

Лесли Лайонс (Leslie Lyons)

МЭК публикует указания

по оценке опасности синего света

По следам ранее вышедшей серии статей, в которой оценивается фотобиологическая безопасность изделий, имеющих в своем составе светодиоды, Лесли Лайонс (Leslie Lyons) — менеджер по технической поддержке компании **Bentham Instruments Limited**, член комитета МЭК TC76 «Безопасность оптического излучения и лазерного оборудования» и комитета BSI CH/172/6 «Офтальмологические приборы» — дает обзор внедренного в светотехнической отрасли нового подхода к оценке опасности синего света для сетчатки глаза. Этот вопрос вызвал беспокойство в связи с появлением полупроводникового освещения.

Исследователи всего мира постоянно выражают озабоченность вопросами безопасности светодиодного освещения, в частности воздействием синего света и слепящей блескости. В серии публикаций, последняя из которых появилась в феврале 2012 года, обсуждалась тема светобиологической безопасности полупроводникового освещения (SSL) и других источников оптического излучения, кроме лазеров (ledsmagazine.com/features/9/2/9). В настоящей статье на базе ранее изложенного материала дается обзор текущей работы, проводимой в органах стандартизации и исследовательских лабораториях и связанной с опасностью синего света. В настоящее время светобиологическая безопасность ламп и светильников общего назначения (ЛОН) оценивается по соответствующему классификационному критерию стандарта IEC/EN 62471. Согласно этому критерию заявляется (но не обязательно измеряется) расстояние, на котором источник света создает освещенность, равную 500 лк, и это расстояние не может быть меньше 200 мм.

Участники светотехнической отрасли рассматривают текущую ситуацию как неудовлетворительную, и для такой оценки существует ряд причин:

- Разногласия по поводу того, какие лампы следует относить к категории ЛОН (неясно, например, входят ли в это понятие точечные светильники или настольные лампы).
- Сомнения в целесообразности оценки при уровне освещенности в 500 лк, который может не отражать реалистичный сценарий воздействия.
- Недостаточная информативность оценки при уровне освещенности в 500 лк, по-

скольку большая часть источников света в этом случае относится к группе без риска.

- Проблемы с реализацией описанного в IEC/TR 62471-2 метода, позволяющего распространять предоставленные производителем технические данные светодиодов на готовые изделия. При такой оценке, которая описывает худший из возможных вариантов (что не отражает реальных условий эксплуатации светодиода), светодиоды зачастую относят к группе риска 2, требующей использования предупреждающих этикеток, и в результате возникают вопросы о том, как эту классификацию перенести на готовые изделия.

Совет по светобиологической безопасности подкомитета МЭК SC34A «Лампы», входящего в состав технического комитета МЭК TC34 «Лампы и связанное с ними оборудование», проанализировал этот вопрос и по итогам рассмотрения опубликовал технический отчет IEC/TR 62778 «Применение стандарта IEC 62471 в отношении источников света и светильников для оценки опасности синего света», а также поправки к различным стандартам на лампы и светильники, многие из которых уже обнародованы с ревизиями в рамках директивы о низковольтном оборудовании. Такой подход находится в русле представлений об IEC 62471 как о горизонтальном стандарте, которому противопоставляются вертикальные стандарты, относящиеся к конкретным видам изделий.

Потенциальная опасность светотехнических изделий

В стандарте IEC 62471 рассматривается шесть видов опасности в спектральном диа-

пазоне 200–3000 нм, вызывающих озабоченность состоянием глаз и кожи: два из них связаны с ультрафиолетовым излучением (УФ-излучением), два другие — с воздействием на сетчатку, еще два — с инфракрасным излучением (ИК-излучением). Оптическое излучение изделий, относящихся к обширной категории ЛОН, включающей накальные, люминесцентные, газоразрядные и светодиодные источники света, не обязано полностью покрывать указанный диапазон или иметь определенный уровень, чтобы стать причиной для беспокойства. Поэтому оценка светобиологической опасности зависит от типа лампы и описывается стандартами, относящимися к конкретным технологиям.

