_B$	Корректно	Небольшой	Большой	Небольшой	Небольшой	Большой	Большой	Большой	Большой
Максимальное время облучения	с	более 100	более 100	более 100	более 100	более 100	более 100	более 100	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	1	1	1	1	1	1	1
Заключение по $E_B$		Высокий риск	Низкий риск	Полное отсутствие риска					
Эффективная облученность (актиничный УФ для кожи и глаз) $E_S$									
Параметры $E_S$ (200-400nm)									
Доля энергии в диап. спектра	%	0,3	0,0	2,4	2,4	2,3	2,3	3,4	6,0
$E_S$	Вт/м <sup>2</sup>	0,000002	0,000001	0,000006	0,000009	0,000006	0,000004	0,000034	0,000017
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 $E_{UVA}$ (315-400nm)									
Доля энергии в диап. 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	10	10	10	10	10	10	10
Заключение по $E_{UVA}$		Полное отсутствие риска							
Эффективная облученность (ИК для глаз) $E_{IR}$									
Параметры $E_{IR}$ (780-1100nm)									
Доля энергии в диап. 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	100	100	100	100	100	100	100
Заключение по $E_{IR}$		Полное отсутствие риска							

Таблица 3

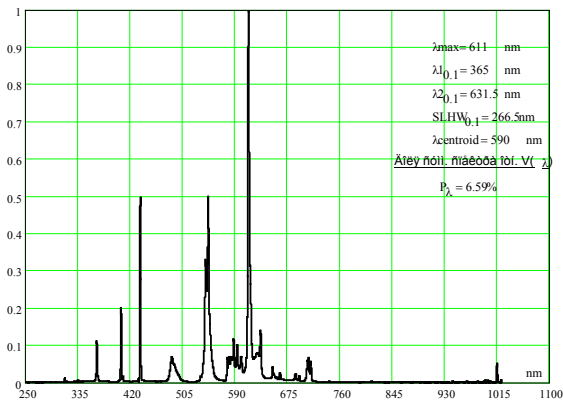
Вспомогательные параметры излучения	ЛН 100Вт (дано до 1100nm)	Светодиодная 6,5Вт	Osram 11Вт	Philips 11Вт	Эра 11Вт	Космос 20Вт	Старт 9Вт	КЛЛ 37 руб	Солнце, 15ч, июль (дано до 1100nm)
Сила света по опт. оси излучения	кд	110	40,3	45,7	46,2	58,6	82,1	56,4	33,5
Энергетическая освещенность по оптической оси излучения	Вт/м <sup>2</sup>	2,219	0,33	0,72	0,84	0,81	0,85	0,86	0,18
Коррелированная цветовая температура	К	2713	2950,1	4096,5	4039,5	4135,9	3955,2	2692,2	8679,8
Максимальная длина волны	нм	1013	601,0	611,0	611,0	611,0	611,0	611,0	435,5
Ширина спектра по уровню 0,5	нм	364,5	222,5	177,0	176,5	177,5	178,0	178,0	111,0
Ширина спектра по уровню 0,1	нм	557,5	305,0	650,0	650,0	649,5	649,5	266,5	649,5
Спектральная световая эффективность	лм/Вт	113,7	311,7	324,5	328,7	330,9	333,7	349,5	260,7
Координаты цветности									
X		0,4581	0,4354	0,3762	0,3793	0,3763	0,3838	0,4626	0,2834
Y		0,4107	0,3974	0,3761	0,3801	0,3819	0,3849	0,4157	0,3167
Z		0,1312	0,1673	0,2477	0,2406	0,2419	0,2313	0,1217	0,3999
Индекс цветопередачи		98	81	82	84	82	82	83	72



а) лампа КЛЛ торговой марки «Эра».



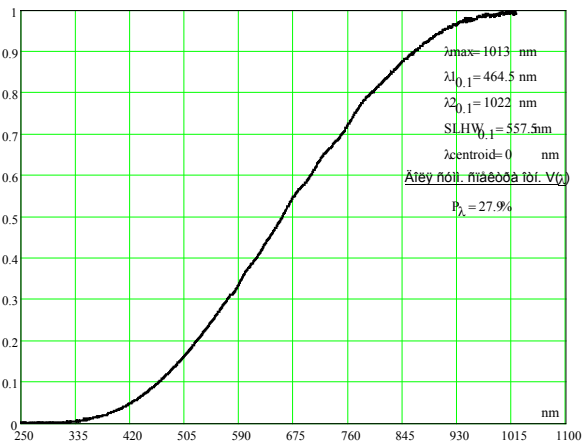
г) светодиодная лампа



б) лампа КЛЛ торговой марки «Экономь» («Старт»).



д) Солнце средней полосы, в 15ч в июле.



в) лампа накаливания 100Вт

Рис. 4. Спектры исследуемых источников излучения.

Литература

1. Richtlinie 2006/25/EG // Amtsblatt der Europäischen Union. – 2006. – Vol. 27, № 4.
2. CIE S009:2006 (<http://www.cie.co.at/cie/>).
3. IEC 62471:2006 (<http://www.iec.ch/>).
4. Йордан В., Халбриттер В., Хорак В. Метрологические требования к определению характеристик фотобиологических опасностей ламп и светодиодов // Светотехника - №5, - 2009, стр. 50–57
5. М.А. Мурашова, С.Г. Никифоров, А. Шищенко. Исследование фотобиологической опасности светодиодных осветительных приборов, для нужд железнодорожного транспорта. // «Полупроводниковая Светотехника» № 1, 2011, стр. 34–40.
6. Шаракшанэ А. Защита зрения при работе со светодиодами без рассеивателя. // «Полупроводниковая Светотехника» № 6, 2012.
7. Патент на полезную модель №130404 «Фотометрический датчик». Приоритет от 18.12.2012.