Опасности актиничного УФ-излучения уделено внимание в определенных стандартах, а также в указаниях по оснащению защитными экранами светильников с лампами, имеющими высокий уровень УФ-излучения, но опасное воздействие синего света на сетчатку до настоящего времени не рассматривалось. Именно этому аспекту посвящен технический отчет IEC/TR 62778. Об опасности ИК-излучения в случаях, когда это необходимо, будут предупреждать соответствующие этикетки.

Область применения IEC/TR 62778

Технический отчет IEC/TR 62778 содержит инструкции по оценке опасности синего света для сетчатки глаза применительно ко всем светотехническим изделиям с преобладающим излучением в видимой области спектра (380–780 нм), а также по переносу технических данных светодиодов или ламп на готовые изделия (при сравнимых условиях эксплуатации в обоих случаях). Кроме того, рассмотрено соотношение между коррелированной цветовой температурой (КЦТ) и опасностью синего света, а именно тот факт, что чем больше света излучает источник в синей области, тем выше КЦТ и опасность синего света. Описывается, как по яркости и КЦТ источника света,

а также по создаваемой им освещенности определить путем расчета с двукратным коэффициентом запаса, находятся ли параметры источника ниже пороговых значений группы риска 1.

Опасность синего света для сетчатки

Для того чтобы эффективно оценить опасность синего света для сетчатки глаза, необходимо учесть облученность сетчатки изображением источника света. При кратковременном взгляде изображение на сетчатке имеет тот же угловой размер, что и источник света (рис. 1). С ростом времени экспозиции изображение на сетчатке все больше распространяется по ее площади из-за быстрых движений глаз (саккад) и связанных с выполняемой задачей перемещений, что приводит к снижению облученности сетчатки. Определяется временная зависимость углового размера изображения на сетчатке для времен экспозиции от 0,25 с (время рефлекса избегания) до 10 000 с в диапазоне от 1,7 мрад (наименьший размер изображения на сетчатке) до 100 мрад.

Определить облученность сетчатки при взгляде на источник света можно измерением энергетической яркости, в формуле которой есть параметр, выражающий телесный угол излучения исследуемого источника, и параметр, выражающий площадь источника.

Первый параметр связан с тем, что свет попадает в глаз через зрачок, который с измерительной точки зрения можно рассматривать как усредняющую диафрагму. Второй параметр, определяемый полем обзора измерительного прибора, имеет фундаментальное значение, поскольку напрямую связан с площадью изображения на сетчатке. При оценке опасности синего света необходимо рассматривать площадь изображения на сетчатке, зависящую от времени экспозиции, а не площадь источника. Следует обратить внимание, что хотя поле обзора определяется как телесный угол, наблюдаемый измерительным прибором, его принято представлять плоским приемочным углом.

Структура классификации в стандарте ИЕС 62471 основана на максимальном безопасном времени экспозиции. Чтобы использовать эту временную классификацию, измеряют энергетическую яркость источника в соответствующем поле обзора и проверяют, не превышаются ли пределы облучения для каждой группы, начиная с группы без риска и далее по возрастанию риска только в тех группах, где пределы были превышены (таблица).

В контексте оценки опасности синего света измеряемую величину точнее называть «физиологической» энергетической яркостью в противовес «истинной» энергетической яркости, с которой обычно имеют дело в спектрорадиометрии и которая по определению учитывает только площадь излучающей поверхности источника (рис. 2). Когда

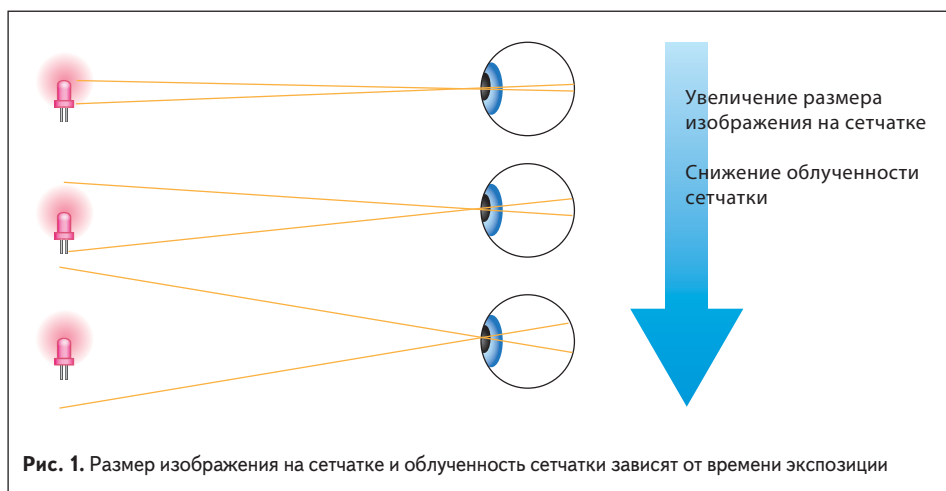


Рис. 1. Размер изображения на сетчатке и облученность сетчатки зависят от времени экспозиции

физиологическая энергетическая яркость измеряется в поле обзора, превышающем угловой размер источника, результат представляет собой усредненное значение истинной энергетической яркости источника и темного фона. Закон сохранения яркости, гласящий, что энергетическая яркость не может быть повышена оптической системой, действует только при измерении истинной энергетической яркости.

Опасность синего света для сетчатки определяется путем измерения спектральной энергетической яркости источника света в диапазоне длин волн 300–700 нм (с применением весовой функции опасности синего света) в соответствующем поле обзора для рассматриваемой группы риска. Расширив диапазон этого измерения до 780 нм, можно определить яркость в кд/м². Далее будет показано, что эта информация может потребоваться при анализе согласно ИЕС/TR 62778.

Пределы облучения для синего света

Для косвенного определения энергетической яркости источника света можно поместить диафрагму непосредственно у источника, задав таким образом поле обзора, и измерить облученность на расстоянии оценки. После этого можно вычислить энергетическую яркость как произведение облученности и углового размера диафрагмы в стерadians (ср). Это позволяет выразить пределы облучения через облученность исходя из телесного угла, соответствующего полю обзора для той или иной группы риска.

Именно такая схема взята за основу для упрощенного определения пределов облучения (по облученности) малоразмерными источниками синего света в ИЕС 62471 — путем умножения табличного предела облучения на телесный угол, соответствующий 11 мрад ($9,50332 \times 10^{-5}$ ср). Эти

Таблица. Группы риска в отношении опасности синего света для сетчатки

Группа риска	Время экспозиции, с	Приемочный угол, мрад	Предел облучения, Вт/м ² ср
Группа без риска	10,000	100	100
Группа 1	100	11	10 000
Группа 2	0,25	1,7	4 000 000

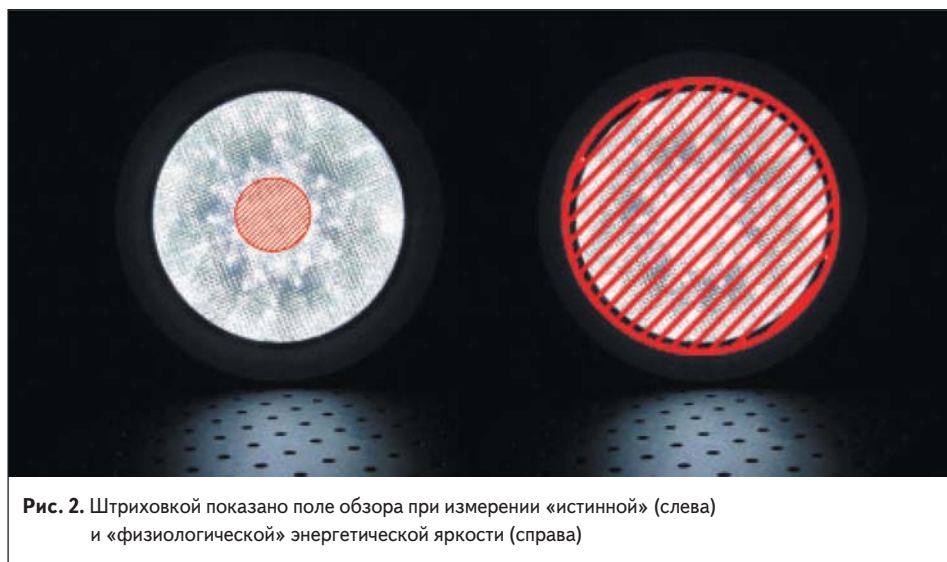


Рис. 2. Штриховкой показано поле обзора при измерении «истинной» (слева) и «физиологической» энергетической яркости (справа)

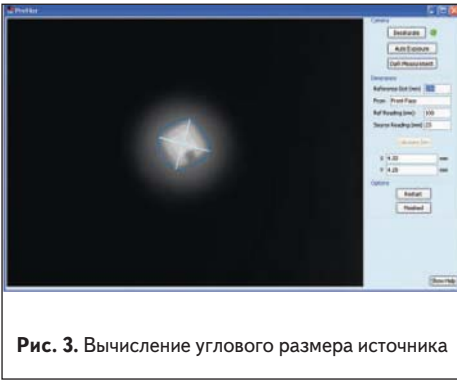


Рис. 3. Вычисление углового размера источника

пределы и следует применять для классификации источников с угловым размером менее 11 мрад. Угловой размер источника на заданном расстоянии вычисляется как частное от деления размера области половинного излучения источника на расстояние (рис. 3). Заявляемый угловой размер источника определяется как геометрическое среднее от наибольшего и наименьшего углового размера, причем если какой-либо из этих двух размеров меньше 1,7 мрад, то вместо него берется значение 1,7 мрад, а если он больше 100 мрад, то вместо него берется значение 100 мрад.

Подход, принятый в IEC/TR 62778

В предположении, что источники света, отнесенные к группе без риска или группе риска 1 в отношении опасности синего света, являются безопасными и не требуют маркировки или информирования пользователей согласно IEC/TR 62471-2, IEC/TR 62778 предписывает проверить, превышает ли исследуемый источник пределы излучения синим светом для группы риска 1 на расстоянии 200 мм (которое берется в IEC 62471 как ближняя точка для человеческого глаза и худший случай для экспозиции сетчатки). Для такого анализа требуется измерить спектральную энергетическую яркость или спектральную облученность в случае малоразмерного источника синего света.

В случаях, когда источник белого света имеет истинную яркость (в поле обзора, содержащем не весь источник) менее 10^4 кд/м², можно напрямую относить его к группе риска 0 без ограничений: ожидается, что на этом уровне (который считается комфортным для глаза) пределы облучения превышены не будут. С практической точки зрения этот пороговый уровень яркости очень низок, и его превышают многие, даже маломощные белые светодиоды.

Если количество излучаемого источником света или тепла настолько велико, что установить измерительную аппаратуру на расстоянии 200 мм невозможно, следует производить измерения на другом расстоянии. Четких указаний относительно выбора измерительного расстояния или поля обзора не дается. Если требуется перенести результаты анализа лампы или светодиода на готовое изделие, поле обзора нужно выбрать таким, чтобы оно охватывало на источнике такую же площадь, как на расстоянии 200 мм в поле обзора 11 мрад.

Угловой размер источника более 11 мрад

Если угловой размер источника превышает 11 мрад, следует измерить спектральную энергетическую яркость источника синего света на расстоянии 200 мм в поле обзора 11 мрад (круглая область на источнике диаметром 2,2 мм) и сравнить полученное значение с пределом облучения для группы риска 1 (10 000 Вт/м²ср).

Если результат ниже этого предела, комплектующие (лампы, светодиоды) или готовые изделия можно относить к группе риска 1 без ограничений. Классификацию ламп или светодиодов по группе риска 1 без ограничений можно переносить на все готовые изделия, использующие данный источник света. При этом предполагается, что измерялась истинная энергетическая яркость, которая не может быть увеличена оптической системой в силу закона сохранения яркости.

Если предел для группы риска 1 превышен, следует найти границу между группами риска 1 и 2. В случае комплектующих (светодиодов или ламп) пороговое значение освещенности E_{thr} , соответствующее этой границе, должно быть включено в технические данные для переноса на готовое изделие. Для готовых изделий пороговую освещенность E_{thr} можно преобразовать в пороговое расстояние d_{thr} , на котором достигается E_{thr} .

Если измеренное значение энергетической яркости источника синего света ниже предела облучения для группы риска 0 (100 Вт/м²ср), этот источник относят к группе риска 0 без ограничений. Для правильного анализа по группе риска 0 следует использовать поле обзора 100 мрад; это можно предусмотреть как дополнительное измерение, если того требует область применения.

Угловой размер источника менее 11 мрад

При угловом размере источника менее 11 мрад нужно рассмотреть случай малоразмерного источника синего света и измерить спектральную облученность на расстоянии 200 мм, а полученное значение сравнить с пределом облучения для группы риска 1 (1 Вт/м²).

Если результат ниже этого предела, классификацию «группа риска 1 без ограничений» следует применить только для готовых изделий. Поскольку невозможно измерить истинную энергетическую яркость, нельзя и применить закон сохранения яркости для переноса классификации комплектующих (ламп или светодиодов) на готовые изделия. В этом случае надо указать в технических данных изделия пороговую освещенность E_{thr} , исходя из которой можно будет совершить такой перенос.

Если предел по группе риска 1 превышен, следует найти границу между группами риска 1 и 2 для готовой продукции, вычислив пороговую освещенность E_{thr} и затем пороговое расстояние d_{thr} , на котором она достигается.

Расчет E_{thr}

Пороговую освещенность E_{thr} , которая задает границу между группами риска 1 и 2, можно вычислить исходя из предела облучения (по облученности) для группы риска 1 в поле обзора 11 мрад. Имея предел облучения (по энергетической яркости) для группы риска 1 в отношении опасности синего света, равный 10 000 Вт/м²ср, и телесный угол, соответствующий полю обзора в 11 мрад ($9,50332 \times 10^{-5}$ ср), получаем предел облучения (по облученности) в 1 Вт/м², который уже задан для источников с угловым размером менее 11 мрад.

Отношение величины, характеризующей опасность синего света, к соответствующей фотометрической величине есть константа, определяемая спектральным распределением, а не измеряемая в абсолютном выражении величина. Этот параметр обозначен в IEC/TR 62778 как $K_{B,v}$.

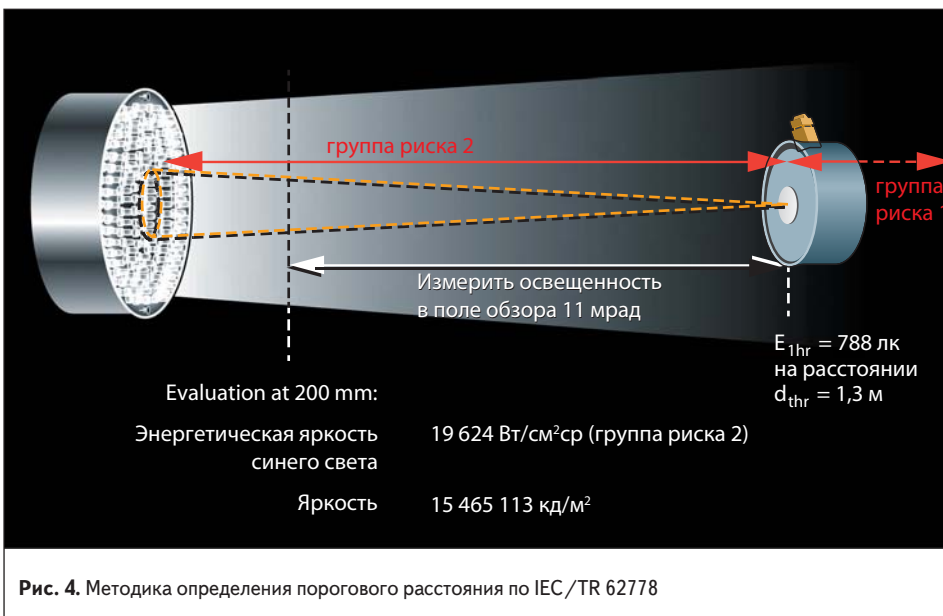


Рис. 4. Методика определения порогового расстояния по IEC/TR 62778

Отношение энергетической яркости источника синего света к его яркости (а для малоразмерных источников — отношение облученности синим светом к освещенности) будет равно отношению предела облучения (по облученности) для синего света (1 Вт/м^2) к освещенности E_{thr} [лк], при которой достигается этот порог. Следовательно, E_{thr} можно рассчитать как отношение яркости к энергетической яркости источника синего света в поле обзора 11 мрад для источников с угловым размером, большим или равным 11 мрад, и как отношение освещенности к облученности синим светом для источников с угловым размером менее 11 мрад.

Пороговую освещенность E_{thr} , представляющую границу между группами риска 1 и 2, можно преобразовать в пороговое расстояние d_{thr} . Этот параметр корректно определять только для готовой продукции. Область у источника, ограниченную расстоянием d_{thr} , относят к группе риска 2 по опасности синего света, а остальные области следует относить к группе риска 1 без ограничений.

Пороговое расстояние

В IEC/TR 62778 рекомендовано определять d_{thr} по гониофотометрическим данным испытуемого изделия, если таковые имеются (рис. 4). Зная максимальную силу света I_{max} [кд] и закон обратных квадратов, можно вычислить d_{thr} по E_{thr} , используя формулу $d_{thr} = \sqrt{I_{max}/E_{thr}}$. Эта методика игнорирует тот факт, что для многих источников света (в частности, для направленных источников, к которым относятся многие ЛОН) закон обратных квадратов неприменим.

Для случаев, когда данные гониофотометрических измерений отсутствуют, указаний не дается. Определять d_{thr} целесообразно с помощью люксметра. Такой метод не полагается на закон обратных квадратов, применимость которого сомнительна; можно предположить, что он будет более надежным.

В обоих случаях, если угловой размер источника на расстоянии d_{thr} менее 11 мрад, можно заключить, что данное значение d_{thr} неверно, поскольку при его нахождении

пороговая освещенность E_{thr} не определялась в ограниченном поле обзора, равном 11 мрад. Следовательно, полученное значение порогового расстояния будет слишком консервативным. В настоящее время на рассмотрении находится более адекватный метод оценки массивов, который, возможно, будет включен в последующие редакции этого технического отчета.

Благодаря публикации IEC/TR 62778 упростились оценка опасности синего света ЛОН для сетчатки глаза, хотя может сохраняться насущная необходимость в дальнейших указаниях по определению более реалистичного значения d_{thr} . Учитывая высокие темпы работы подкомитета SC34A над публикацией технического отчета IEC/TR 62778 и внесением поправок в стандарты на лампы и светильники, можно ожидать, что вскоре E_{thr} и d_{thr} начнут указываться в документации на изделия. ●

Оригинал статьи опубликован на <http://ledsmagazine.com>